

Gestão e regulação de recursos hídricos no estado do Amazonas

desafios e soluções para a sustentabilidade

v. I

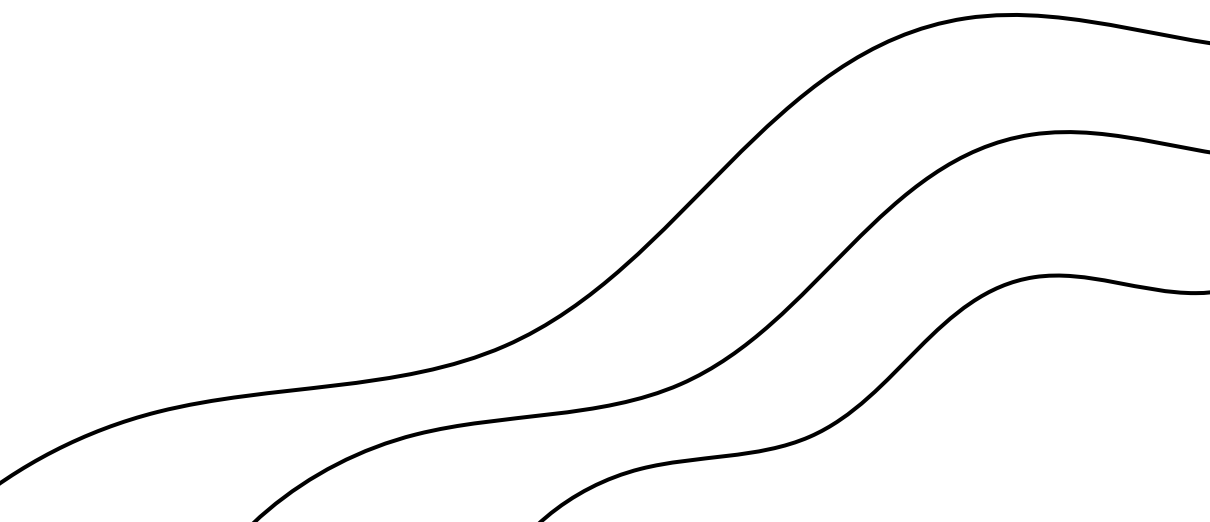
Carlossandro Carvalho de Albuquerque
Eriverton Resende Monte
Ieda Hortêncio Batista
José Camilo Ramos de Souza
Maria Astrid Rocha Liberato
Maria da Glória Gonçalves de Melo
Marta Regina Silva Pereira
Thiago Flores dos Santos
(orgs.)



editora
UEA

Gestão e regulação de recursos hídricos no estado do Amazonas

desafios e soluções para a sustentabilidade



Governo do Estado do Amazonas

Roberto Maia Cidade Filho
Governador

Universidade do Estado do Amazonas

André Luiz Nunes Zogahib
Reitor

Kátia do Nascimento Couceiro
Vice-reitora

editoraUEA

Isolda Prado de Negreiros Nogueira Horstmann
Diretora

Maria do Perpetuo Socorro Monteiro de Freitas
Gerente

Wesley Sá
Editor Executivo

Raquel Maciel
Produtora Editorial

Isolda Prado de Negreiros Nogueira Horstmann (Presidente)

Adriana Távora de Albuquerque Taveira

Carlos Mauricio Seródio Figueiredo

Gislaine Regina Pozzetti

Josefina Diosdada Barrera Khalil

Katell Uguen

Orlem Pinheiro de Lima

Silvia Regina Sampaio Freitas

Vanúbia Araújo Laulate Moncayo

Conselho Editorial

Gestão e regulação de recursos hídricos no estado do Amazonas

v. I

desafios e soluções para a sustentabilidade

Carlossandro Carvalho de Albuquerque
Eriverton Resende Monte
Ieda Hortêncio Batista
José Camilo Ramos de Souza
Maria Astrid Rocha Liberato
Maria da Glória Gonçalves de Melo
Marta Regina Silva Pereira
Thiago Flores dos Santos
(orgs.)

 *editora*
UEA



Raquel Maciel
Projeto gráfico

Vitória Marinho
Apoio técnico

Raquel Maciel
Sílvia Maria Corrêa Cavalcanti
Diagramação

André Teixeira
Wesley Sá
Revisão

Todos os direitos reservados © Universidade do Estado do Amazonas
Permitida a reprodução parcial desde que citada a fonte

Esta edição foi revisada conforme as regras do Novo Acordo
Ortográfico da Língua Portuguesa

G393
2026

Gestão e regulação de recursos hídricos no estado do Amazonas v.1 : desafios e soluções
para a sustentabilidade / Organização: Carlossandro Carvalho de Albuquerque; Ieda Hortêncio
Batista; José Camilo Ramos de Souza...[et.al] - 1. ed. - Manaus (AM): Editora UEA, 2026.
339 p.: il.; [E-book].

ISBN 978-85-7883-837-9

Inclui referências bibliográficas

1. Recursos Hídricos-Gestão-Amazonas. 2.Recursos Hídricos-Regulação-Amazonas.
3.Sustentabilidade. 4. Política de Recursos Hídricos. I. Albuquerque, Carlossandro Carvalho de
(org.). II. Batista, Ieda Hortência (org.). III. Souza, José Camilo Ramos de (org.). IV. Liberato,
Maria Astrid Rocha (org.). V. Melo, Maria da Glória Gonçalves de (org.). VI. Pereira, Marta Regina
Silva. (org.). VII. Santos, Thiago Flores dos (org.). VIII. Título.

CDU 1997- 556.18(811.3)

Elaborada pela bibliotecária Sheyla Lobo Mota-11/CRB 484



Editora afiliada

ABEU
Associação Brasileira das
Editoras Universitárias

*editora***UEA**

Av. Djalma Batista, 3578 – Flores | Manaus – AM – Brasil
CEP 69050-010 | +55 92 99205-8858
editora.uea.edu.br | editora@uea.edu.br

Sumário

09

Prefácio

11

Apresentação

13

Urbanização e impactos nos recursos hídricos na Lagoa da Francesa, Parintins – AM

Alice Soares Picanço, Neliane de Sousa Alves,
João D' Anuzio Menezes Azevedo Filho

34

Análise de dados espectrais de sensoriamento remoto de campo e orbital em águas pretas, como suporte à gestão de recursos hídricos, no baixo curso do rio Tarumã-Açu, Manaus/ Amazonas - Brasil

Angélica Rodrigues Rocha, Flávio Wachholz

51

Recursos hídricos e saneamento ambiental na bacia hidrográfica do igarapé do Bindá, Manaus – AM

Camila Fuziel Silva, Neliane de Sousa Alves, Flávio Wachholz

71

Estudo hidrológico em bacia experimental na Amazônia Central: resultados e implicações nos anos de 2015 e 2016

Dênis Agüero do Nascimento, Joecila Santos da Silva

89

Recursos hídricos e outorga aos flutuantes fluviais

Eriverton Resende Monte, Carlossandro Carvalho de Albuquerque,
Ieda Hortêncio Batista

108

**Sistema de alerta do nível do rio Amazonas em Parintins no
estado do Amazonas**

Fabio Leite Dias, Joecila Santos da Silva

122

**Índice de qualidade de água para o aquífero alter
do chão, em Parintins-AM (IQAS-P)**

Francielen Alves Pereira, Rafael Jovito Souza

137

**Qualidade das águas do rio Amazonas na
cidade de Parintins/AM**

Gabriellen Yasmine de Oliveira Pedreno

147

**Alterações eco-hidrológicas e desafios para a gestão da
bacia hidrográfica do Tarumã-Açu (Amazônia Central)**

Jamerson Souza da Costa, Maria da Glória Gonçalves de Melo,
Maria Astrid Rocha Liberato

157

Satellite altimetry for hydrology

Joecila Santos da Silva

170

Geotechnical and fluvial erosion analysis through field investigations

Luciane Farias Ribas, Mateus Ferreira de Oliveira,
Joecila Santos da Silva

194

Vegetação ripária da bacia hidrográfica do rio Tarumã-Açu: conservação e sustentabilidade

Maria da Glória Gonçalves de Melo, Maria Astrid Rocha Liberato,
Angela Maria Imakawa, Fernanda Siza Amaral,
Marta Regina Silva Pereira, Ieda Hortêncio Batista,
Flávio Wachholz, Carlossandro Carvalho de Albuquerque

211

Macrófitas aquáticas como indicadoras da qualidade da água no igarapé do Mindu em Manaus – AM

Matheus da Rocha Uchôa de Paula,
Ieda Hortêncio Batista, Maria da Glória Gonçalves de Melo, Maria Astrid Rocha Liberato

225

Água da chuva: aproveitamento para a gestão de recursos pluviais em comunidades ribeirinhas do estado do Amazonas

Paulo Cabral Barboza Júnior, Maria da Glória Gonçalves de Melo

241

Parâmetros físicos-químico e estado trófico da água no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Puraquequara, Manaus-AM

Paulo Cezar Arce da Rocha, Flávio Wachholz, Ieda Hortêncio Batista

263

***Balanced Scorecard* para o abastecimento de água:
proposta de mapa estratégico para os serviços da cidade de
Parintins, Amazonas**

Silvane Mascarenhas de Almeida, José Camilo Ramos de Souza

279

**A educação ambiental no contexto dos recursos hídricos:
uma contribuição para a gestão das águas em comunidade
ribeirinha no Amazonas/Brasil**

Romilda Lima Pontes, Ieda Hortêncio Batista, João
D'Anuzio Menezes Azevedo Filho

296

**Governança hídrica no Brasil: os comitês de
bacia hidrográfica como instrumento de gestão
dos recursos hídricos**

Thiago Flores dos Santos, Carlossandro Carvalho de
Albuquerque, Ieda Hortêncio Batista

314

**Utilização de indicadores para a gestão integrada:
uma análise do plano estadual de recursos hídricos/AM
e a legislação ambiental do município de Parintins/AM**

Wallace de Farias Simas, Carlossandro Carvalho de Albuquerque,
João D'Anuzio Menezes de Azevedo Filho

330

Sobre os autores

Prefácio

O Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos da Universidade do Estado do Amazonas (ProfÁgua/UEA) presenteia a comunidade acadêmica e a sociedade em geral com esta excelente obra científica denominada "Gestão e Regulação de Recursos Hídricos no Estado do Amazonas: desafios e soluções para a sustentabilidade".

O livro é uma contribuição inestimável para o avanço do conhecimento científico e das práticas voltadas para a conservação e o uso inteligente da água, um dos nossos recursos mais valiosos. A gestão hídrica eficaz se faz necessária, ainda mais em um contexto de mudanças climáticas que afeta a vida humana e os demais organismos vivos de nosso planeta.

A Amazônia, com sua vasta rede de rios e bacias hidrográficas representa não apenas um patrimônio natural de importância global, mas também uma base de sustento para milhões de pessoas que dependem diretamente dos recursos hídricos para a sua sobrevivência. No entanto, a pressão sobre esses recursos é crescente, sendo necessário pensar em soluções e metodologias que possibilitem a manutenção da qualidade hídrica para as presentes e futuras gerações.

Neste sentido, se destaca a inserção da expressão “sustentabilidade” no título desta obra, uma vez que a Universidade do Estado do Amazonas (UEA) se caracteriza por ser esse espaço de produção do conhecimento onde se desenvolvem soluções tecnológicas (como o Projeto Yara, de monitoramento da qualidade da água), práticas e políticas públicas que promovem a sustentabilidade em diversas esferas da sociedade.

Esta obra reflete o compromisso da Universidade do Estado do Amazonas (UEA) com a pesquisa aplicada e a formação de profissionais altamente qualificados. Os artigos e produtos técnicos aqui apresentados são fruto do empenho de docentes, pesquisadores e alunos do Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (ProfÁgua/UEA), consolidando-se como uma referência essencial para acadêmicos, gestores públicos, pesquisadores e profissionais da área ambiental.

A Universidade do Estado do Amazonas (UEA) por meio do ProfÁgua/UEA e de suas diversas iniciativas, dentre as quais, destaca-se neste momento a produção do livro "Gestão e Regulação de Recursos Hídricos no Estado do

Amazonas: desafios e soluções para a sustentabilidade", segue firme em seu compromisso com o avanço no conhecimento científico, pelo que, parablenizo os organizadores, a Editora Universitária da UEA e todos os autores das produções científicas envolvidas nesta iniciativa.

Que esta publicação sirva de inspiração para novas pesquisas e a formulação de estratégias eficazes para a gestão dos recursos hídricos na Amazônia e em todo o Brasil.

Prof. Dr. André Luiz Nunes Zogahib
Reitor da UEA

Apresentação

O livro *Gestão e regulação de recursos hídricos no estado do Amazonas: desafios e soluções para a sustentabilidade* reúne os artigos e produtos técnicos elaborados por alunos e professores do Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos da Universidade do Estado do Amazonas (ProfÁgua/UEA).

Os artigos e produtos técnicos que constam neste livro oferecem uma análise detalhada de instrumentos e metodologias importantes para a gestão hídrica, a partir de múltiplas perspectivas, e são fruto do esforço coletivo com o objetivo de proporcionar ao leitor reflexões que possam contribuir para o avanço do conhecimento científico sobre a gestão sustentável da água.

Por meio desta obra são abordados temas como a análise de qualidade da água do Rio Amazonas, estudo hidrológico em bacia experimental, sistema de alerta de nível de rio, indicadores para a gestão integrada de recursos hídricos, a gestão hídrica nos comitês de bacia hidrográfica, governança hídrica e os comitês de bacia hidrográfica, recursos hídricos e outorga aos flutuantes fluviais, *satellite altimetry for hydrology*, índice de qualidade da água, conservação da vegetação ripária, *balanced scorecard* para abastecimento de água, educação ambiental em comunidades ribeirinhas, aproveitamento da água da chuva, alterações eco-hidrológicas e desafios para a gestão de bacias, macrófitas aquáticas como indicadores de qualidade de água, parâmetros físico-químicos e estado trófico da água, recursos hídricos e saneamento ambiental, dentre outros.

O Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos da Universidade do Estado do Amazonas (ProfÁgua/UEA), que atua na formação ampla de alunos, aliando teoria e prática, tanto em Manaus/AM quanto em Parintins/AM, apresenta à sociedade em geral esta obra que se destina a profissionais da área, gestores públicos, pesquisadores e todos os interessados em atuar na gestão sustentável da água na Amazônia, reconhecendo a sua importância estratégica para o Brasil e o mundo.

Esperamos que as reflexões e soluções apresentadas neste livro possam inspirar novas abordagens e políticas públicas eficazes, promovendo a utilização responsável e conservação dos recursos hídricos que são fundamentais para a vida.

Profa. Dra. Ieda Hortêncio Batista
Coordenadora do ProfÁgua/UEA

Urbanização e impactos nos recursos hídricos na Lagoa da Francesa, Parintins – AM

Alice Soares Picanço

Neliane de Sousa Alves

João D' Anuzio Menezes de Azevedo Filho

Introdução

A água é o elemento fundamental ao desenvolvimento pelo seu valor social, econômico e ecológico, tendo em vista os usos para navegação, pesca e piscicultura, aproveitamento hidroelétrico e das várzeas agriculturáveis, turismo ecológico, recreação de contato primário e no abastecimento de água, por isto, torna-se imperioso o seu gerenciamento e aproveitamento racional. Porém a situação hídrica na região é desconfortável, o estado do Amazonas apresenta déficit em saneamento básico, inundações frequentes por cheias anuais causando danos à população ribeirinha, e problemas de poluição dos cursos d'água, em um curto período.

O estado do Amazonas é banhado pelo maior rio do mundo, o Amazonas, que recebe várias denominações desde suas nascentes, na Cordilheira dos Andes (5.000m de altitude, no Peru), até adentrar no Brasil, no município de Tabatinga (AM), quando passa a ser denominado rio Solimões, até o município de Manaus, local onde, ao se unir ao rio Negro, forma o rio Amazonas, que desemboca no Oceano Atlântico, no estado do Pará (CPRM, 2010).

A cidade de Parintins está localizada na margem direita do rio Amazonas, distante cerca de 369 km da capital do estado, Manaus. O conjunto de ilhas onde a cidade está assentada sofre interferências no tipo de solo, regime de subida e descida do nível da água, devido sua localização nas margens do rio Amazonas. Possui área territorial de 5.956,047 km², população estimada de 102.033 habitantes e é o segundo município mais populoso do estado, conforme dados do Censo Demográfico (IBGE, 2010).

A Lagoa da Francesa, objeto desse estudo, localiza-se na parte oeste da cidade de Parintins, configura-se como um ambiente flúvio-lacustre. De acordo com Lopes e Azevedo Filho (2018), a configuração geomorfológica da lagoa

pressupõe que suas feições morfológicas foram constituídas por períodos longos de erosão, dando origem às dissecações que modelam a Formação Alter do Chão e a planície aluvial, com seus morros baixos, suaves e alongados, entalhados em solos do tipo latossolos.

No processo de ocupação da área da lagoa ocorreu um significativo aumento populacional originando os bairros da Francesa, Santa Clara e Santa Rita, fato que contribuiu para que o local se tornasse um ponto de atracação de barcos regionais, e transporte particular como voadeiras, rabetas, canoas e demais meios de transporte fluvial, oriundos das diversas zonas rurais do município.

A lagoa da Francesa configura-se ao desenvolvimento da área urbana de Parintins a décadas, por meio de atividades comerciais, como a venda de especiarias e pescado.

As ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, uma iniciativa global liderada pelas Nações Unidas para enfrentar os desafios sociais, econômicos e ambientais enfrentados pelo mundo. Os ODS foram definidos em setembro de 2015 como parte da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, e eles compreendem um conjunto de 17 objetivos e 169 metas. No âmbito das ODS (Objetivo de Desenvolvimento Sustentável), os recursos hídricos na Lagoa da Francesa encontra suporte no objetivo ODS de número seis: Água potável e Saneamento Básico, no que tange o objetivo de apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais, para melhorar a gestão da água e do saneamento como parte importante do processo de fortalecimento da gestão hídrica.

Estudar a Lagoa da Francesa é adentrar no universo invisível dos conflitos, mas que dá visibilidade impactante acerca do uso e ocupação do recurso hídrico. Essa ocupação desordenada, por parte de moradias e embarcações, pode produzir diversos impactos como a degradação da qualidade da água, impactos diretos sobre a fauna aquática, principalmente sobre a ictiofauna, além da avifauna e demais animais que necessitam de um ambiente equilibrado. Dentro dessa realidade existe o uso do lugar pelos moradores como balneário, principalmente, por parte de crianças e população de menor poder aquisitivo para recreação e convívio comum.

Assim, o objetivo desta pesquisa foi analisar o uso e ocupação do solo na área de entorno da Lagoa da Francesa e os impactos associados, como subsídio à gestão dos recursos hídricos no município de Parintins-AM.

Os objetivos específicos compreenderam: Classificar os usos e ocupação do solo na área de entorno da Lagoa da Francesa e principais fontes de contaminação dos recursos hídricos; realizar uma análise prévia da qualidade ambiental da área de estudo; e elaborar manual de boas práticas ambientais com ênfase na conservação/preservação dos recursos hídricos.

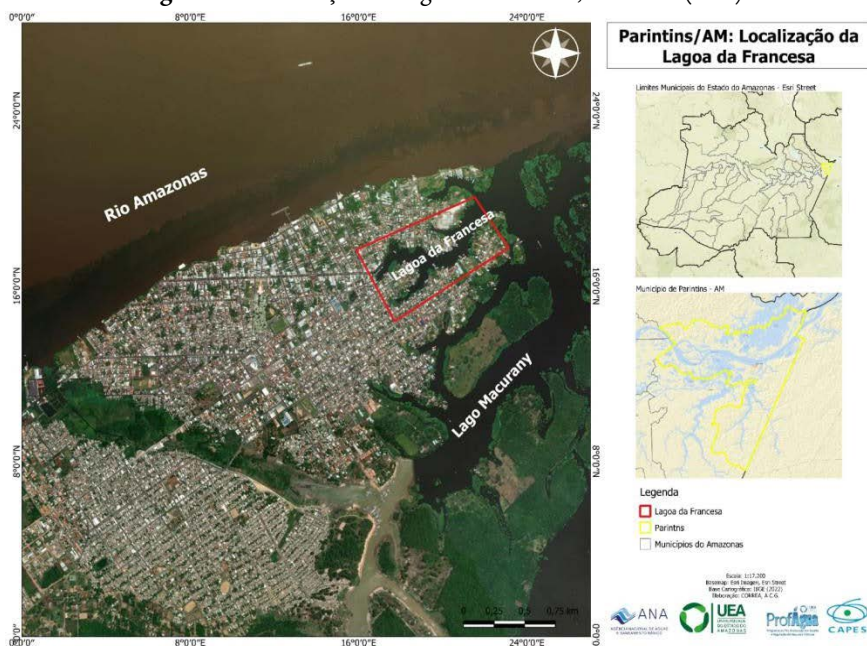
Material e métodos

Caracterização da Área de Estudo

A origem do nome Lagoa da Francesa, segundo relatos de moradores antigos, indica que este foi escolhido em razão de uma suposta família de franceses que morava ali e que teria sido uma das primeiras a habitar o local. Nessa família havia duas moças bonitas que costumavam banhar-se na lagoa e todos os rapazes da cidade as admiravam e as cortejavam, tendo essa admiração se convertido no nome da lagoa e, posteriormente, do bairro que surgiu no seu entorno.

A Lagoa da Francesa está localizada na porção leste da cidade de Parintins, no bairro do mesmo nome, e suas águas banham, além deste, os bairros de Santa Clara e de Santa Rita localizados no seu entorno (Figura 1).

Figura 1 - Localização da Lagoa da Francesa, Parintins (AM)



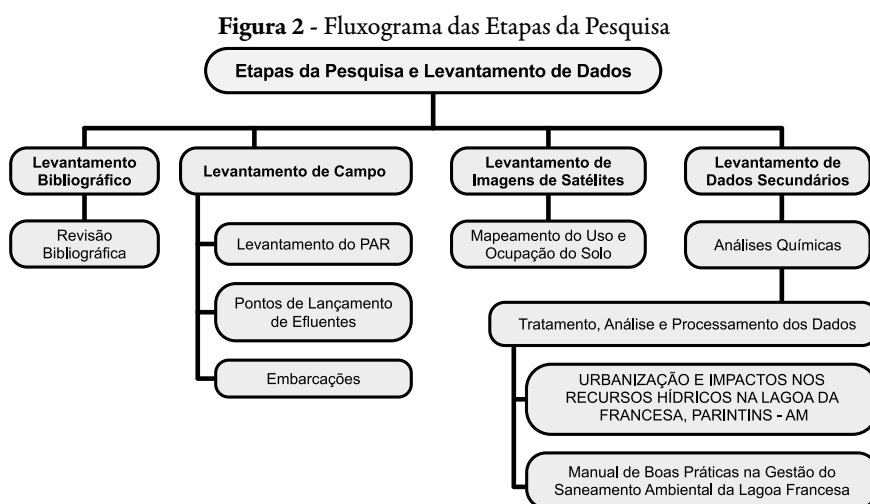
Fonte: IBGE, 2022. Organizado por Alice Picanço (2023)

Butel; Butel e Cursino (2012) afirmam que o bairro da Francesa é um dos mais antigos da cidade de Parintins, mas a ausência de registros oficiais sobre sua origem não permite o conhecimento da história do lugar, a base de conhecimento é sustentada apenas pela oralidade e lembranças dos moradores.

Uma das características da área da lagoa é a presença de comércios, levando em consideração que estes surgiram na localidade por volta dos anos 60, cujas atividades incluíam a comercialização de produtos regionais (castanha do Brasil, frutas, temperos e pescado), além de ser um ponto de chegada de prestadores de serviços em embarcações. A partir de então, a Lagoa da Francesa que se encontrava afastada do centro da cidade de Parintins, começou a passar por modificações que alteraram suas características naturais.

Procedimentos Metodológicos

A pesquisa desenvolvida é do tipo quantitativa, em que o método de investigação busca medir e analisar dados numéricos para entender fenômenos e testar hipóteses. Esse tipo de pesquisa se baseia em dados estatísticos e pode ser usado para descobrir padrões, testar teorias e fazer previsões. (Gil, 2002) e compreendeu as seguintes etapas apresentadas no fluxograma da Figura 2:



Fonte: Autoria própria

Mapeamento do uso e ocupação do solo

Para o mapeamento do uso do solo na área de estudo, foi feita a classificação em quatro classes: solo exposto, hidrografia, vegetação e área construída. Para isto, utilizou-se uma imagem do satélite Sentinel-2B sensor MSI¹ com resolução espacial de 10 metros e datada de 23/07/2023, a data foi selecionada considerando a cobertura de nuvens da região. A missão Copernicus SENTINEL-2 consiste em uma constelação de dois satélites em órbita polar, posicionados na mesma órbita sincronizada com o Sol, com fases de 180° entre eles (Sentinel, 2024).

¹ Disponível em: <https://dataspace.copernicus.eu/>.

O método para classificação da imagem foi o Gaussian Mixture Model, que consiste em uma técnica de agrupamento suave usada no aprendizado não supervisionado para calcular a probabilidade de um ponto de dados específico pertencer a um agrupamento. Esta técnica emprega vários modelos Gaussianos, cada um associado a um índice k pertencente ao conjunto $\{1,...,K\}$, onde K representa o número de agrupamentos em um conjunto de dados.

Levantamentos de Campo

Durante a pesquisa foram realizados trabalhos de campo para identificação das classes de uso e ocupação do solo mapeadas a partir das imagens de satélites selecionadas, bem como, pontos de lançamentos de efluentes, identificação de embarcações, atividades socioeconômicas locais e análise ambiental da área de estudo. Os materiais utilizados nesta etapa foram GPS, caderneta de campo e celular para tomada de imagens fotográficas da área.

Análise ambiental da área

A análise da qualidade ambiental da Lagoa da Francesa foi determinada a partir da aplicação de Protocolo de Avaliação Rápida – PAR, modelo proposto por Callisto *et al.* (2002), para ambientes fluviais e adaptados nesta pesquisa para um ambiente lacustre, a Lagoa da Francesa. Onze pontos foram selecionados, com base nas observações de campo, para aplicação do protocolo (Quadro 1).

Quadro 1 - Pontos levantados em campo

PONTO	LOCALIZAÇÃO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS
01	Escadaria mercado Osório Melo	-2°37'38" S - 56°43'39" W
02	Saída de esgoto Santa Clara/Francesa	-2 37' 32" S - 56° 43' 34" W
03	Saída de esgoto Feira do Bagaço	-2 37' 40" S - 56° 43' 39" W
04	Beco "Santo Antônio"	-2° 37' 31" S - 56° 43' 31" W
05	Porto Particular "Dodó Carvalho"	-2° 37' 35" S - 56° 43' 32" W

06	Final da rua Paraíba	-2° 37' 35" S - 56° 43' 29" W
07	Final rua Alberto Mendes	-2° 37' 38" S - 56° 43' 28" W
08	Lagoa interna parte Santa Rita	-2° 37' 43" S - 56° 43' 29" W
09	Posto de gasolina e Fábrica de Gelo	-2° 37' 36" S - 56° 43' 23" W
10	Beco "Oficinas Rua Des. João Correa"	-2° 37' 31" S - 56° 43' 27" W
11	Limite entre porto particular Baranda e Chiquinho Picanço	-2° 37' 32" S - 56° 43' 22" W

Fonte: Alice Picanço (2023)

Na elaboração e na adequação do PAR, foram selecionadas onze parâmetros e para cada um foram criadas categorias correspondentes às condições ambientais do local, com as seguintes pontuações limites: NATURAL (5 pontos), ALTERAÇÕES LEVES (2 e 3 pontos) e SITUAÇÃO ALTERADA SEVERAMENTE (0 pontos), cujos valores são atribuídos de acordo com o gradiente de estresse ambiental verificado no local da avaliação, podendo variar desde uma condição considerada "natural", até a condição "impactado", passando por situação intermediária "moderado" (Quadro 2).

Quadro 2 - Protocolo de Avaliação Rápida - PAR

PAR – LAGOA DA FRANCESA/PARINTINS - AM					
Nº	PARÂMETROS	PONTUAÇÃO			
		5 NATURAL	3 ALTERAÇÕES LEVES	2 ALTERAÇÕES LEVES	0 ALTERAÇÕES SEVERAS
1.	Tipo de ocupação das margens do corpo d'água	Vegetação Natural	Vegetação em Recuperação	Campo de pastagem/agricultura	Residencial/comercial/industrial
2.	Erosão próxima e/ou nas margens da lagoa e assoreamento em seu leito	Ausente	Rara	Moderada	Acentuada

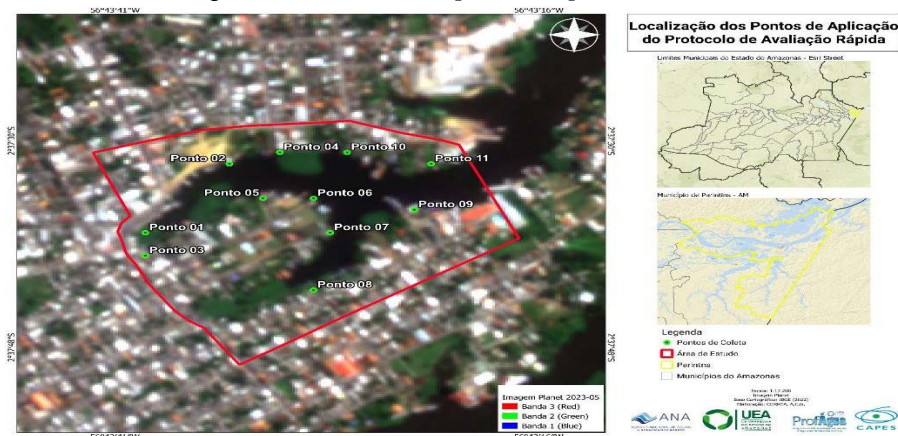
3.	Alterações antrópicas das margens	Ausente	Alterações para recuperação da mata ciliar	Alterações de origem doméstica (esgoto/lixo)	Alterações de origem industrial/ urbana (fábricas/ canalização/ desvio)
4.	Odor água	Nenhum	Esgoto	Esgoto (Gás Sulfídrico)	Óleo/Industrial
5.	Oleosidade	Ausente	Branda/ rara	Moderada	Abundante
6.	Transparência da água	Transparente	Turva/ cor de chá forte	Turva/Barrenta	Opaca/colorida
7.	Alterações na Lagoa	Dragagem ausente ou padrão normal	Alguma obra de contenção presente	Alguma modificação presente nas margens	Margens modificadas mais de 80% da lagoa modificada
8.	Tipo de Leito	Pedras/ cascalho	Areia	Lama/areia	Cimento
9.	Presença de Mata ciliar	Acima de 90% com vegetação nativa, incluindo árvores, arbustos ou macrófitas, mínima evidência de desmatamento, plantas altura normal	Entre 70 a 90% com vegetação nativa, desmatamento evidente mas não afetando o desenvolvimento da vegetação, maioria de plantas na altura normal	Entre 50 e 70% com vegetação nativa, desmatamento óbvio, trechos com solo exposto ou vegetação eliminada, menos da metade das plantas atingindo altura normal	Menos de 50% da mata ciliar nativa, desmatamento muito acentuado

10.	Estabilidade das Margens	Margens estáveis, mínima evidência de erosão ou ausente. Menos de 5% da margem afetada	Moderadamente estáveis, pequenas áreas de erosão frequentes. Entre 5 a 30% da margem com erosão	Moderadamente instáveis, entre 30 e 60% das margens com erosão. Risco elevado de erosão durante enchentes	Instável, muitas áreas com erosão, frequentes áreas descobertas nas curvas da lagoa, erosão óbvia entre 60 e 100% da margem
11.	Presença de plantas aquáticas	Pequenas macrófitas aquáticas e/ou musgos distribuídos no leito	Macrófitas aquáticas ou algas filamentosas musgos na lagoa e substrato	Macrófitas em poucos espaços	Ausência de vegetação aquática no leito da lagoa ou grandes bancos de macrófitas

Fonte: Callisto *et al.*, (2002). Organizado por Alice Picanço (2023)

O protocolo avalia um conjunto de parâmetros em categorias descritas e pontuadas de 0 a 5. Esta pontuação é atribuída a cada parâmetro com base na observação das condições do habitat, como: presença de poluentes, integridade da vegetação, tipo de ocupação das margens, erosão, odor, oleosidade e transparência da água. O valor final do protocolo de avaliação é obtido a partir do somatório dos valores atribuídos a cada parâmetro independentemente. As pontuações finais refletem o nível de preservação das condições ecológicas dos locais avaliados, onde de 0 a 40 representam ambientes “impactados” (alterações severas); 41 a 60 pontos ambientes “alterados” (alterações leves) e acima de 61 ambientes “naturais” (Callisto *et al.*, 2002). O tempo estimado para a aplicação do protocolo em cada ponto é de 20 a 30 minutos, na figura 03, observa-se os pontos de aplicação do PAR.

Figura 3 - Localização dos pontos de aplicação do PAR



Fonte: IBGE, 2022. Organizado por Alice Picanço (2023)

Produto

O produto elaborado como resultado da pesquisa foi o Manual de Boas Práticas na Gestão do Saneamento Ambiental da Lagoa da Francesa. O manual contém informações sobre a importância e uso da lagoa, diagnóstico sobre a qualidade ambiental atual da lagoa, e sugestões de boas práticas ambientais a serem realizadas pelo poder público, a população de Parintins e, principalmente, os usuários do espaço. Esse produto contempla proposições de boas práticas ambientais voltadas à coleta e descarte de resíduos sólidos e sugestões de melhorias para os sistemas de esgotamento sanitário nas embarcações, figura 04.

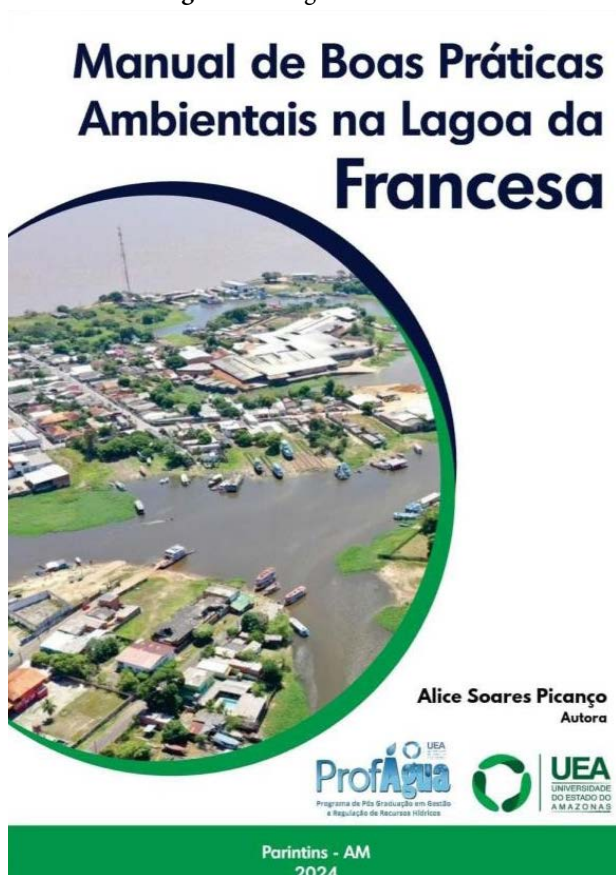
A proposta é que este manual facilite o acesso da população às informações levantadas na pesquisa sobre a Lagoa da Francesa, por meio de uma linguagem de fácil compreensão para a comunidade em geral, que estará apta a auxiliar na gestão dos recursos hídricos locais, garantindo a segurança hídrica e participando da tomada de decisões quando necessário.

Resultados e discussões

Uso e Ocupação do Solo na Lagoa da Francesa

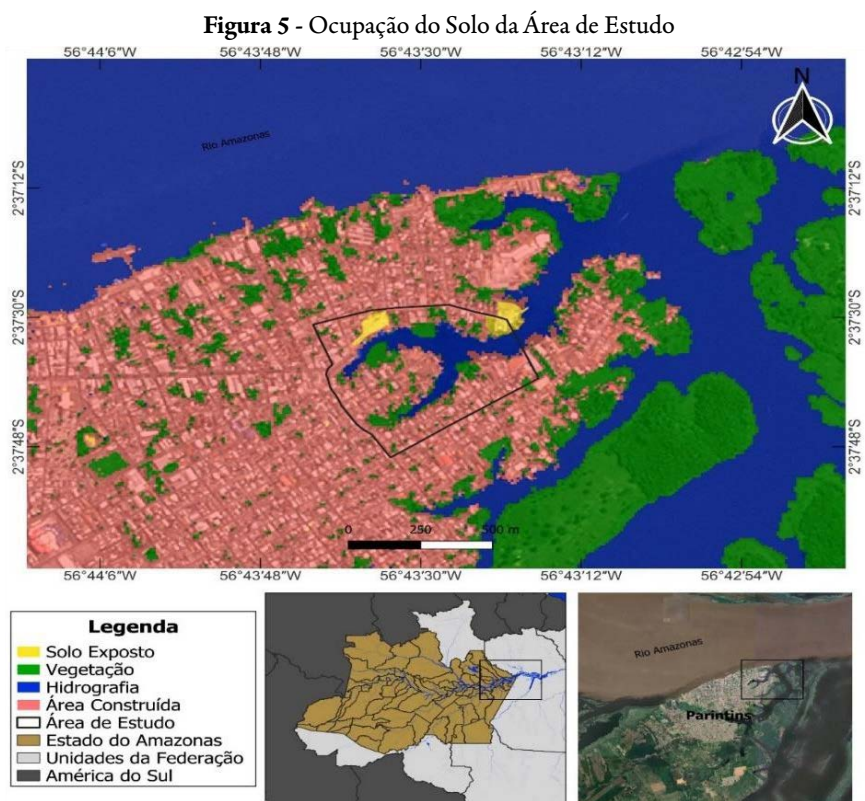
Durante a pesquisa foi realizado o mapeamento dos usos e ocupação do solo na área de entrono da lagoa da Francesa e um diagnóstico das condições ambientais atuais desta área, cujo processo de urbanização ocorreu de maneira não planejada, semelhante a outras áreas urbanas no Brasil, promovendo no local diversos problemas de cunho social e ambiental. No mapeamento do uso e ocupação do solo foram definidas quatro classes: solo exposto, vegetação, hidrografia e área construída, conforme observado na figura 04.

Figura 4 - Imagem do Produto



Fonte: Alice Picanço (2024)

O uso e ocupação das bacias hidrográficas, sem a devida gestão, acarreta graves problemas ambientais, consequentemente o ser humano é afetado de forma direta e indireta, mesmo que a médio ou longo prazo. Os pesquisadores Rocha, Tiz e Cunha (2009, p. 1) apontam que “a ocupação inadequada dos perímetros urbanos promove alterações drásticas no ciclo hidrológico das bacias hidrográficas, particularmente no estágio de infiltração e de escoamento superficial das águas pluviais”.



Fonte: Dataspace, 2023. Organizado por Alice Picanço (2024)

Assim, toda atividade relacionada ao uso e ocupação do solo próximos a corpos de água, necessitam de atenção especial para que não venha faltar água com quantidade e qualidade adequada para a atual e futuras gerações. Nas reflexões de Gardiman Junior *et al.* (2012, p. 111), “o planejamento das atividades antrópicas em uma bacia hidrográfica é de fundamental importância

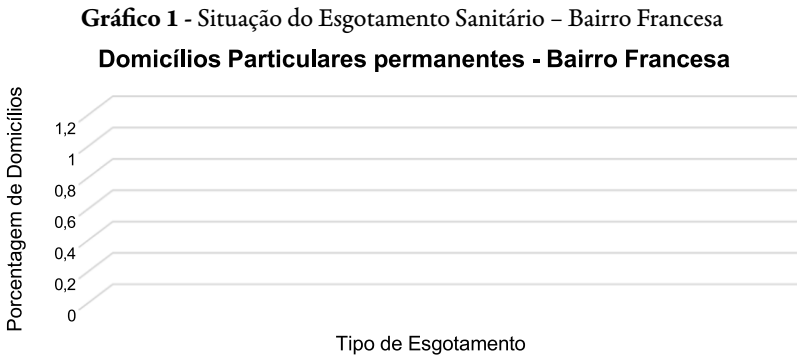
para o manejo adequado dos recursos nela contidos, mantendo, assim, sua integridade e equilíbrio ambiental”.

Os pesquisadores Botelho e Silva (2012, p. 175) afirmam que essas intervenções antrópicas trazem impactos para os cursos d’água. De acordo com os referidos autores, a canalização e retificação destes afetam o sistema hidrológico. Nas considerações de Pacheco (2013, p. 23), “os efeitos do uso e a ocupação da terra nas áreas de uma bacia de drenagem, atingirão magnitudes diversas, dependendo do avanço antrópico, somados à condição natural da dinâmica fluvial e de outros fatores”.

Principais Fontes de Poluição, Contaminação Hídrica e Saneamento Ambiental na Lagoa da Francesa

Nas etapas de campo realizadas foram levantadas informações acerca das condições de saneamento ambiental da área e principais fontes poluentes, e foram utilizados dados disponibilizados pelo IBGE (2010).

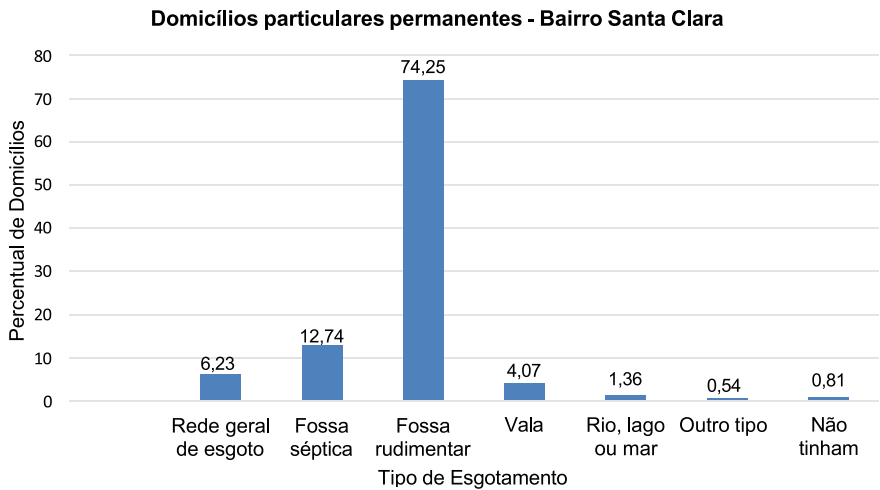
Os gráficos gerados contêm informações sobre indicadores de esgoto sanitário, como taxas de tratamento de esgoto, cobertura de redes de esgoto, poluição hídrica e outros fatores relevantes. Esses gráficos fornecem uma visão clara das condições de esgotamento sanitário nos bairros da Francesa, Santa Clara e Santa Rita, que compõem a área estudada. As informações foram obtidas do Censo Demográfico do IBGE (2010), ressalta-se que os dados pertinentes ao ano de 2023 ainda se encontram em processamento pelo IBGE. O gráfico 01 apresenta a situação sanitária do bairro da Francesa e o gráfico 02 refere-se aos dados de esgotamento sanitário do bairro Santa Clara.



Fonte: IBGE, 2010. Organizado por: Alice Picanço (2024)

Os bairros da Francesa e Santa Clara apresentam mais de 70% do esgotamento sanitário do tipo fossa rudimentar e, de acordo com Figueiredo *et al.* (2019), as fossas rudimentares ainda são amplamente utilizadas para tratamento e destinação de esgoto em áreas rurais no Brasil, por se apresentarem como uma solução simples, econômica e popularmente conhecida. Embora seu uso seja muitas vezes considerado precário, trata-se de um sistema que garante a separação higiênica entre pessoas e suas excretas.

Gráfico 2 - Situação do Esgotamento Sanitário – Bairro Santa Clara



Fonte: IBGE, 2010. Organizado por: Alice Picanço (2024)

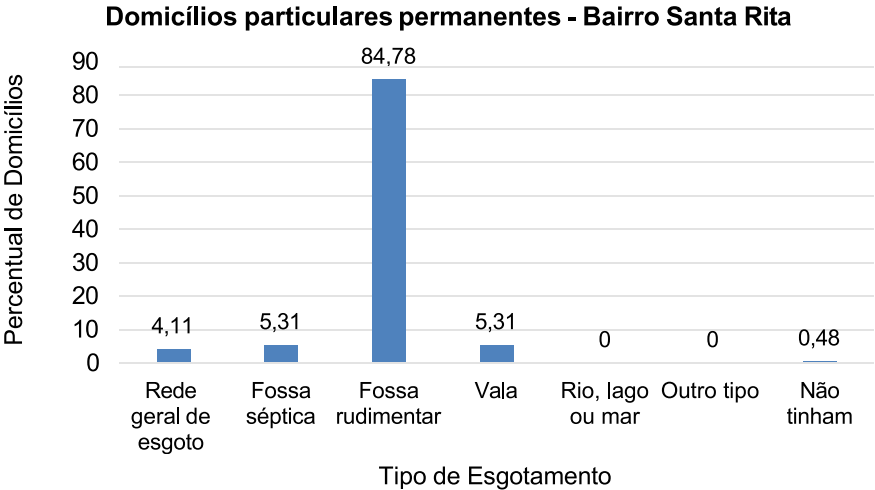
No entanto, esse tipo de sistema é considerado internacionalmente pelo WHO/UNICEF- Fundo das Nações Unidas para a Infância (2017) e mesmo nacionalmente pela FUNASA - Fundação Nacional de Saúde (2015) como uma forma de tratamento e disposição final adequada, já que resolve satisfatoriamente aspectos de saúde pública (FUNASA, 2015) e garante uma separação higiênica entre pessoas e suas excretas (WHO/UNICEF, 2017). Recentemente o PNSR – Plano Nacional de Saneamento Rural (2018) também elencou a fossa absorvente como uma das tecnologias adequadas para o tratamento de esgotos domésticos de populações rurais, desde que o lençol freático seja profundo.

Fossas rudimentares são estruturas subterrâneas simples, destinadas a receber esgoto doméstico e permitir que ele se decomponha parcialmente ao longo do tempo. Elas consistem em uma escavação no solo revestida com materiais como concreto ou tijolos, onde o esgoto é depositado. A degradação do esgoto ocorre principalmente por meio de processos anaeróbicos, onde microrganismos que não contêm oxigênio quebram os resíduos orgânicos. No entanto, esses processos não são tão eficientes quanto os sistemas modernos de tratamento de esgoto.

A mesma situação é observada no bairro Santa Rita, onde o percentual de imóveis com fossa rudimentar atinge valores de 84,78%, conforme apresentado no gráfico 03. Os principais impactos ambientais relacionados a esse tipo de sistema incluem a contaminação do solo e do lençol freático por patógenos e nitrato.

As fossas absorventes, segundo Figueiredo *et al.* (2019), são tipicamente projetadas e construídas de forma empírica, sem nenhum tipo de projeto ou avaliação das condições locais de instalação. Não há suporte de qualquer norma brasileira para a elaboração de seu projeto e a sua construção. Algo próximo construtivamente à fossa absorvente seria o sumidouro, mas seu projeto está direcionado ao pós-tratamento do efluente produzido em tanques sépticos.

Gráfico 3 - Situação do Esgotamento Sanitário – Bairro Santa Rita



Fonte: IBGE, (2010). Organizado por: Alice Picanço (2024)

Por sua vez, observou-se na área de entorno da lagoa da Francesa a ausência do serviço de tratamento de esgoto, fato que configura a situação com potencial impacto aos recursos hídricos que são utilizados como meio de lançamento das águas servidas. De acordo com Archanjo (2016), a ausência de tratamento de esgotos se soma à deficiência do manejo e drenagem das águas pluviais, que é um dos serviços que compõem o saneamento básico (Brasil, 2007). Em períodos de intensa pluviosidade, as águas das chuvas se misturam aos efluentes e formam fontes de contaminação à população e aos recursos naturais.

Qualidade ambiental da área

Uso do Protocolo de Avaliação Rápida – PAR

De acordo com Minatti-Ferreira e Beaumord (2006), os Protocolos de Avaliação Rápida (PARs) destinados à análise de cursos d'água permitem a obtenção de dados a um curto prazo e com custos reduzidos para a avaliação da integridade ambiental, sendo, portanto, um passo inicial para o planejamento e implantação de programas de manutenção, preservação e recuperação de ambientes.

Assim, torna-se uma ferramenta de análise para atuação dos órgãos gestores e controladores de recursos naturais e para produção das pesquisas acadêmicas. Para Rodrigues (2009), os Protocolos de Avaliação Rápida são ferramentas que contribuem para uma análise ambiental mais completa. Segundo a autora, no mundo todo, para o monitoramento dos rios, é realizado medições físico-químicas e bacteriológicas das águas, sendo estes instrumentos importantes para a determinação de padrões de potabilidade e/ou qualidade da água para os diversos usos humanos, mas que, quando analisados separadamente, são parâmetros que podem subestimar a real magnitude dos danos que estão sendo causados aos ambientes aquáticos.

De acordo com Callisto *et al.* (2002) os PARs são metodologias de fácil utilização e entendimento e visam avaliar a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas aquáticos contribuindo para o manejo e conservação deles.

Para esta análise foram levantados em campo, onze pontos localizados (Figura 6) segundo o Quadro 1 e aplicado o Protocolo de Avaliação Rápida - PAR, cujo objetivo foi realizar análise ambiental da área, incluindo algumas características da água.

Figura 6 - Pontos de Coleta



Fonte: Pesquisa de Campo (2023)

Estes trechos foram escolhidos devido à localização, pois são próximos a vias de grande circulação e estabelecimentos comerciais. Também foi previamente observadas situações de degradação ambiental nesses trechos, como assoreamento, erosões, desmatamento e o descarte de resíduos sólidos e líquidos, onde constatou-se alterações leves a severas, o que indica significativa degradação.

Os locais analisados contemplam a totalidade da área estudada, onde localizam-se alguns portos particulares, postos de gasolinas fluviais, oficinas, fábrica de gelo, moradias e estaleiros. Os resultados obtidos apontam que a lagoa apresenta problemas de poluição hídrica que atingem diretamente a sua fauna e população da área de entorno. No quadro 03 são apresentados os resultados da aplicação do PAR na área de estudo.

Quadro 3 - Resultados da aplicação do PAR na Lagoa da Francesa

PARÂMETROS		PONTOS DE OBSERVAÇÃO										
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
Tipo de ocupação das margens do corpo d'água		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Erosão próxima e/ou nas margens da lagoa e assoreamento em seu leito		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Alterações antrópicas das margens		0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Odor água		3	2	2	0	0	0	2	0	0	0	3
Oleosidade		2	0	2	0	0	0	2	0	2	0	3
Transparência da água		2	2	2	0	0	0	2	2	2	0	2
Alterações na lagoa		0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
Tipo de Leito		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Presença de Mata ciliar		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Estabilidade das Margens		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Presença de plantas aquáticas		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL		9	6	10	2	2	2	10	4	6	2	10
AVALIAÇÃO		I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
		Legenda: I - Impactado N - Natural Pontuação: 5 - Natural 2 e 3 – Alterações Leves 0 - Alterada Severamente										

Fonte: Elaborado por Alice Picanço (2023)

Considerações finais

Os resultados alcançados serviram de subsídio para a elaboração do Manual de Boas Práticas Ambientais, cuja ênfase é a conservação/preservação dos recursos hídricos da Lagoa da Francesa, e seu objetivo principal é informar e orientar, em linguagem de fácil compreensão, a comunidade que vive entorno da lagoa e a população parintinense de forma geral, que estará apta a auxiliar na gestão dos recursos hídricos locais, garantindo a segurança hídrica e participando da tomada de decisões quando necessário.

Salienta-se a importância de medidas preventivas e mitigadoras definitivas, que vão desde a implantação de projetos de saneamento básico até a educação ambiental aplicada, de forma a permitir a melhoria da qualidade ambiental na Lagoa da Francesa, garantindo a preservação/manutenção de suas funções ecológicas, econômicas, sociais e culturais, destacando a visão de que a gestão de recursos hídricos vai além do compromisso público na disponibilidade de água para consumo.

É importante enfatizar que não existe gestão de recursos hídricos sem o envolvimento do poder público, seja ele municipal, estadual ou federal, por meio de seus órgãos gestores e da participação efetiva da sociedade, parceiros fundamentais para uma gestão eficaz de forma que atenda as demandas atuais e futuras dos usuários da água.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). *Recursos Hídricos: planos de recursos hídricos e enquadramento dos corpos de água*. Brasília, DF: ANA, 2013.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (Brasil). *Resolução – RDC nº 72, de 29 de dezembro de 2009*. Dispõe sobre o Regulamento Técnico que visa à promoção da saúde nos portos de controle sanitário instalados em território nacional, e embarcações que por eles transitem. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 29 dez. 2009.
- ALBUQUERQUE, C. C. *Análise ge ecológica da paisagem da várzea na Amazônia Central: um estudo estrutural e funcional do Paraná de Parintins-AM*. 2012. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geografia, Faculdade de Geociências, Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2012.

- ARCHANJO, P. C. V. *Convivência contínua com esgotos a céu aberto: modos de subjetivação de habitantes de Parintins-Amazonas*. 2016. Tese (Doutorado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2016. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/5240>. Acesso em: 6 maio 2024.
- BOTELHO, R. G.; SILVA, A. S. A bacia hidrográfica e a qualidade ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. T. (orgs.). *Reflexão sobre a Geografia Física no Brasil*. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.
- BRASIL. *Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997*. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF: Casa Civil, 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm. Acesso em: 10 set. 2023.
- BRASIL. *Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007*. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Brasília, DF: Casa Civil, 2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: 4 out. 2021.
- BUTEL, I.; BUTEL, L.; CURSINO, J. *História e Memória Política do Município de Parintins*. Parintins: Câmara Municipal de Parintins, 2012.
- CALLISTO, M. *et al.* Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa (MG-RJ). *Acta Limnológica Brasileira*, Rio Claro, SP, v. 34, p. 91-97, 2002.
- FIGUEIREDO, I. *et al.* Fossa absorvente ou rudimentar aplicada ao saneamento rural: solução adequada ou alternativa precária? *Revista DAE*, São Paulo, 2019. Disponível em: file:///C:/Users/SENAI/Downloads/_04322dae2019057.pdf. Acesso em: 28 maio 2023.
- GARDIMAN JÚNIOR, B. S. *et al.* Perda de solo por erosão hídrica em áreas de preservação permanente na microbacia hidrográfica Córrego do Horizonte, Alegre, Espírito Santo. *Engenharia Ambiental*, Espírito Santo do Pinhal, v. 9, p. 21-34, 2012.
- GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Áreas Urbanizadas do Brasil 2019 Notas Técnicas*. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Cidades e Estados: Parintins*. Brasília, DF: IBGE, 2010. Disponível em: www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/am/parintins.html. Acesso em: 13 jul. 2022.

- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. *Dados Históricos anuais*. INMET, 2022. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em: 10 jun. 2023.
- INTERNATIONAL CONVENTION FOR THE PREVENTION OF MARINE POLLUTION FROM SHIPS. International Convention for the Prevention of Marine Pollution from Ships, 1983, Londres, as modified by the Protocol of 1978 relating thereto. (MARPOL 73/78). Brasília, DF: Casa Civil, 1998. Disponível em: [https://www.imo.org/en/about/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](https://www.imo.org/en/about/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx). Acesso em: 18 dez. 2023.
- LOPES, A. G.; AZEVEDO FILHO, João D. M.; SILVA, E. V. Caracterização geomorfológica e pedológica da lagoa da Francesa em Parintins-Amazonas. In: PACHECO, J. T. R.; PACHECO, M. Z. (orgs.). *Geografia: a superfície do planeta Terra em análise 3*. Ponta Grossa, PR: Atena, 2023. p. 48-63. Disponível em: <https://atenaeditora.com.br/catalogo/post/caracterizacao-geomorfologica-e-pedologica-da-lagoa-da-francesa-em-parintins-amazonas>. Acesso em: 18 dez. 2023.
- MINATTI-FERREIRA, D. D.; BEAUMORD, A. C. Avaliação rápida de integridade ambiental das sub-bacias do rio Itajaí-Mirim no Município de Brusque, SC. *Health and Environmental Journal*, v. 4, p. 21-27, 2006.
- PACHECO, T. R. *Geografia: a superfície do planeta Terra em análise*. 3. ed. Ponta Grossa, PR: Atena, 2013.
- ROCHA, A. S.; TIZ, G. J.; CUNHA, J. E. Reflexos do uso e ocupação do solo urbano no desenvolvimento de processos erosivos em áreas rurais. *Synergismus Scientificus UTFPR*, Pato Branco, v. 4, n. 1, 2009.
- RODRIGUES, D. O.; SILVA, S. L. R.; SILVA, M. S. R. Avaliação ecotoxicológica preliminar das águas das bacias hidrográficas do rio Tarumã, São Raimundo e Educandos. *Acta Amazônica, Manaus*, v. 39, n. 4, 2009.
- SENTINEL. SENTINEL-2 MISSION GUIDE. [2024]. Disponível em: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2>. Acesso em: 20 mar. 2024.

Análise de dados espectrais de sensoriamento remoto de campo e orbital em águas pretas, como suporte à gestão de recursos hídricos, no baixo curso do rio Tarumã-Açu, Manaus/ Amazonas-Brasil

Angélica Rodrigues Rocha
Flávio Wachholz

Introdução

No Brasil, devido à grande oferta quantitativa da água, para a Agência Nacional de Águas/ANA (2019), a situação de estresse hídrico na maior parte do território ainda é considerada baixa com nível relativo de conforto, já que a reserva de águas doces nacionais, segundo Rebouças *et al.* (2006), representa 12% do total mundial, estimado em 1.488.000 m³/s. Entretanto, ao se observar a disponibilidade em relação à densidade demográfica e à demanda é possível notar a distribuição não equitativa entre as regiões e o comprometimento qualitativo de alguns cursos d'água, principalmente em bacias urbanas.

Nesse contexto, a gestão eficiente das águas em regiões de tamanhos continentais e sistemas complexos, como da região Amazônica, exige conhecimento detalhado das dinâmicas dos ecossistemas locais em diferentes escalas espaciais e temporais. Esse conhecimento possibilita a promoção dos conjuntos de ações preconizados nos objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) para a agenda 2030 de prioridades globais das Nações Unidas, como o objetivo 6, que propõe assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos, dentro das dimensões ambiental, econômica e social.

Apesar da quantidade significativa de instrumentos de gestão previstos nos arcabouços legais, a aplicação no território amazonense ainda é incipiente, considerando que Manaus, capital do estado Amazonas, possui o único comitê ativo de bacia no estado, o do Rio Tarumã- açu. Diversas pesquisas nesta bacia foram conduzidas e constatarem diferentes tipos de pressões antrópicas com impacto negativo na qualidade de suas águas, dentre elas, o lançamento irregular de resíduos sólidos e líquidos, o uso e ocupação inadequados do solo, presença

intensa de transporte aquático, instalações de flutuantes para fins residenciais e comerciais nos cursos de água e indícios de contaminação por chorume do aterro sanitário (Melo *et al.*, 2005; Santana; Barroncas, 2007; Bühring, 2010; Santos *et al.*, 2015; Melo; Romanel, 2018).

A ANA, em 2013, lançou a Rede Nacional de Monitoramento de Qualidade da Água (RNQA), que conta com uma estratégia de cooperação entre os operadores das redes estaduais, padronizando e ampliando o monitoramento em nível nacional de diversos parâmetros limnológicos. No entanto, ao se acessar as informações do Amazonas, nota-se um vazio de dados por causa da ausência de implementação de estações amostrais na região, devido à necessidade de maior apoio financeiro em grandes áreas.

Uma alternativa a este cenário, com menor custo financeiro e maior acessibilidade aos levantamentos técnicos, mapeamentos e monitoramento do planejamento ambiental, integrando às fontes convencionais de gerenciamento é a tecnologia de Sensoriamento Remoto (SR) que, segundo Novo (2005), consiste no processo de aquisição de dados e informações à distância.

Os desafios para a utilização de SR em ambientes aquáticos são a baixa resposta espectral da água, principalmente quando tratamos de águas com alto teor de matéria orgânica e baixo de sólidos em suspensão, como as águas pretas amazônicas do Rio Tarumã-açu e o alto índice pluviométrico local, que facilita a formação de nuvens e vapores d'água, o que diminui a disponibilidade de imagens úteis de satélites.

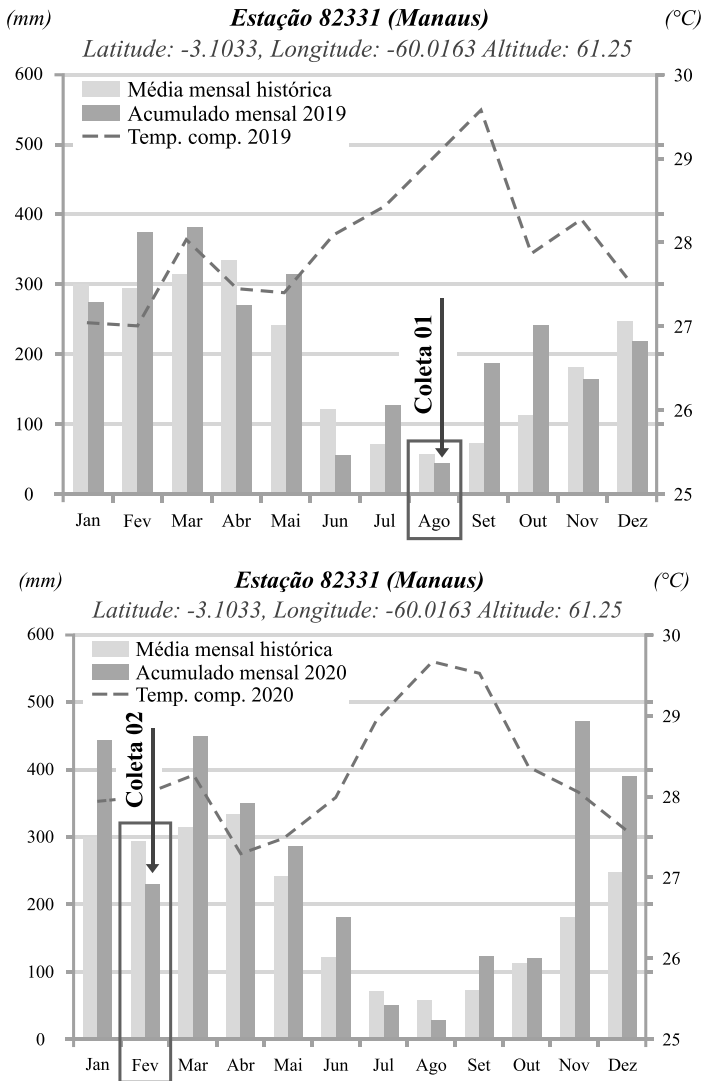
Em vista do que foi apresentado, este trabalho - que é fruto de dissertação do Programa em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (ProfÁgua), da Universidade do Estado do Amazonas -, verificou a usabilidade dos dados de sensoriamento remoto de campo e orbital, nos períodos hidrológicos de vazante e enchente, para qualidade das águas pretas no baixo curso do Rio Tarumã-açu, com a finalidade de suporte à implementação de instrumentos de gestão de recursos hídricos na região Amazônica.

Material e método

A pesquisa foi desenvolvida no baixo curso do Rio Tarumã-açu, localizado na cidade de Manaus, Amazonas (região central da Amazônia). De acordo com o censo demográfico de 2010 e estimativas populacionais para 2019

outubro), e temperatura média anual de 26°C (Melo, 2017). Na Figura 2 abaixo é demonstrado esse comportamento, com destaque para os meses com coleta de campo, que em relação às precipitações obtiveram valores de chuva abaixo dos registros históricos (Dados da estação pluviométrica do porto de Manaus).

Figura 2 - Termopluviogramas histórico e acumulados mensais dos 2019 e 2020



Fonte: Autores (2021)

As unidades de depósitos do período quaternário e terciário compõe a geologia da bacia (formação Alter do chão), com seu canal fluvial constituído por areias e silte; e a sua planície de inundação composta por argila e caulim (Costa; Silva; Silva, 2013). Os solos são classificados em Latossolo Amarelo nos platôs, Podzólico Vermelho-Amarelo nas encostas e Arenos hidromórficos nos baixios (Proambiente, 2002). A cobertura do solo da bacia é predominantemente composta por vegetação dos tipos de floresta ombrófila densa, floresta ombrófila aberta, floresta aluvial periodicamente inundada (floresta de igapó), campinarana e áreas com interferência antrópica, como urbana, agricultura, indústria e presença de comunidades tradicionais (Vasconcelos, 2012).

A morfometria da bacia é classificada como ampla e alongada, o fator de forma de 0,40; torna a resposta hidrológica da sua rede de drenagem mais lenta e com pouca tendência a enchentes. No entanto, por possuir pouca sinuosidade pode facilitar o carreamento de sedimentos e o surgimento de processos erosivos (Costa; Silva; Silva, 2013). A dinâmica hidrológica do Rio Tarumã-açu, segundo Siqueira (2019), sofre impacto do fenômeno de barramento hidráulico provocado pelo Rio Negro, quando esse ultrapassa a cota de 19 metros, em uma extensão de ao menos 17 km do Rio Tarumã-açu. Nos meses de outubro e novembro o Rio Tarumã-açu não sofre essa influência, com exceção de um trecho aproximado de 4 km à montante da foz.

A BH-TA é uma unidade estratégica para o planejamento local e regional da cidade de Manaus, faz parte do plano de resíduos sólidos, expansão do gasoduto, polo industrial, turismo ecológico, abastecimento público de água e da nova fronteira habitacional. Entretanto, a degradação ambiental é motivo de preocupação, que segundo Albuquerque e Gavinho (2004), apesar da sua margem direita encontrar-se relativamente preservada, a margem esquerda da bacia requer maior atenção, devido ao fácil acesso e as suas ocupações e formas de uso do solo terem se intensificado a partir da década de 1980, com construção de rodovias (BR-174 e AM- 010) e expansão urbana (Melo; Romanel, 2018).

O aterro municipal de Manaus está localizado na BH-TA, no km 19 da AM-010, à margem direita do igarapé Matrinxã, que junto com os igarapés Aracu, Acará e Bolívia formam o sistema hídrico da região. Estudos conduzidos por Santana; Barroncas (2007) e Buhring (2010) demonstraram indícios de contaminação por chorume, proveniente do aterro e o descarte incorreto de resíduos sólidos domésticos produzidos no entorno dos igarapés. Na área

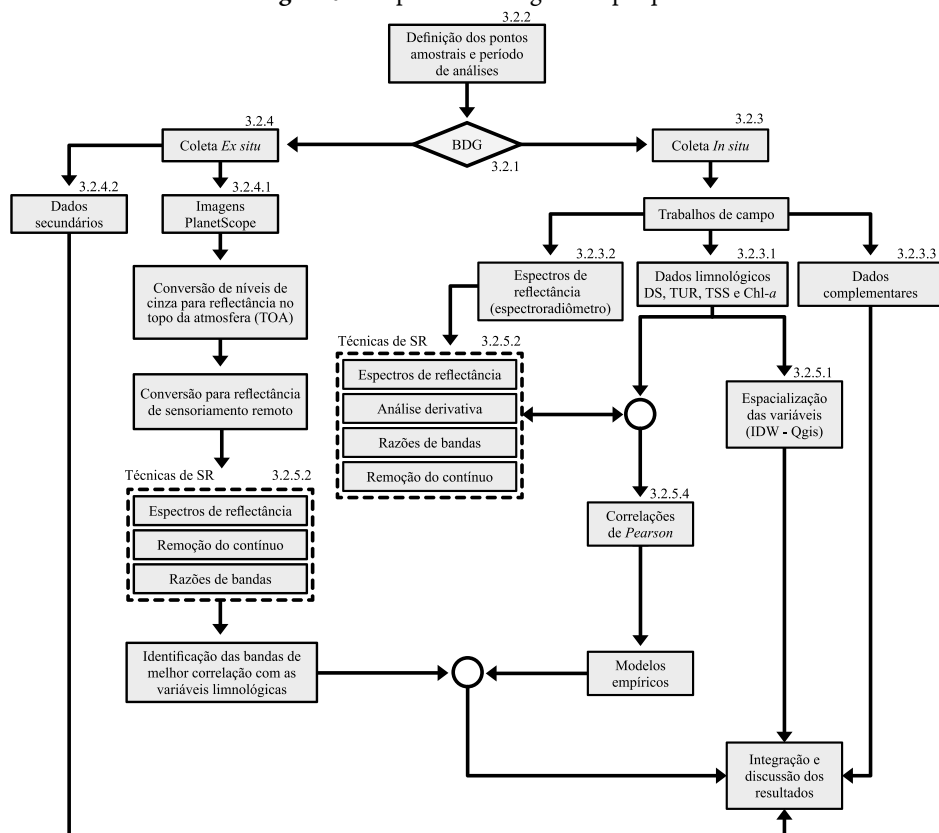
urbana da BH-TA os principais cursos d'água impactados negativamente são o igarapé do Bolívia e o igarapé do Passarinho, ocasionados por forte crescimento de implantações de condomínios sem os devidos projetos de ampliação de cheia natural, o que torna mais suscetíveis episódios de erosão nas margens e o assoreamento dos igarapés (Manaus, 2011).

A BH-TA não possui estações de monitoramento fluviométricas, pluviométricas e de qualidade das águas, impossibilitando a obtenção de dados e informações precisos sobre as dinâmicas hidrológicas e o nível de degradação dos corpos hídricos da localidade. Este cenário de ausência de informações faz com que a aplicação dos instrumentos previstos na “Lei das águas” seja mais difícil, pois essas informações são fundamentais para o uso da resolução CONAMA 357/2005 e as demais políticas públicas de preservação.

Os problemas ambientais e os diversos conflitos provenientes dos usos dos recursos hídricos favoreceram a criação do comitê de bacia hidrográfica do Rio Tarumã-açu, por meio de organização da sociedade civil (Melo; Romanel, 2018), porém, até o momento poucas ações puderam ser efetivadas e implementadas na região (Amazonas, 2019).

O desenvolvimento da pesquisa seguiu as etapas metodológicas representadas no fluxograma da Figura 3.

Figura 3 - Etapas metodológicas da pesquisa



Fonte: Autores (2021)

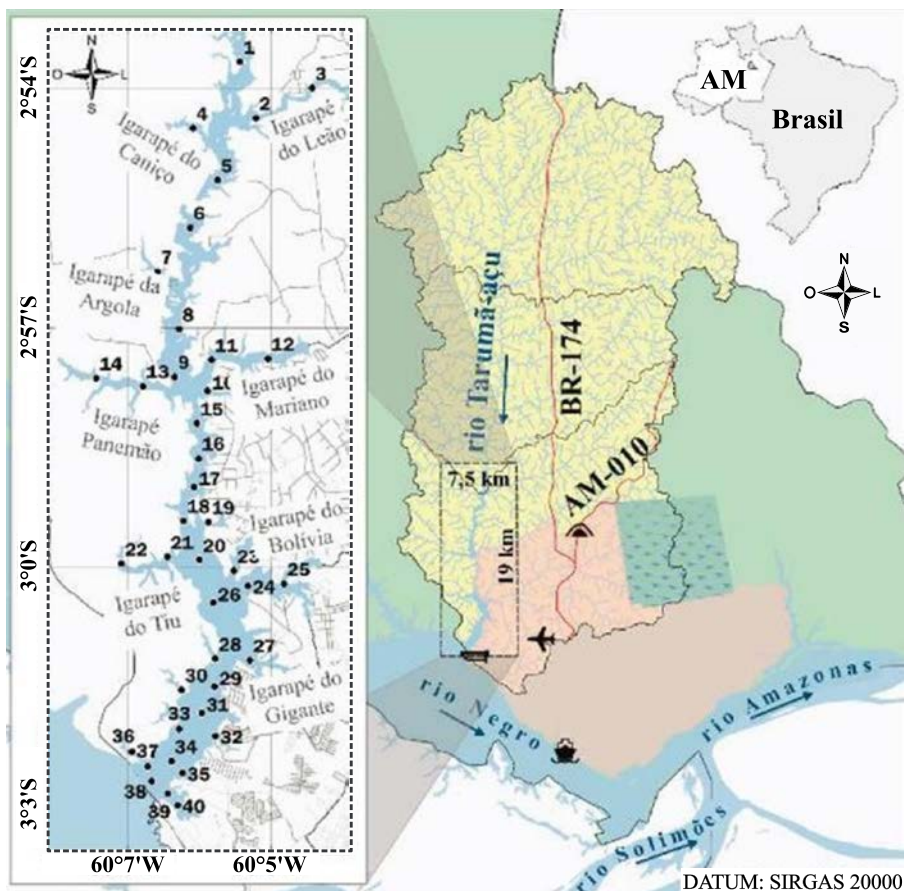
Os trabalhos de campos (3.2.3) para aquisição de dados e informações pontuais foram realizados em dois períodos hidrológicos distintos em 40 pontos amostrais, divididos em dois dias com 20 pontos cada: 12 e 13 agosto de 2019 (processo de vazante – cota do rio Negro: 27,68m) e 12 e 13 fevereiro de 2020 (processo de enchente – cota do rio Negro: 24,54m).

As variáveis limnológicas (3.2.3.1) determinadas em campo foram a Transparência da água (DS) e a Turbidez (TUR), e em laboratório foram o Total de Sólidos em Suspensão (TSS) e a Clorofila a (Chl-a). As coletas foram realizadas em subsuperfície (profundidade aproximada de 30 cm), com o auxílio de equipamentos e/ou balde inox, e armazenado em recipientes identificados dentro de caixas térmicas com gelo para proteção contra luminosidade e redução de degradação da amostra no deslocamento até o laboratório de análise.

Os dados espectrais da camada superficial da água (3.2.3.2) foram obtidos com o auxílio de um espectralímetro da marca TriOS, modelo RAMSES, de propriedade da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), em parceria com o Dr. Rogério Ribeiro Marinho. O equipamento trabalha na faixa espectral do ultravioleta ao infravermelho próximo. A metodologia de aquisição de dados espectrais seguiu a proposta de Espinoza (2013).

Figura 4 - Trabalhos de campo. a) Variáveis ambientais coletadas na pesquisa;
b) Distribuição espacial dos pontos amostrais





CONCENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- ✈️ Aeroporto (MAO)
- 🏠 Porto de Manaus
- 🚢 Marina do David
- 🗑️ Aterro sanitário

- Principais rodovias
- Hidrografia
- Sistema viário
- Área urbana
- Massa d'água

LEGENDA

- Pontos amostrais
- Área de estudo
- Bacia hidrográfica
- Reserva Florestal
- Manaus

Fonte: a) Autores (2021); b) Rocha *et al.* (2023)²

² Consultar a dissertação para maior detalhamento: <https://pos.uea.edu.br/data/area/dissertacao/download/44-12.pdf>

Resultados e discussão

Mapeamento das variáveis limnológicas com resposta espectral

O entendimento da distribuição espacial e temporal dos indicadores de qualidade das águas continentais estão auxiliando, cada vez mais, o aperfeiçoamento das tomadas de decisões de gerenciamento e gestão dos recursos hídricos, visto que a qualidade do corpo hídrico possui relação direta com a ação antrópica em seu entorno, como o descarte inadequado de resíduos e a remoção da cobertura natural de suas margens (Park; Lee, 2020).

Uma das consequências dessas modificações na qualidade da água é a possibilidade de alteração do estado trófico do corpo hídrico devido a um maior aporte de nutrientes e ao crescimento de algas e fitoplânctons, além da elevação da turbidez influenciada por aumento de escoamento superficial de materiais sólidos para os leitos dos rios (Esteves, 1998). Sendo assim, o mapeamento de parâmetros de qualidade da água em uma bacia hidrográfica é importante para a produção de estudos ambientais mais fidedignos à realidade encontrada na área de interesse, o que torna o uso de geoprocessamento e sistemas de informações geográficas fundamental.

Na vazante de 2019 se constatou mais homogeneidade espacial das concentrações das variáveis limnológicas na massa d'água, quando comparada à enchente de 2020 (Figura 5). Parte desses cenários pode ser devido ao maior aporte de nutrientes e materiais particulados no corpo hídrico, seja por interferência meteorológicas (enchente) ou por algumas regiões estarem localizadas em zonas antropizadas (mais a jusante da bacia), o que pode ocasionar variações dos parâmetros limnológicos em trechos específicos.

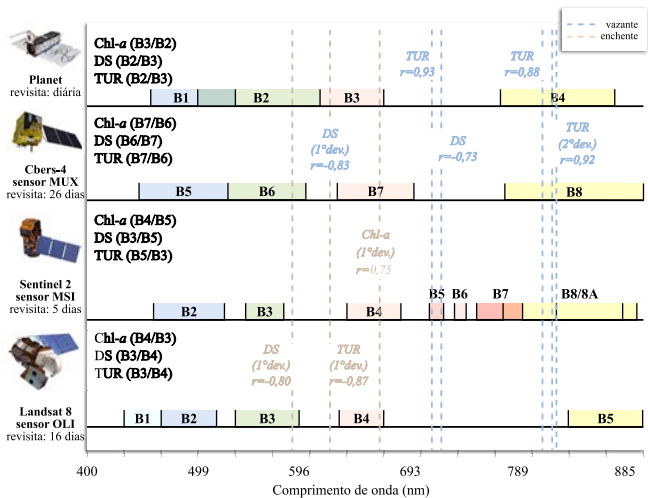
Em fevereiro de 2020, foi evidenciado maiores contribuições pontuais de variações de alguns afluentes: os igarapés do Leão (TUR e DS), do Tiu (Chl-a e DS), do Bolívia (Chl-a, TUR e DS) e do Gigante (TUR e DS). Além de se destacarem também, na segunda coleta, três regiões no canal principal da bacia: a confluência entre os igarapés do Tiu, do Bolívia e do Gigante (Chl-a), a confluência entre os igarapés do Panemão e Mariano (TSS) e uma área próxima ao bairro Ponta Negra (TSS). Esses cenários provavelmente aconteceram devido à maior entrada de materiais sólidos, advindos de erosão das margens

Análise dos dados hiperespectrais de sensoriamento remoto de campo

O uso de dados de sensoriamento remoto para estimativas de constituintes presentes nas águas depende das características técnicas do sensor do satélite; como a quantidade e a largura das bandas espectrais, que poderá aumentar a discretização da faixa espectral e facilitar a identificação de comprimentos de ondas ideais para cada tipo de constituinte óptico. Na Figura 6 são demonstradas as regiões com melhores respostas na análise espectral dos dados coletados em campo nos dois períodos hidrológicos e as técnicas de tratamento de dados de SR trabalhados nesta pesquisa (Refletância, Análise derivativa e Razão de Bandas) dos satélites Planet, Cbers- 4, Sentinel-2 e Landsat-8.

Os sensores MUX e MSI apresentaram maiores potenciais para a variável Chl-a, nas bandas 7 (Cbers-4) e 4 (Sentinel 2); enquanto para a TUR, o maior potencial se encontra na banda do infravermelho dos satélites Planet (B4), Cbers (B8) e Sentinel 2 (B8). A DS mostrou- se melhor com a aplicação da técnica de razão de banda, com possibilidades de uso nos quatro satélites. Vale salientar, que o tempo de revisita também interfere na escolha do satélite, principalmente na região amazônica, já que quanto menor o tempo, maiores as chances da obtenção de imagens com condições apropriadas de utilização.

Figura 6 - Uso potencial dos dados de sensoriamento remoto



Fonte: Autores (2021)

Análise dos dados espectrais de sensoriamento remoto de satélite

A aquisição de imagens de satélites levou em conta a disponibilidade de imagens sem a presença de nuvens e com o menor período entre o registro do satélite e as coletas de campo. Na região amazônica, a quantidade de imagens de satélites úteis para o uso possui limitações devido à alta concentração de umidade na atmosfera e aos altos índices pluviométricos. Uma alternativa é a escolha de satélites com menores resoluções temporais, como os nano-satélites da constelação Planet/Scope, o que aumenta as chances de registros de imagens com boas condições de análise. Sendo assim, foi adquirido um mosaico com quatro imagens ortorretificadas para cada período hidrológico.

Nos dois períodos hidrológicos é possível observar uma disparidade de comportamento da reflectância na banda 4, quando comparado à literatura, onde sabe-se que na região do infravermelho há uma maior absorção de energia que acarreta menores valores de reflectância (Barbosa, 2003; Novo, 2010), sendo que nas imagens planet esse comportamento se apresenta de forma inversa, com maiores valores de reflectância. No estudo conduzido por Maciel *et al.* (2019) na região amazônica com imagens Planet também foi observado essa inconsistência, com possível problema na calibração dos sensores dos satélites e sugerido mais estudos nesta faixa.

Nos dois períodos hidrológicos, as bandas 2 e 3 apresentaram as diferenças mais visíveis e com maior contraste na área de estudo. Nota-se com maior nitidez, quando comparada com a banda 1, a absorção da luz (cor mais escura) na área mais a montante, próximas aos igarapés do Caniço e do Leão (vazante) e na área mais a jusante, abaixo dos igarapés do Panemão e do Mariano (enchente), enquanto as tonalidades mais claras são mais observadas próxima a foz (vazante) e nas regiões dos igarapés do Leão e do Mariano (enchente), o que pode indicar a presença de constituintes capazes de espalhar a radiação incidente, resultando em maiores valores de reflectância (Kirk, 1994; Novo, 2010). As bandas 1, 2 e 3 possibilitaram a comparação da variação da reflectância entre as variáveis limnológicas e as imagens de satélites, o que permite observar que os afluentes do Panemão, Mariano, Bolívia contribuem significativamente para a presença de constituintes com comportamento ótico no Rio Tarumã- açu, no período de vazante, enquanto o do Leão tem maior participação na enchente.

Infográficos | Qualidade da água por sensoriamento remoto - Tarumã-açu

A avaliação de qualidade da água por sensoriamento remoto requer estudo contínuo, a fim de se promover o aprofundamento do conhecimento em áreas de estudos específicos e possibilitar a utilização de ferramentas tecnológicas de fácil acesso na gestão ambiental, especialmente na área de recursos hídricos. Uma forma de se estimular a continuação desses estudos é por meio da popularização da ciência, tendo isso em mente, foram produzidos infográficos com a intenção de divulgação dos trabalhos realizados no decorrer da dissertação e incentivar novas pesquisas no baixo curso do Rio Tarumã-açu.

O público-alvo principal, porém, não excludente aos demais, foram os estudantes e pesquisadores das instituições de ensino do estado do Amazonas, com interesse em pesquisas voltadas à qualidade da água por meio da ferramenta de sensoriamento remoto na bacia do Rio Tarumã-açu e suas imediações, assim como também, em bacias hidrográficas drenadas por rios de águas pretas na região Amazônica. O infográfico (Figura 7), com o detalhamento do mapeamento e as potencialidades do uso de satélites para qualidade da água na área de estudo³.

Figura 7 - Infográficos sobre qualidade da água por sensoriamento remoto



Fonte: Autores (2021)

3 <https://pos.uea.edu.br/data/area/dissertacao/download/44-13.pdf>.

Considerações finais

A pesquisa fez uso das ferramentas geotecnológicas de sistema de informação geográficos e estatística descritiva/classes, que possibilitam melhor visualização do conjunto amostral; de interpoladores de dados, para inferência de dados em áreas sem coleta e elaboração de mapas de concentrações de variáveis limnológicas e espectrais; sensoriamento remoto, na aquisição de dados de campo e de satélites; e técnicas de tratamento de dados de sensoriamento remoto, que permite o realce de parâmetros de qualidade da água e a sua identificação nos espectros e a criação de modelos empíricos.

As ferramentas geotecnológicas se mostraram úteis para aquisição de dados e análise espacial das variáveis de qualidade da água com resposta óptica, nos dois períodos hidrológicos estudados. Por fim, apesar das limitações, os estudos desenvolvidos demonstraram ser possíveis a identificação de algumas variáveis limnológicas, como a Turbidez, a Transparência da água e Clorofila *a*, nos espectros de reflectância, o que pode facilitar o desenvolvimento de algoritmos de estimativas capazes de estimar com boa precisão.

Os resultados da pesquisa poderão no futuro auxiliar em programas de monitoramento da qualidade da água no baixo curso do Rio Tarumã-açu, além de possível utilização da ferramenta nos diagnósticos ambientais e na identificação espacial de áreas com indicadores de degradação ambiental e contribuir para uma melhor gestão dos recursos hídricos.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio no desenvolvimento desta pesquisa à Universidade do Estado do Amazonas, ao Programa em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (ProfÁgua), à Agência Nacional de Águas (ANA), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), ao grupo de pesquisa Geotap, ao laboratório HIDROGEO/ UFAM, e ao laboratório HUB/UEA.

Referências

- ALBUQUERQUE, A. R.; GAVINHO, C. A. Análise das condições de erosibilidade na bacia hidrográfica Tarumã-açu, Manaus (AM). *V Simpósio Nacional de Geomorfologia I Encontro Sul-Americano de Geomorfologia* – UFSM, 2004.
- AMAZONAS. Governo do Estado do Amazonas. Secretaria do Meio Ambiente. *Relatório*. Manaus, 2019. Relatório. Gestão de Recursos Hídricos no Amazonas.
- ANA. Agência Nacional de Águas. *Plano Nacional de Segurança Hídrica: informe anual* / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2019.
- ANTONIO, I. C. *Índices climáticos e caracterização climática do entorno de Manaus*. 2017.
- BARBOSA, D. S. *Limnologia do Rio Uberaba (MG) e a utilização de macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores das modificações ambientais*. 2003. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). *Resolução nº 357, de 17 de março de 2005*. Dispõe sobre a classificação dos Corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamentos de efluentes, e dá outras providências.
- BÜHRING, R. et al. *Estudo da Dinâmica de uso do solo e cobertura vegetal e elaboração de uma proposta de zoneamento para a Bacia Hidrográfica do Tarumã, Manaus-AM*. 2010.
- COSTA, E. B. S.; SILVA, C. L.; SILVA, M. L. Caracterização física de bacias hidrográficas na região de Manaus-AM. *Caminhos de Geografia, Uberlândia*, v. 14, n. 46, p. 93-100, 2013.
- ESTEVES, F. A. *Fundamentos de Limnologia*. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.
- KIRK, J. T. *Luz e fotossíntese em ecossistemas aquáticos*. Cambridge university press, 1994.
- MACIEL, D. A. et al. Evaluating the potential of CubeSats for remote sensing reflectance retrieval over inland Waters. *International Journal of Sensing*. v. 41, n. 7, p. 2807-2817, 2019.
- MANAUS. *Plano diretor de drenagem urbana de Manaus*. Prefeitura do município de Manaus. 2011.
- MELO, E. G. F.; SILVA, M. S. R.; MIRANDA, S. A. F. Influência antrópica sobre águas de igarapés na cidade de Manaus-Amazonas. *Caminhos de geografia*, v. 5, n. 16, p. 40-47, 2005.
- MELO, S. F. F. *Gestão de Recursos Hídricos no Estado do Amazonas: o Caso da Bacia do Tarumã-Açu*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. p. 110.
- MELO, S. F. S.; ROMANEL, C. *Gestão de recursos hídricos no estado do Amazonas: o caso da bacia do Tarumã-Açu*. In: IX Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. 2018.

- NOVO, E. M. L. M. Sensoriamento Remoto Aplicado à Ecologia Aquática. In: ROLAND, F.; CESAR, D.; MARINHO, M. (orgs.). *Lições de Limnologia*. São Carlos: RIMA, 2005.
- NOVO, E. M. M. *Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações*. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2010.
- PARK, S. R.; LEE, S. W. Relações espacialmente variáveis e dependentes de escala de tipos de uso da terra com a qualidade da água do riacho. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 17, n. 5, p. 1673, 2020.
- PROAMBIENTE. *Diagnóstico Rápido e Participativo do Pólo Pioneiro no Amazonas: Projeto de Assentamento Tarumã-Mirim*. Programa de Desenvolvimento Sustentável da Produção Familiar Rural da Amazônia. Manaus: PROAMBIENTE, 2002. p. 52.
- REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Eds.). *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. 3. ed. Ver. Ampl. Escrituras, Editora e Distribuidora de Livros Ltda., 2006.
- ROCHA, A. R. *et al.* Resposta espectral de águas escuras amazônicas em ambiente com influência antrópica na cidade de Manaus-Am. In: XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto., 2023, Florianópolis, *Anais [...]*. Santa Catarina. p. 1244-1247.
- SANTANA, G. P.; BARRONCAS, P. S. R. Estudo de metais pesados (Co, Cu, Fe, Cr, Ni, Mn, Pb e Zn) na Bacia do Tarumã-Açu Manaus (AM). *Acta Amazônica*, v. 37, p. 111-118, 2007.
- SANTOS, K. S. *et al.* *Índice de qualidade da água de igarapés da bacia do Tarumã-açu, Manaus/AM*. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2015.
- SIQUEIRA, L. F. *Estudo hidrológico do efeito de barramento hidráulico no rio Tarumã-açu, Manaus-AM*. Dissertação (Mestrado em Clima e Ambiente). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA. Manaus, 2019.
- VASCONCELOS, M. A. *Estudo da paisagem do setor sul da Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu, Manaus, utilizando imagens multipolarizadas do radar ALOS/PULSAR*. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2012.
- VILLAR, R. E. *Monitoramento das dinâmicas espaciais e temporais dos fluxos sedimentares na bacia Amazônica a partir de imagens de satélite*. 2013. Tese (Doutorado em Geociências Aplicadas) – Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

Recursos hídricos e saneamento ambiental na bacia hidrográfica do igarapé do Bindá, Manaus – AM

Camila Fuziel Silva
Neliane de Sousa Aves
Flávio Wachholz

Introdução

As transformações ocorridas no espaço urbano se apresentam como um importante desafio na gestão dos recursos hídricos e na interface com o saneamento ambiental. Embora o Brasil possua leis diferentes para recursos hídricos e saneamento, a gestão de ambos em uma bacia hidrográfica são indissociáveis (Grangeiro *et al.*, 2020).

De modo geral, as ocupações do espaço urbano possuem potencial de modificar as condições originais do meio ambiente. Contudo, é evidente que os usos irregulares das áreas urbanas têm maiores contribuições para a poluição e degradação ambiental, especialmente dos rios urbanos (Peixoto *et al.*, 2016).

À medida que o homem se estabelece próximo aos canais fluviais, este modifica a paisagem natural, fato comum no meio urbano, como a retificação e canalização de rios, responsável por mudanças no ciclo hidrológico e nas condições físico-química das águas. Além disso, a construção de edificações nas áreas ciliares favorece o desmatamento, especialmente das Áreas de Preservação Permanente – APP, contribuindo diretamente para a poluição das águas, quer seja por despejo de efluentes ou resíduos sólidos, facilitando ainda, o assoreamento dos corpos hídricos (Botelho; Silva, 2014).

A área urbana de Manaus abrange diversas bacias hidrográficas, a exemplo da Bacia Hidrográfica do Igarapé do Bindá e são muitas as dificuldades encontradas no gerenciamento desta abundância hídrica. Mesmo estando inserida na maior bacia hidrográfica do mundo, a bacia do Rio Amazonas, parte da população manauara ainda enfrenta problemas relacionados ao abastecimento de água e de igual modo, ao saneamento ambiental da cidade, que apresenta precariedade nos sistemas de tratamento de efluentes, poluição dos corpos hídricos urbanos, quase que em sua totalidade (Amazonas, 2019).

Ao que se refere, esta pesquisa realizou um diagnóstico da qualidade das águas do Igarapé do Bindá como forma de contribuição para a gestão dos recursos hídricos e saneamento ambiental, por meio da classificação da qualidade atual das águas superficiais do Igarapé do Bindá com base na Resolução CONAMA 357/2005, determinando o uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Bindá e principais fontes poluentes, além da identificação das áreas de intervenção de macrodrenagem e obras de contenção no Igarapé do Bindá. Como produto desse trabalho de pesquisa, foi elaborado um Painel Indicativo de Qualidade das Águas do Igarapé do Bindá.

Material e métodos

Amostras de Água

Os trabalhos de campo desta pesquisa foram desenvolvidos ao longo do canal principal da Bacia Hidrográfica do Igarapé do Bindá. Foram realizados levantamentos de campo para reconhecimento da área, e registros fotográficos nos trechos do alto, médio e baixo curso do canal, conforme se apresentam na Figura 1 (A e B).

Figura 1 A e B - Trechos do alto, médio e baixo curso do canal



A – Trecho na Universidade Nilton Lins



B – Microdrenagem e recebimento de efluentes

Fonte: Camila Fuziel (2022)

Para efetivação da pesquisa foram coletadas amostras de água do Igarapé do Bindá nos seguintes trechos: na nascente localizada na Zona Norte no Conj. Mundo Novo no médio curso do canal, nas dependências da Universidade Nilton Lins, e nas proximidades da foz, na Zona Centro-Sul, Bairro Chapada, Manaus – AM (Quadro 1).

Quadro 1 - Pontos de Coleta de Água

PONTOS DE COLETA	LOCAL DA COLETA	HORÁRIO DA COLETA	COORDENADAS GEOGRÁFICAS
Ponto 1 – Nascente Alto curso	Conj. Mundo Novo	09:34	Lat.: 03° 02'11,4"S
			Long.: 59° 59' 53,6" W
Ponto 1 E – Nascente Alto curso	Conj. Mundo Novo	09:51	Lat.: 03° 02'11,6"S
			Long.: 59° 59' 54,2" W
Ponto 2 – Médio curso	Nilton Lins - Flores	10:19	Lat.: 03° 03'19,0"S
			Long.: 60° 00' 19,3" W
Ponto 3 – Baixo curso	Bairro Chapada	11:20	Lat.: 03° 05'14,6"S
			Long.: 60° 01' 29,1" W

Fonte: Organizado por Camila Fuziel (2022)

As amostras de água coletadas foram utilizadas para análises dos parâmetros físico- químicos e biológicos, sendo estes: Amônia, Coliformes Totais, Condutividade Elétrica, Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO, Demanda Química de Oxigênio – DQO, Escherichia coli, Manganês, Nitrato, Nitrito, Oxigênio Dissolvido, Potencial Hidrogeniônico – pH, sólidos sedimentáveis, Sulfeto (sulfato) Temperatura da Água e Turbidez (Figura 2/3).

Figura 2 A e B - Procedimento de Coleta de Água



Identificação das amostras



Coleta das amostras

Fonte: Camila Fuziel (2022)

Foram observados e medidos durante as coletas, aspectos das condições do tempo: temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, luminosidade e as condições do céu. Já para as análises laboratoriais (Figura 3) foram utilizadas as técnicas da *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater da American Public Health Association* (Rice et al., 2017).

Figura 3 A e B - Procedimento para análises laboratoriais



Etapas da Análise de DBO



Sólidos sedimentáveis (cone Imhoff)

Fonte: Camila Fuziel (2022)

Resultados e discussão

Uso e Ocupação do Solo na Bacia Hidrográfica do Igarapé do Bindá

Para verificar os tipos de uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Igarapé do Bindá foi realizada a classificação supervisionada de imagens de satélite, onde foram utilizadas imagens Planet obtidas da constelação de satélites Dove com resolução espacial de 3 metros e radiométrica de 12 bits e órbita circular, heliossíncrona, descendente, de 51,6° a 98° de inclinação.

A classificação das imagens ocorreu no mês de agosto de 2022 com uso do software Quantum GIS 3.18 para entender e quantificar as áreas antropizadas (construídas) e naturais (vegetação primária ou secundária), além disto, as imagens auxiliaram na determinação de áreas com alterações estruturais no Igarapé do Bindá.

Durante os trabalhos de campo, foram feitos registros fotográficos do local e marcação de pontos com coordenadas geográficas, verificações das fontes poluentes e das intervenções estruturais de macrodrenagem e das obras de contenção ao longo do Igarapé do Bindá, representadas por rip-rap, canalizações, retificações do canal principal, dentre outros aspectos.

Além disso, foram realizados sobrevoos com drone, Modelo DJI Mavic 2 Pro, ao longo da extensão do canal principal da Bacia Hidrográfica do Igarapé do Bindá. Foram feitos registros de imagens aéreas nos pontos onde houve as coletas de amostras de água, que auxiliaram nas análises de uso e ocupação do solo, e, na correlação com a situação atual da qualidade das águas do Igarapé do Bindá.

Os dados primários e secundários obtidos por esta pesquisa, foram tabulados através da elaboração de gráficos, tabelas, quadros, dentre outros. Realizou-se a verificação e a avaliação dos resultados referentes aos parâmetros de qualidade das águas previstos nas legislações CONAMA 357/2005, no Igarapé do Bindá, de igual modo, a elaboração de mapas dos pontos de coleta de amostras de água, intervenções de macrodrenagem e obras de contenção, além do mapa de uso e ocupação do solo ao longo do canal principal, verificação das fontes potenciais de poluição.

A Qualidade da Água no Igarapé do Bindá

Os resultados obtidos a partir das variáveis ambientais de Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO e Demanda Química de Oxigênio – DQO indicaram elevada presença de matéria orgânica nas águas do Igarapé do Bindá. De acordo com Santos *et al.* (2018), a presença de matéria orgânica na água é dada pelos parâmetros DBO e DQO. Altas concentrações dos indicadores em um corpo hídrico urbano, está associada ao despejo de esgoto sanitário e às cargas difusas trazidas pelo escoamento superficial da bacia hidrográfica.

Tabela 1 - Demandas Bioquímicas e Químicas de Oxigênio

PONTO DE COLETA	UNIDADE	DBO	DQO	LIMITES DE REFERÊNCIA - CONAMA 357/05 - ÁGUAS DOÇES			
				CLASSE I	CLASSE II	CLASSE III	CLASSE IV
P1 - Nascente	mg/L	100,2	171,2	5 mg/L DBO	Para esta classe não há limites de referência	10 mg/L DBO	Para esta classe não há limites de referência
P2 - Nilston Lins		42,6	81,6				
P3 - Djalma Batista		43,2	156,5				

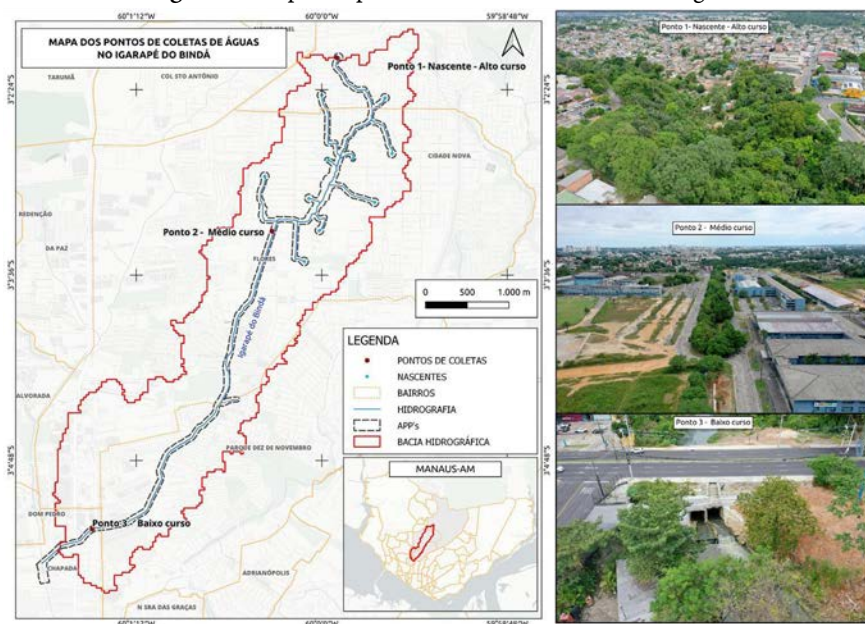
Observação: Não há limites estabelecidos para DQO na legislação CONAMA 357/2005

N/A: Não Aplicável

Fonte: Organizado por Camila Fuziel (2022)

Com base nos valores de referência estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005, os valores encontrados nas amostras de água do igarapé do Bindá então extremamente elevadas, comparados ao que determina a legislação. Em ambos os pontos onde foram coletadas (Figura 5) as amostras, os resultados se mostram superiores a 40mg/L, atingindo no ponto 1, 100,2 mg/L., ou seja, um valor nove vezes maior do que aquele fixado na resolução para águas de classe III.

Figura 4 - Mapa dos pontos de coleta das amostras de água



Fonte: Elaboração por Camila Fuziel; Cláudio Silva, (2023)

As altas concentrações de DBO no igarapé do Bindá estão diretamente relacionadas às baixas concentrações de Oxigênio Dissolvido – OD, cujo valores são apresentados a seguir, na Tabela 4. Santos *et al.* (2018) afirmam a partir do desenvolvimento de suas pesquisas, que altas concentrações de DBO resultam em baixas concentrações de OD, esta relação está ligada aos indícios de lançamento inadequado de esgoto doméstico, sem quaisquer tratamentos preliminares adequados.

No igarapé do Bindá, os esgotos da maioria das residências ao longo de toda extensão do canal, são lançados in natura diretamente no corpo hídrico, o que compromete a qualidade das águas, inferindo ainda, na ausência de saneamento ambiental na bacia hidrográfica, fator que se evidencia, sobretudo, pelo forte processo de antropização, que causa perturbação e raramente permite que o ambiente se recupere (Ferreira *et al.*, 2012).

Nas análises realizadas em campo, verificou-se a quantidade de oxigênio dissolvido – OD presente em cada ponto de amostragem. As concentrações de OD presentes nas águas, são resultantes da interação entre diversos processos, que corroboram para o aumento ou diminuição dos valores de oxigênio dissolvidos no

corpo d'água. Outros resultados dos demais parâmetros avaliados nesta pesquisa podem ser consultados através do QR Code da Figura 10.

Uso e Ocupação do Solo na Bacia Hidrográfica do Igarapé do Bindá

A Bacia Hidrográfica do Igarapé do Bindá é marcada pela consolidação de diversos empreendimentos, dentre estes estão: instituições escolares de ensino, universidades, comércios de vários segmentos, agências bancárias, drogarias, supermercados, e, principalmente ocupações domiciliares, que vão de pequenas moradias às margens do Igarapé a grandes condomínios residenciais, prédios e conjuntos habitacionais, espaços destinados à moradia e ao convívio familiar, conforme Figura 5.

Nesta perspectiva, configura-se um adensamento populacional na área da Bacia Hidrográfica do Igarapé do Bindá, sobretudo, na ocupação das margens do igarapé, consideradas Áreas de Preservação Permanente – APP, que de acordo com o Novo Código Florestal Brasileiro, regido pela Lei 15.651/2012, são áreas que possuem função ambiental de preservar os recursos hídricos, a estabilidade geológica, a paisagem, a biodiversidade, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas, portanto, são áreas protegidas legalmente, não podendo ser ocupadas (Brasil, 2012).

Figura 5 - Empreendimentos consolidados na Bacia Hidrográfica do Igarapé do Bindá



A: Condomínios verticais situados às margens do Igarapé do Bindá (Av. Constantino Nery sentido bairro - Centro).



B: Moradias às margens do Igarapé do Bindá
(Av. Constantino Nery sentido Centro – bairro).



C: Condomínio de casas às margens do Igarapé do Bindá, nas proximidades da foz, baixo curso do canal.



D: Moradias às margens do Igarapé do Bindá no
médio curso do canal.

Fonte: Camila Fuziel (2023)

Observa-se que o uso, a ocupação das margens dos corpos hídricos, a ausência de ordenamento do solo urbano, são fatores que contribuem diretamente para a degradação de bacias hidrográficas, como é o exemplo da Bacia Hidrográfica do Igarapé do Bindá. Para construção e consolidação dessas moradias, a vegetação ripária é suprimida para dar lugar a expansão urbana (Figura 6). Stevaux e Latrubesse (2017) afirmam que a retirada da vegetação original de uma bacia hidrográfica e a substituição por outro tipo de cobertura do solo, provoca instabilidades no sistema, favorecendo os processos de erosão, assoreamento dos canais, aumento no escoamento superficial, perda na capacidade de vazão, inviabilidade do uso da água para abastecimento, dentre outros problemas de ordens socioambientais.

Figura 6 - Habitações construídas na área de nascente do Bindá



A: Habitações situadas na nascente do Igarapé do Bindá.



B: Habitações às margens do Bindá na área de nascente.



C: Expansão da ocupação na nascente.



D: Expansão da ocupação e supressão da vegetação.

Fonte: Camila Fuziel; Wallison Nascimento (2023)

Ao longo do canal principal da bacia, é possível evidenciar diferentes tipos de ocupação e uso do solo urbano, inclusive com métodos construtivos que se diferem uns dos outros, sobretudo, pelas diferenças socioeconômicas. De acordo com pesquisas realizadas pelo IBGE (2019), o estado do Amazonas é o número 1 (um) no ranking nacional de estados com maiores números de aglomerados subnormais no país, o que representam 34,59% das habitações. Já Manaus, está na 2º posição nacional das capitais com

maior número de aglomerados subnormais, representado por 55,38% dos domicílios existentes na capital.

Porém, a Bacia Hidrográfica do Igarapé do Bindá também possui áreas com infraestrutura urbana eficazes, valendo-se de grandes empreendimentos, como condomínios residenciais protegidos por muros, segurança privada efetiva, com coleta e tratamento de esgoto (Figura 7). Nesta dicotomia social, é reforçada a desigualdade e as fragilidades das políticas públicas de ordenamento territorial, que perpassam décadas.

Figura 7 - Empreendimentos construídos na área da Bacia Hidrográfica do Igarapé do Bindá com enquadramento na Lei Orgânica Municipal nº 1192/2007



A/B: Condomínios verticais situados no Bairro Parque 10
– Bacia Hidrográfica do Igarapé do Bindá

Fonte: Camila Fuziel (2023)

O mapa representado pela Figura 8 aponta as classes de cobertura e uso do solo na Bacia Hidrográfica do Igarapé do Bindá, evidenciando o elevado nível de antropização da bacia. A partir dos resultados obtidos, foi elaborada a Tabela 2, onde são apresentados os percentuais de áreas vegetadas e áreas antropizadas na bacia hidrográfica.

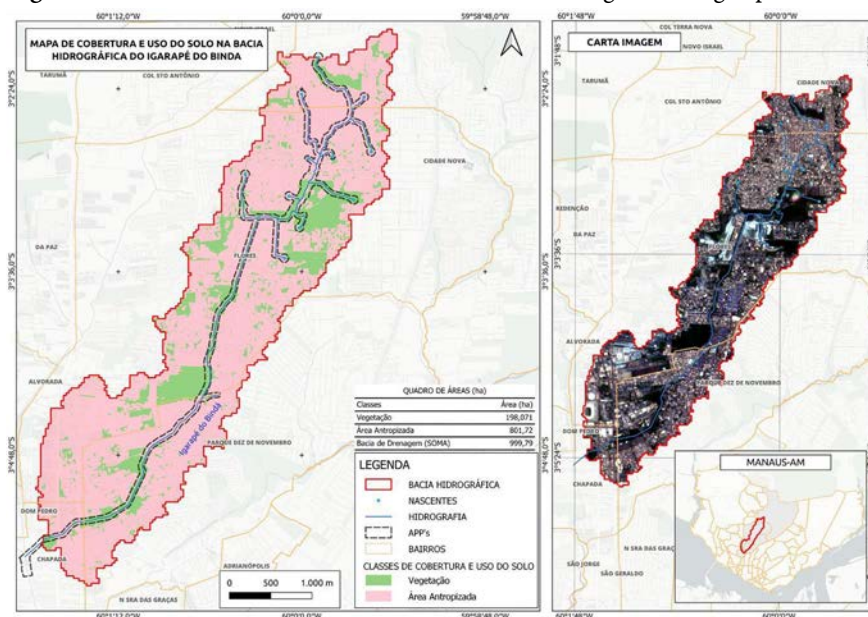
Tabela 2 - Áreas vegetadas e antropizadas na Bacia do Bindá

COBERTURA E USO DO SOLO		
Tipos de áreas Área (ha)		%
Área vegetada	198,071	19,80
Área Antropizada	801,72	80,1
Totais	999,79	99,9%

Fonte: Organizado por Camila Fuziel, 2023

No processo de ocupação da bacia do Bindá, poucos trechos do igarapé apresentam vegetação ripária, e a maior parte de suas das margens estão ocupadas. Para Nunes (2015), a expansão dos centros urbanos está fortemente associada à vulnerabilidade da população, sobretudo, pela ocupação de ambientes frágeis, como as regiões ciliares e mananciais. Para Batista e Ribeiro (2014), a ineficácia de políticas urbanas como objeto de ordenamento e desenvolvimento territorial refletem em efeitos negativos sobre o meio ambiente.

Figura 8 - Classes de cobertura e uso do solo na Bacia Hidrográfica do Igarapé do Bindá



Fonte: Elaborado por Camila Fuziel; Cláudio Silva (2023)

O Igarapé do Bindá, como tantos outros cursos d'água da cidade de Manaus possui diversas modificações antrópicas ao longo de seu canal, principalmente intervenções de macrodrenagem. De acordo com Stevaux e Latrubesse (2017), as modificações nos canais fluviais ocorrem desde as civilizações primitivas, e tinham como principal objetivo a transferência de fluxo para irrigação e o controle e proteção contra enchentes.

No Igarapé do Bindá, as intervenções de engenharia foram realizadas por diferentes métodos construtivos, as medidas estruturais mais utilizadas para contenção das margens são o uso de rip-rap, que constitui uma técnica que utiliza sacos de rafia e areia, formando uma parede nas margens do igarapé, com a finalidade de dar estabilidade ao solo e conter a erosão das margens.

Outro método aplicado para a contenção e estabilização das margens do canal, é o uso gabiões. De acordo com Silva e Vargas (2020), as estruturas de contenções em gabião são usadas como muros de arrimo, que são apropriadas para a estabilização de taludes, encostas e margens, proporcionando resistência entre os maciços de terra e rocha, prevenindo ocorrências de movimentos de massas (Figura 9).

Figura 9 - Intervenção de engenharia no médio curso do canal do Igarapé do Bindá



A: Método de contenção de margens – Universidade Nilton Lins



B: Gabião para contenção de margens no
médio curso do Igarapé do Bindá

Fonte: Camila Fuziel (2023)

Produto da pesquisa

O produto (Figura 10 com QR Code para acessar o painel on-line) resultante deste trabalho de pesquisa é um Painel Indicativo de Qualidade das Águas do Igarapé do Bindá no Power BI, que é uma ferramenta de avaliação e visualização de dados da Microsoft, tem como principal finalidade apoiar na tomada de decisões assertivas por intermédio do Business Intelligence (BI).

No Power BI os dados qualitativos e quantitativos são transformados em informações, possibilitando gerar relatórios e dashboards que mostram de forma clara e intuitiva números, gráficos, estatísticas, valores e listas de maneira simplificada. São reunidas informações visuais e dinâmicas acerca de um conjunto de dados, os resultados são demonstrados através de plataformas na própria WEB, podendo, portanto, serem acessados de qualquer lugar.

Além disso, o BI envolve interfaces gráficas, possibilitando o uso de imagens, ícones e simbologias. A ferramenta vem sendo utilizada desde o ano de 2015 e já se mostrou consolidada e eficiente, adotada pelo Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento – SNIS, para apresentar os panoramas do abastecimento de água, esgoto sanitário, manejo dos resíduos sólidos urbanos e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas no Brasil, de forma simples e intuitiva.

Figura 10 - Produto da Pesquisa



Painel Indicativo de Qualidade das Águas do Igarapé do Bindá

Fonte: Camila Fuziel (2022)

Deste modo, o Painel Indicativo de Qualidade das Águas do Igarapé do Bindá pode auxiliar nas tomadas de decisões de políticas públicas voltadas à interface da gestão de recursos hídricos e do saneamento ambiental, bem como, na aplicação efetiva da Resolução CONAMA 357/2005. A clareza nas informações técnicas acerca de bacias hidrográficas urbanas, por meio da ferramenta Power BI pode auxiliar órgãos gestores da esfera pública, comitês de bacias hidrográficas, e, a sociedade civil de maneira assertiva sobre a gestão hídrica, mitigando impactos adversos, com vista à sustentabilidade dos recursos naturais.

Considerações finais

A degradabilidade da Bacia Hidrográfica do Igarapé do Bindá, certamente está associada ao uso e a ocupação indiscriminada do solo; pela reprodução do espaço urbano sem o devido planejamento e ordenamento territorial da bacia. Ao longo dos anos, diversos empreendimentos foram se consolidando na área da bacia, bem como, ao longo das margens do Igarapé do Bindá, que resultaram na supressão das vegetações ripárias, ocupação das Áreas de Preservação Permanente – APP e a propagação de aglomerados subnormais, com infraestruturas precárias, sem condições básicas de saneamento, favorecendo ainda mais o processos de deterioração da Bacia do Bindá e de seus corpos hídricos, principalmente o canal principal, que recebe todas as águas drenadas por esta área.

A antropização da Bacia Hidrográfica do Igarapé do Bindá, associada à ausência efetiva de políticas públicas de gestão hídrica, saneamento ambiental e ordenamento territorial contribuem para as condições ambientais adversas da área de estudo. Deste modo, é possível afirmar que são necessárias ações coletivas das diferentes esferas do poder público para reverter a realidade das bacias hidrográficas urbanas, visando a sustentabilidade dos recursos naturais e melhores condições de vida para as populações em condições de vulnerabilidade socioambiental e econômica. Estudos como estes, contribuem para a tomada de decisão dos órgãos públicos gestores, das medidas de cunho mitigatório e/ou reparadoras de danos socioambientais, visando a manutenção ambiental dos recursos hídricos, funcionamento efetivo de sistemas de saneamento ambiental e dos métodos para intervenções em canais fluviais e bacias hidrográficas urbanas, reduzindo os riscos socioambientais urbanos.

Referências

- AMAZONAS. Secretaria de Estado e Meio Ambiente. *Relatório de Consolidação do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Amazonas*. SEMA: Manaus, 2019. Disponível em: <http://meioambiente.am.gov.br/wp-content/uploads/2016/04/Produto-IV-Consolida%C3%A7%C3%A3o-do-PERH-AM.pdf>. Acesso: 14 jun. 2022.
- BATISTA, S. P. M.; RIBEIRO, W. C. Mecanismos da produção de injustiça socioambiental em ambientes urbanos. *Dinâmica urbana na Amazônia brasileira*, 2014.
- BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. Bacias Hidrográficas e Qualidade Ambiental. In: GUERRA, A. J. T.; VITTE, A. C. (orgs.). *Reflexões Sobre Geografia Física no Brasil*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. *Classificação dos Corpos de Água e Diretrizes Ambientais para o seu Enquadramento, Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes*. Publicado no D.O.U de 18 de março de 2005.
- BRASIL. *Lei 15.651/2012*. Dispõe sobre A Proteção da Vegetação, Áreas de Preservação Permanente e as Áreas de Reserva Legal. Brasília, 25 de maio de 2012; 191º da Independência e 124º da República.
- FERREIRA, S. J. F. *et al.* Efeito da pressão antrópica sobre igarapés na Reserva Florestal Adolpho Ducke, área de floresta na Amazônia Central. *Acta Amazonica*, v. 42, p. 533-540, 2012.
- GRANGEIRO, E. L. A.; RIBEIRO, M. M. R.; MIRANDA, L. I. B. Integração de políticas públicas no Brasil: o caso dos setores de recursos hídricos, urbano e saneamento. *Cadernos Metrópole*, v. 22, n. 48, p. 417-434, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2020-4804>.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Aglomerados Subnormais 2019: Classificação Preliminar de Saúde para o Enfrentamento à COVID-19*. Nota Técnica: 01/2020. IBGE: 2020.
- NUNES, L. H. *Urbanização e desastres naturais*. Oficina de Textos, 2015.
- PEIXOTO, F. S.; STUDART, T. M. C.; CAMPOS, J. N. B. *Gestão das águas urbanas: questões e integração entre legislações pertinentes*. 2016.
- RICE, E. W.; BAIRD, R. B. A. D. Eaton, editors. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater da American Public Health Association*. Publisher: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation Publication date: 2017. Media Type: HARDBACK.

SANTOS, S. A. *et al.* Qualidade da água na bacia hidrográfica urbana Cancela Tamandaí, Santa Maria/RS. *Sociedade & Natureza*, v. 30, n. 2, p. 23-44, 2018.

SILVA, L. P.; VARGAS, C. A. L. *Estrutura de CONTENÇÃO no Controle dos Processos Erosivos na Margem de um Córrego em Goiânia-GO*. 2020.

STEVANUX, J. C; LATRUBESSE, E. M. *Geomorfologia fluvial*. Oficina de Textos, 2017.

Estudo hidrológico em bacia experimental na Amazônia Central: resultados e implicações nos anos de 2015 e 2016

Dênis Agüero do Nascimento
Joecila Santos da Silva

Introdução

O artigo aborda a análise hidráulica de uma bacia experimental na Amazônia Central durante os anos de 2015 e 2016. Embasa-se na Política Nacional de Recursos Hídricos, apresentando a necessidade do cálculo de balanço hídrico para conhecimento da disponibilidade hídrica nas bacias hidrográficas, com efeito na eficiência da gestão desse recurso natural e finito. Enfatiza as bacias experimentais e representativas como instrumentos de investigação científica, monitoramento hidroclimático e ambiente para formação de especialistas.

Aborda os processos hidrológicos e o balanço hídrico, enfatizando a variabilidade hidrológica nos subsistemas terrestres que influenciam a retenção e transporte da água na superfície. A metodologia inclui a instrumentação e monitoramento da Bacia Experimental do Igarapé Asu, com foco na Seção II, onde foram monitoradas variáveis de precipitação, vazão e reposição freática. A análise dos dados hidrológicos evidenciou a vulnerabilidade do sistema aos fenômenos *El Niño* e *La Niña* na pluviometria e no balanço hídrico da região.

Por fim, o documento destaca a importância de metodologias consistentes para a edição e análise de dados hidrométricos, ressaltando a necessidade de estudos contínuos e formação de especialistas para garantir a gestão eficaz dos recursos hídricos na Amazônia.

Bacia hidrográfica - instrumento legal de gestão hídrica

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), estabelecida pela Lei 9.433/97, é o instrumento Legal de delineamento da gestão das águas no Brasil. O art. 8º constitui que os Planos de Recursos Hídricos devem ser elaborados no âmbito espacial da bacia hidrográfica (Brasil, 1997). Essa definição se dá

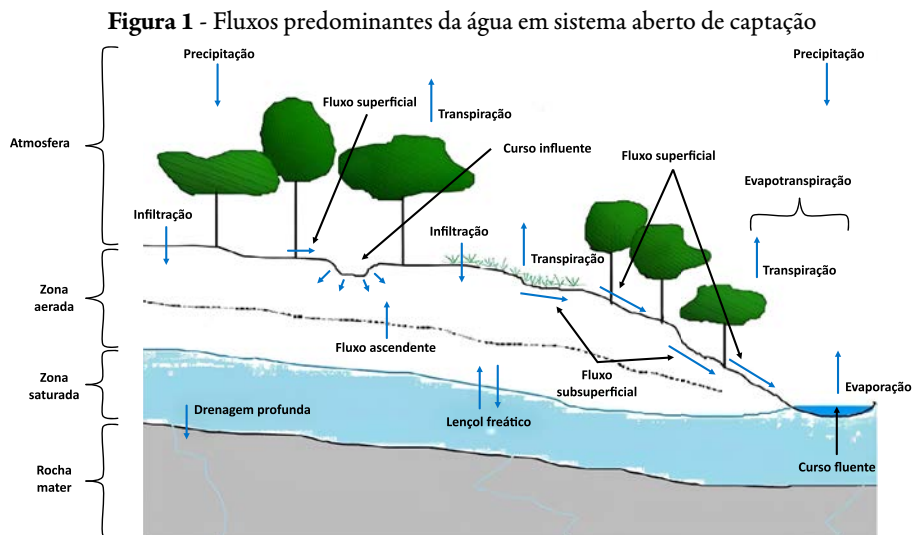
pela constatação de que o sistema ambiental aberto da bacia hidrográfica se inter-relaciona com a atmosfera e com os ecossistemas terrestres, fenômenos determinantes na ocorrência, distribuição e armazenamento hídrico na superfície (Toebe; Ouryvaev, 1970; Tomasella *et al.*, 2007). Para otimizar a gestão dos recursos hídricos é essencial conhecer a disponibilidade de água na bacia hidrográfica. Isso envolve aplicação do balanço hídrico (BH), considerando a relação entre demanda e disponibilidade da água sob efeito da ocupação do solo e dos fatores climáticos. Quanto mais precisas forem as informações sobre os agentes que intervêm direta e indiretamente nos componentes envolvidos no ciclo hidrológico da bacia hidrográfica, mais precisa será a estimativa do BH e mais assertivas se tornam as decisões de gerenciamento desse importante recurso natural e finito (Mendonça, 2016; Kobiyama; Grison; Mota, 2011).

Bacia hidrográfica: processos hidrológicos e o balanço hídrico

A variabilidade hidrológica é relativa às características dos elementos fisiográficos da bacia. Estes são chamados de subsistemas. Cada subsistema interfere de modo diferente na retenção e transporte da água, causando intervenções temporais e espaciais peculiares às suas características físicas. Os subsistemas mais importantes são: dossel das árvores, solo, área de drenagem (Kobiyama; Grison; Mota, 2011). A vegetação tem efeito de interceptação e retenção de água da chuva. O volume retido evapora quando houver capacidade potencial, que somado com a transpiração dos vegetais, resulta na evapotranspiração (Goldenfum, 2016).

A água que escorre pelos troncos ou goteja através do dossel é chamada de precipitação interna. Quando atinge a superfície, ela pode escoar longitudinalmente como fluxo superficial ou subsuperficial, ou percolar pelos poros do solo. Isso depende da capacidade de campo do solo no momento, que é influenciada por sua estrutura e nível de umidade. O escoamento hortoniano, a água não infiltrada, é considerado a principal origem do pico do hidrograma (Horton, 1932). Quando a intensidade da chuva é menor que a capacidade de infiltração do solo, toda a água é absorvida, não havendo escoamento superficial. Na bacia hidrográfica, a água subterrânea atua como armazenamento e sua temporalidade depende de vários fatores, incluindo a transpiração pela vegetação

e a reposição do aquífero subterrâneo (Horton, 1932; Toebes; Ouryvaev, 1970). O infográfico da Figura 1 exemplifica os subsistemas e os processos envolvidos no balanço hídrico em uma bacia hidrográfica.



Fonte: Nascimento (2019, p. 18)

A estimativa do BH consiste em adicionar todas as variáveis de saída de água no sistema, subtraindo-a pela soma das variáveis de entrada. Os fluxos de entrada, considerados positivos, são: (P) precipitação medida em área aberta, (F) infiltração. Os fluxos de saída, considerados negativos, são: (T) transpiração; (I_c) interceptação pelas copas; (I_p) interceptação pelo piso; (E_o) evaporação do solo e de superfícies líquidas; (E_t) evapotranspiração (soma da transpiração e da evaporação); (Q) está para a vazão; (L) vazamento freático; (P_p) percolação profunda (vazamento por falhas na rocha); (R_s) escoamento superficial (em canais ou superfície); (R_{ss}) escoamento subsuperficial; (R_b) escoamento de base (mantido pela contribuição lateral do lençol freático); (P_c) precipitação direta nos canais; (U) vazamento (água que flui de montante a jusante subsuperficialmente paralelo ao leito). A variação da água no solo, representada por (Δs), tem sua classificação como positiva ou negativa devido à relatividade do quantitativo infiltrado em relação ao quantitativo escoado via nível de base. Para um dado período a estimativa do BH pode ser feita pelo método da continuidade da massa, onde as variáveis hidrológicas dos subsistemas podem ser expressas na Equação 1.

Em bacias hidrográficas onde o (L) , o (U) e o (Pp) são nulos, a Equação 1 pode ser simplificada para a Equação 2.

Equação 1 - Balanço hídrico, método da continuidade da massa

$$P=T+ic+Ip+Pc+Eo+Q+\Delta S+U \pm L$$

Equação 2 - Balanço hídrico, método simplificado

$$P=(Et-Q) \pm \Delta s$$

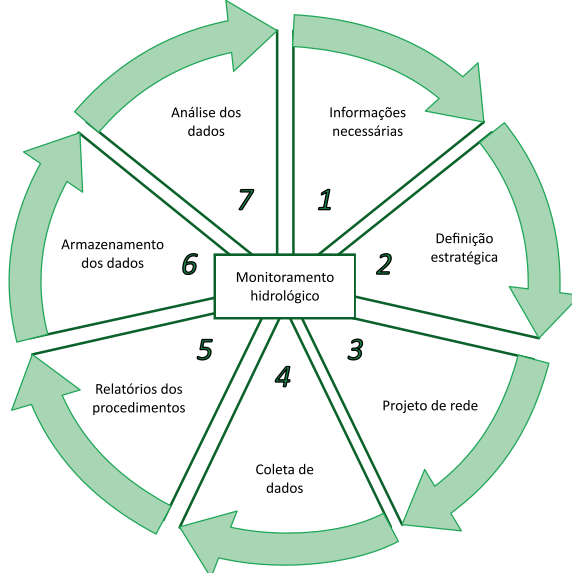
Onde: (P) corresponde à precipitação; (T) à transpiração; (Ic) à interceptação pelo dossel; (Ip) à interceptação pelo piso; (Pc) à precipitação direta em corpos hídricos; (Eo) à evaporação do solo e lâmina de água; (Q) à vazão; (Δs) à taxa de reposição do lençol freático;

(U) ao vazamento subsuperficial paralelo ao leito; (L) vazamento ou recebimento freático de outra bacia hidrográfica; (Et) à evapotranspiração.

Geração e consistência de dados hidrológicos

Os processos de obtenção de dados hidrométricos apresentados no capítulo anterior, podem ser afetados por erros que se acumulam ao longo das diversas etapas das medições em campo: observação, instalação correta de equipamentos, configuração de *dataloggers*, tipo de tecnologia usada, condições ambientais que influenciam no roteiro e no calendário de manutenção dos instrumentos, entre outros (WMO, 2008). A Figura 2 exhibe proposta de fluxograma de geração de dados.

Figura 2 - Ciclo de um programa de monitoramento hidrológico



Fonte: Nascimento (2019, p. 24)

A minimização dos erros e seus efeitos requer dedicada atuação através do acompanhamento in situ no site ou transecto de pesquisas. Isso devido à necessidade de referenciais visuais aplicados no processo de certificação dos dados, fato que torna intrínseco na metodologia as pesquisas de campo continuada das análises de consistência feitas em escritório (WMO, 2008). A organização e certificação dos dados requerem tratamentos e processamentos de certificação para serem utilizados com confiabilidade. Dependendo do objetivo da pesquisa, mais análises e processamentos tornam-se necessários para minimizar ou eliminar os possíveis erros (WMO, 2008).

Bacias experimentais e representativas

No interesse da engenharia hidráulica pesquisadores tendem a pospor a relevância da escala espacial da bacia hidrográfica para defini-la como pequena. Consideram ponderar sua dinâmica hidráulica sob as perspectivas hidroclimáticas. Exemplo: uniformidade da distribuição e intensidade da chuva, relação chuva e tempo de concentração, a resposta célere da chuva efetiva e seu baixo índice de armazenamento no canal (Goldenfum, 2016).

A pequena bacia permite a descrição da interação entre os componentes em análise quantitativa e qualitativa. Nesse contexto, se fundamentam as Bacias Experimentais e representativas (Goldenfum, 2016). As experimentais são instrumentadas para o desenvolvimento de investigações hidrológicas nos mais diversos interesses em ambientes preservados ou alterados. As bacias representativas são instrumentadas para fomento de banco de dados de longo prazo no desígnio das análises comportamentais do sistema hidroclimático (Goldenfum, 2016; Toebe; Ouryvaev, 1970).

A literatura científica menciona muitos estudos realizados em bacias hidrográficas sob o conceito de experimental ou representativa que contribuíram à hidrologia. Exemplo: Robert Elmer Horton (1875-1945), hidrólogo referência na hidrometeorologia por seus estudos na relação chuva, solo e drenagem (Horton, 1932); Arthur Newell Strahler (1918, 2002), geógrafo e climatólogo, é conhecido pelos vários estudos topográficos e geomorfológicos de bacias hidrográficas (Strahler, 1952); O hidrólogo Cornelius Toebe (1925-1975) criou redes de bacias representativas e experimentais na Nova Zelândia para estudar os fenômenos hidroclimáticos do país.⁴ Seus resultados positivos o levaram a participar do Decênio Hidrológico Internacional (DHI), promovido pela UNESCO em 1965. Esse projeto tinha como objetivo destacar a importância da água na agenda global. Uma das propostas aos países membros foi a implementação de bacias experimentais e representativas para analisar a hidrologia de seus territórios (Toebe; Ouryvaev, 1970; UNESCO, 2024).

No Brasil, os primeiros estudos em bacias experimentais começaram nos anos 1960 no semiárido nordestino. Nas outras regiões do país, as pesquisas em pequenas bacias começaram nas décadas de 1970 e 1980 (Melo *et al.*, 2020). Na Amazônia, as bacias experimentais foram implementadas a partir de 1976 (Nortcliff; Thornes, 1978). Em comparação com países da Europa e América do Norte, o Brasil ainda está incipiente em estudos hidrológicos em bacias experimentais ou representativas, apesar de sua vasta hidrografia e riqueza hídrica (Goldenfum, 2016; Melo *et al.*, 2020; Nascimento, 2019).

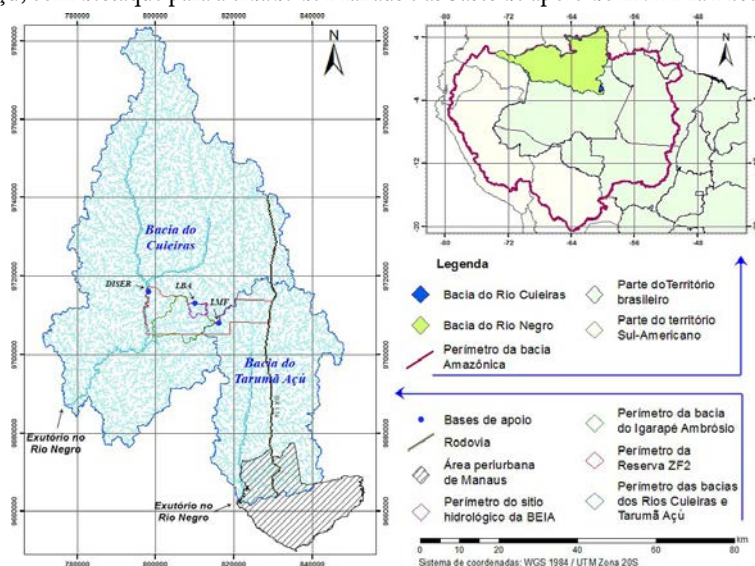
4 Disponível em: History of Hydrology Wiki.

Materiais e métodos: a área de estudos

A Bacia Experimental do Igarapé Asu (BEIA) faz parte do sítio de pesquisas hidrometeorológicas do Programa LBA. Está localizada a 58 km ao noroeste da cidade de Manaus, na Reserva florestal do Cuieiras, também conhecida como ZF2. Tem área estimada em 23,329 ha. As coordenadas geodésicas são: Lat. -02° 36' 30,9" e Long. -60° 12' 30,6". A Figura 8 dispõe o mapa de situação da Reserva do Cuieiras evidenciando os formatos das bacias hidrográficas por onde escoam suas águas.

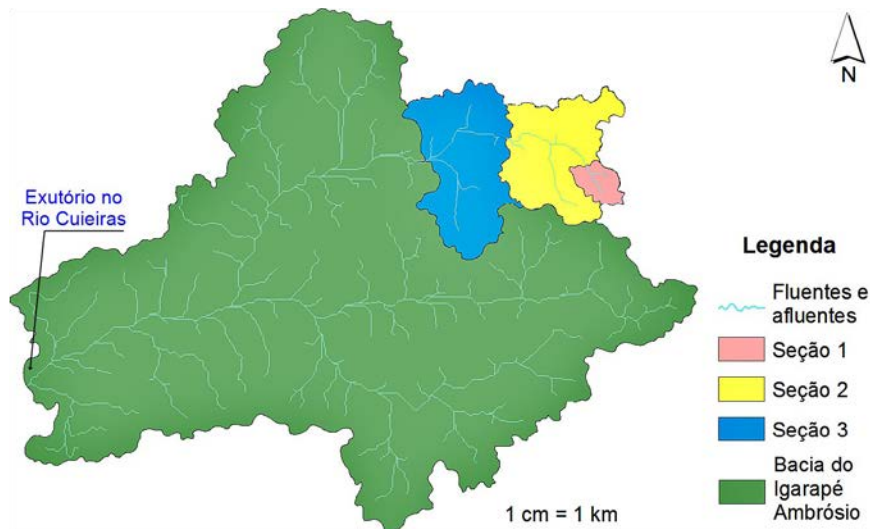
A BEIA compreende a bacia da nascente do Igarapé Ambrósio, A nomenclatura “Asu” está em consonância com bibliografias científicas (Tomasella *et al.*, 2007). Suas águas fluem ao Rio Cuieiras. Este desagua na margem esquerda do Rio Negro a 85 km do encontro com o Rio Solimões, ocasião da formação do Rio Amazonas. Sua área de monitoramento está dividida em 3 Seções hidrológicas numa superfície de 13,2 km². As divisões foram definidas pelo ordenamento da rede fluvial, conforme proposta de Strahler (1952), e posição geográfica dos exutórios. Mapa da Bacia do Igarapé Ambrósio e as Seções da BEIA estão apresentadas na Figura 4.

Figura 3 - Localização da Reserva ZF2 dentro das bacias do Rio Cuieiras e do Rio Tarumã Açu, com destaque para a cidade de Manaus e às bases de apoio do INPA na Reserva



Fonte: Nascimento (2019, p. 36)

Figura 4 - Hidrografia da bacia do Igarapé Ambrósio. Destaque para as Seções hidrológicas da BEIA



Fonte: Nascimento (2019, p. 42)

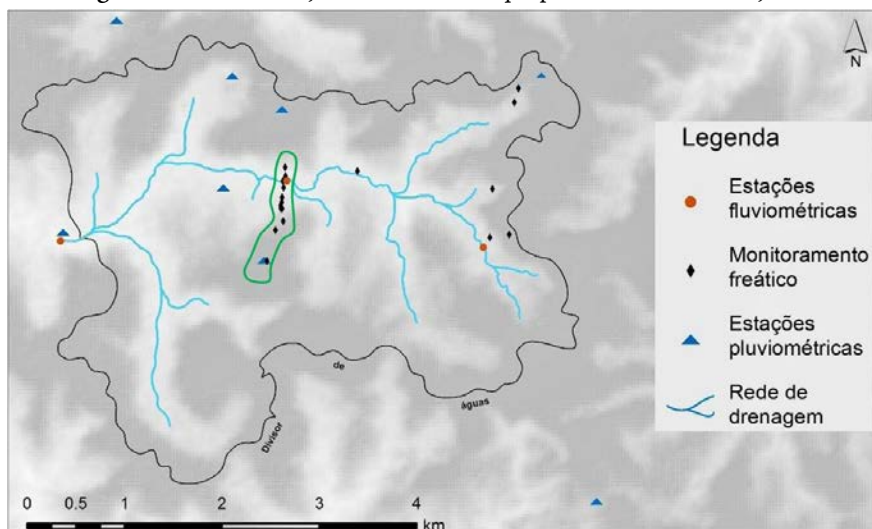
A área da BEIA é classificada como de vegetação tropical úmida, densa e madura de terras baixas com flora diversa em espécies lenhosas e herbáceas conforme gradiente topográfico (Higuchi *et al.*, 2004). O clima é Af_i, segundo classificação de Köppen, com temperatura média de 26 °C e umidade de 84%. A pluviometria varia de 1.800 a 2.800 mm, com cerca de 65% incidente entre janeiro e junho. Os solos são argilosos na superfície, 65% – 75% até 30 cm, e 80% – 90% a 1 m (Tomasella *et al.*, 2007).

Instrumentação e metodologia

Este projeto restringiu-se ao espaço pluvial da Seção II, com área de 6,31 km². Nela monitorou-se as variáveis de precipitação (P), vazão (Q) e variação freática (Δs). Essa Seção é a mais antiga e se destaca por sua estrutura. Tem em seus platôs torres de monitoramento de fluxos micrometeorológicos. A mais antiga, de 54 m, identificada como K34, foi instalada em meados dos anos 2000 no final do transecto hidrológico. Essa conjuntura proporciona o desenvolvimento de diversas pesquisas cuja variáveis podem se relacionar com os fluxos micrometeorológicos

monitorados. Exemplo: ciclos biogeoquímicos e manejo florestal. A Figura 5 demonstra todas instalações hidrométricas da BEIA com ênfase ao transecto da Seção II.

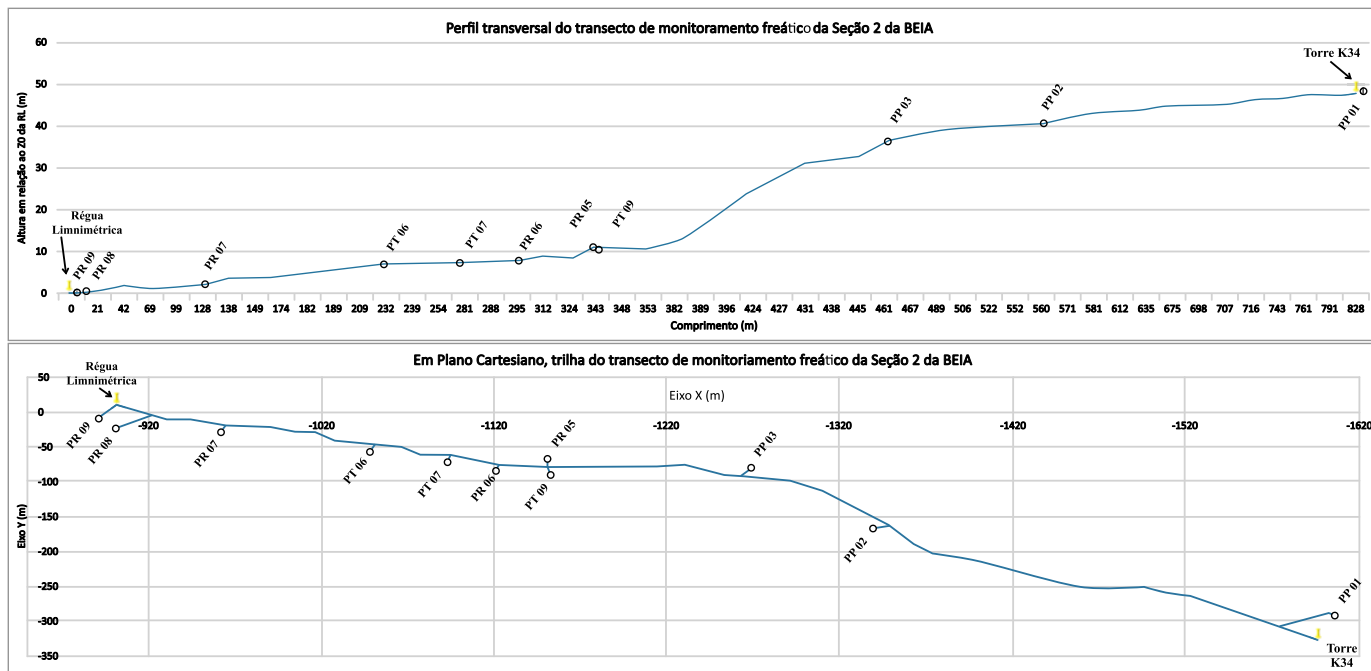
Figura 5 - Instrumentação da BEIA. Destaque para o transecto da Seção II



Fonte: Nascimento (2019, p. 44)

Para análise do BH de 2015 e 2016 este projeto usou dados de 6 pluviógrafos de bascula instalados em torres distribuídas nas 3 Seções. Para monitoramento freático e fluvial, usou-se dados gerados no transecto hidrológico da Seção II, que começa na estação fluviométrica e se estende por 850 m ao longo do gradiente topográfico até o divisor de águas (local da torre de fluxos). Nele estão instalados 10 poços distribuídos na planície e no platô, fato que propicia a plotagem freática ao longo do gradiente topográfico. A Figura 6 exibe em escala a toposequência do transecto.

Figura 6 - Poços de monitoramento freático ao longo do gradiente topográfico do transecto hidrológico da Seção II da BEIA



Fonte: Nascimento (2019, p. 100)

Para uma análise mais detalhada da fisiografia da Seção II, efetuou-se o Modelo Digital de Elevação Hidrológicamente Consistente (MDEHC) a partir de composição de *rasters* SRTM e LiDAR. Também fez-se coletas polares da toposequência do transecto da Seção II, bem como, o georreferenciamento de pontos estratégicos com equipamento GNSS (*Global Navigation Satellite System*). O Resultado foi um *raster* com definição celular de 100 m² (10 m * 10 m). Com o MDEHC desenvolvido, pôde-se ter uma melhor compreensão da morfometria da área de drenagem. Detalhes metodológicos estão disponíveis em Nascimento (2019, p. 72).

Quanto aos dados pluviométricos, a certificação se deu pelo método de Dupla Massa. Para a análise subhorária adotou-se MIT (mínimo intervalo de tempo) de 20 minutos entre eventos. Para definição e filtragem de ocorrência pluviométrica relevante, ponderou-se 1 mm para LMP (lâmina mínima precipitada).

A cota limnimétrica fluvial foi monitorada com sensor de pressão. As conversões das séries *kPa* para *mH₂O* se deu com duas referências métricas. Para garantir o registro das menores variações das cotas programou-se o *logger* para registros em intervalos de 15 minutos. Ousou-se os dados barométricos da torre K34 para compensação das séries de pressão absoluta. A vazão periódica foi estimada pelo método da correlação cota/descarga. Em momentos de extrapolação da curva, aplicou-se coeficiente de rugosidade de Manning para melhora da estimativa das vazões acima do nível crítico. A descarga hidráulica foi efetuada com traçador químico semanalmente usando-se a Equação 3. Foram considerados 33 pares viáveis de amostras de cota (*h*) e descarga (*Q*) para aplicação no processo de geração da curva-chave. O método de elaboração foi o potencial, descrito na Equação 4.

Equação 3 - Determinação de vazão pelo método do traçador

$$Q = (C_i - C_b) \cdot V_i \cdot 0(C_t - C_b) \cdot dt$$

Equação 4 - geração de curva-chave

$$Q = a \cdot (h - h_0)^n$$

Onde: (Q) corresponde à vazão; (C_i) à condutividade elétrica da solução; (C_b) à condutividade base do igarapé; (C_t) à condutividade acumulada da nuvem do traçador no tempo; (V_i) é o volume da solução em m^3 ; (dt) é a duração temporal da passagem da nuvem do traçador. (a) e (n) são constantes a serem determinadas, (h) é a cota observada, (h_0) é a cota correspondente à descarga zero.

Para determinação do coeficiente de Manning (n) na relação cota e descarga, ajustou-se arbitrariamente o n até a coincidência perfeita entre descarga conhecida (Q_{obs}) e descarga calculada (Q_{calc}). Para isso usou-se a Equação 5.

Equação 5 - Fórmula hidráulica

$$Q = 1n \cdot A \cdot R^{0,666} \cdot I^{0,5}$$

Onde: (Q) é a vazão em m^3/s , (R) é o raio hidráulico da seção, (A) é a área da seção, (I)

é a inclinação da linha de energia, (n) é o coeficiente de rugosidade de Manning.

Para preenchimento de lacunas da cota limnimétrica fluvial, adotou-se o método Racional. O processo considera fatores de declividade, tipo de solo e cobertura vegetal. O método pode ser exercido pela Equação 6. A modelagem foi complementada por análises de séries observadas, que permitiram a simulação dos cenários. Para parâmetro do referido método, também foi necessário a estimativa do tempo de concentração (TC) da chuva efetiva na BEIA. O método adotado foi o de Kirpich, Detalhes em Nascimento (2019, p. 64).

Equação 6 - Método Racional de estimativa de vazões

$$Q_{mod} (máx) = C \cdot I \cdot A^{360}$$

Onde: ($Q_{mod} (máx)$) é a vazão máxima modelada; (C) é a taxa de conversão de chuva precipitada em chuva efetiva; (I) é a altura da precipitação em mm ; (A) é a área de captação.

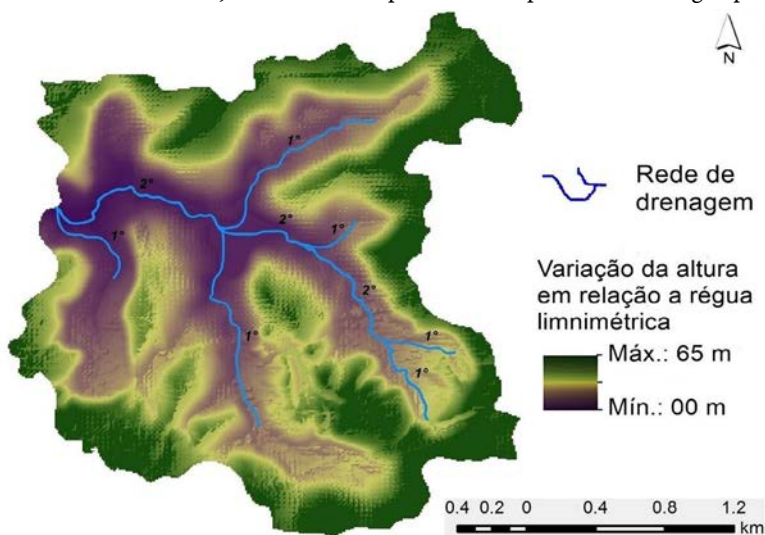
Com a análise morfométrica da área de captação da Seção II e as estimações volumétricas das variáveis de precipitação, fluviometria e variação do lençol freático, objetivou-se a estimativa do balanço hídrico dos anos julianos de 2015 e 2016 usando-se o método da continuidade da massa, conforme Equação 2 (p. 54).

Análises e considerações

Sobre o MDEHC. A precisão do modelo desenvolvido foi corroborada pela análise da paridade com os dados geodésicos, os polares e os *LiDAR*. Os valores gerados indicaram coincidência de 90%. A consistência do MDEHC é um ponto-chave para garantir que a modelagem de escoamento e a definição de áreas de inundação sejam representativas à realidade. Confira o modelo desenvolvido na Figura 7.

A análise da área de captação (6,3103 km²) consoante ao perímetro (13,515 km) e à declividade da bacia (0,011/1 m/m) indicam a predominância de áreas planas. Cerca de 34% do relevo está acima de 50 m da régua limnimétrica, consideravelmente os platôs. As encostas estão entre as isolinhas de 30 e 40 metros (14%). O restante, (52%), pode ser considerado como planície. Essas características influenciam a hidrodinâmica a ser menos intensa, resultando em inundações e estocagem freática.

Figura 7 - MDEHC da Seção II da Bacia experimental/representativa do Igarapé Asu

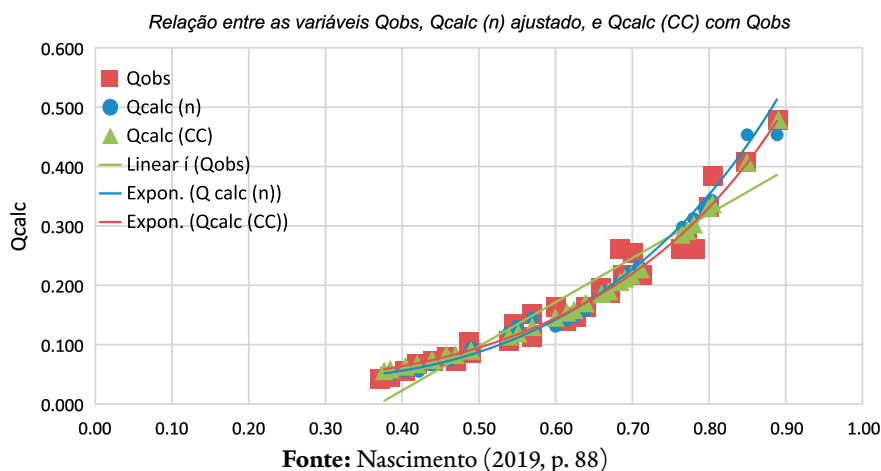


Fonte: Nascimento (2019, p. 77)

Sobre os resultados relacionados à vazão, a análise mostrou que o transbordo da calha fluvial ocorre a partir de 0,87 m. Com o ajuste pelo índice de rugosidade, incertezas de subestimação para cotas maiores foram mitigadas. A Figura 8 apresenta as curvas,

tendo a cota observada (Q_{obs}), como estimador para a curva sem ajuste ($Q_{calc} (CC)$) e para a curva ajustada pelo índice de Manning ($Q_{calc} (n)$).

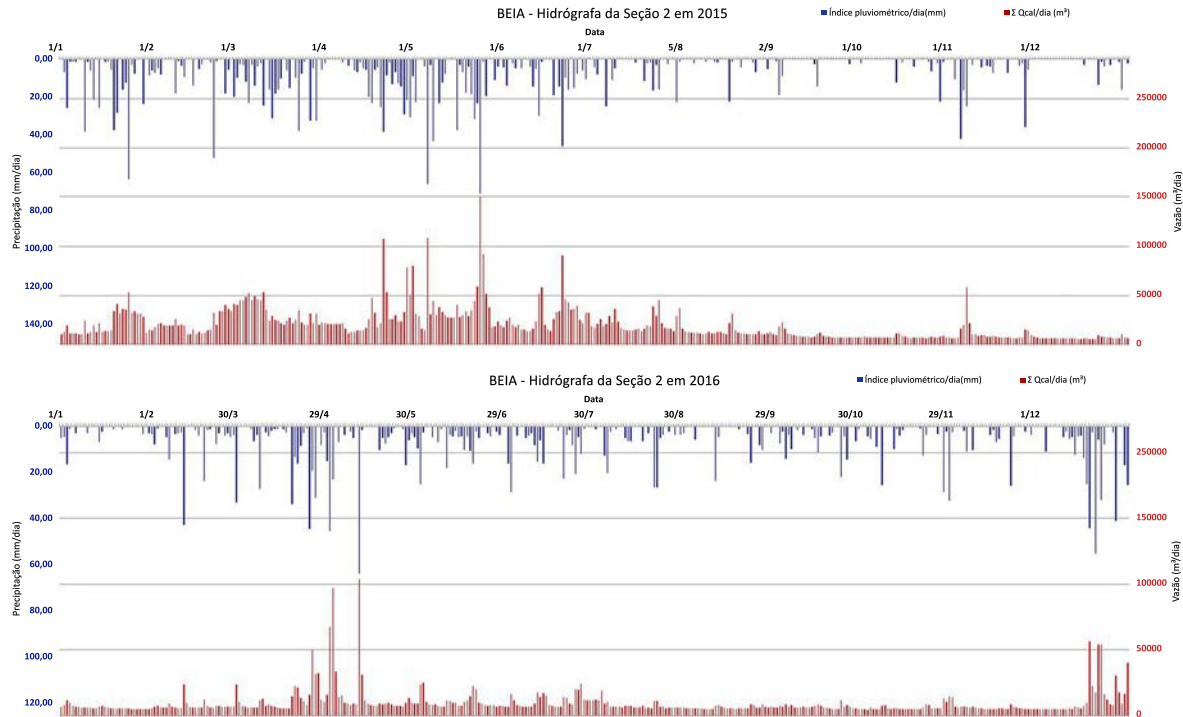
Figura 8 - Curva-chave - evolução do gráfico $Q_{calc} (n)$ em relação ao estimador (Q_{obs})



Quanto à pluviometria, a análise dos dados indicam substancial diferença na altura precipitada e na pluviosidade temporal, com destaque negativo em 2016. Fato inerente ao fenômeno climático *El Niño*, iniciado no final de 2015, afetando o período chuvoso da Amazonia. A média pluviométrica por dia de chuva são expressivas: 17,35 mm/dia em 2015 e 9,2 mm/dia em 2016. Ressalta-se, ainda, a ocorrência do fenômeno *La Niña* no segundo semestre de 2016, aumentando a média dos episódios pluviométricos num período tipicamente estio em anos normais. Esses dois fenômenos tornaram a precipitação de 2016 atípica ao regime histórico da região.

A análise de vazões modeladas e tempos de concentração destacou os efeitos do déficit pluviométrico de 2016 na hidrologia da bacia, gerando assimetria acentuada entre os anos no coeficiente de runoff: 0,51 para 2015 e 0,31 para 2016. Esse efeito deficitário influenciou negativamente no saldo de reposição no lençol freático nos dois anos estudados. Para 2015 o déficit é -227,44 mm, indicador de que o sistema hidráulico da bacia tenha sido mantido sob possível efeito de memória do ano de 2014, não estudado neste projeto. Em 2016, o déficit freático aumentou para -549,39 mm, com significativa redução da cota freática no platô. A Figura 9 propicia a análise comportamental da vazão diária em relação à pluviometria dos anos estudados.

Figura 9 - Hidrógrafas dos anos de 2015 e 2016, da Seção II da BEIA



Fonte: Nascimento (2019, p. 94)

Em 2016, o baixo índice de escoamento (31%) indica que a maior parte da chuva foi absorvida pelo solo, não chegando ao Igarapé. No Balanço Hídrico, a diferença entre a entrada e a saída de água na bacia foi de -286,64 mm em 2015 e -61,69 mm em 2016. O menor efeito negativo em 2016 pode estar relacionado ao menor índice pluviométrico. Isso contrasta com o baixo percentual de chuva efetiva, sugerindo maior evapotranspiração à atmosfera. Essa possibilidade é relevante, especialmente considerando que 51% da bacia é planície, onde a vegetação tem acesso direto ao lençol freático.

Considerações finais

Este trabalho abordou a importância de metodologias consistentes para a edição e análise de dados hidrométricos da Bacia Experimental/representativa do Igarapé Asu. Essas metodologias ajudaram a entender a dinâmica hidráulica da área de captação estudada. A estimativa das vazões de várzea foi categórica para interpretar a capacidade de escoamento da rede de drenagem durante eventos pluviométricos de diferentes intensidades. A morfometria da área, caracterizada por platôs e planícies, influencia a disponibilidade de água para as plantas e o fluxo fluvial, mesmo em períodos secos. A evapotranspiração e o lençol freático são intrínsecos, dificultando fechamento do balanço hídrico em 2016. Os dados de precipitação, quando analisados com outros componentes do balanço hídrico, mostram a variabilidade e a vulnerabilidade hidrológica em períodos de ENOS acentuado na Amazônia Central. A pesquisa evidencia a necessidade de estudos contínuos e formação de especialistas para garantir a gestão eficaz águas na região Amazônica.

Referências

- BRASIL. *Lei nº 9.433, de 8 de outubro de 1997*. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, Brasília, 8 de outubro de 1997.
- BRASIL. *Paisagens Sustentáveis*. LiDAR data set “Rio Cuieiras” - CUI_A01_2008_LiDAR, 16 de março de 2023. Disponível em: <https://www.paisagenslidar.cnptia.embrapa.br/>. Acesso em: 16 ago. 2024.

- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. *Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia*, 2024. Disponível em: <https://programalba.cloud/>. Acesso em: 16 ago. 2024.
- GOLDENFUM, J. A. Pequenas bacias hidroológicas: conceitos básicos. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. *Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas*. 1. ed. Porto Alegre: ABRH, 2016. p. 3-12.
- HIGUCHI, N. *et al.* Dinâmica de balanço de carbono da vegetação primária da Amazônia Central. *Floresta*, Curitiba, p. 295-304, set./dez. 2004.
- HISTORY of Hydrology Wiki. *Cornelius Toebes*, 22 de abril de 2016. Disponível em: http://www.history-of-hydrology.net/mediawiki/index.php?title=Toebes,_Kees. Acesso em: 10 ago. 2024.
- HORTON, R. E. Drainage-basin characteristics. *Eos, Transactions American Geophysical Union - AGU*, New York, n. 1, p. 350-361, june 1932.
- KOBIYAMA, M.; GRISON, F.; MOTA, A. A. *Curso de capacitação em hidrologia e hidrometria para conservação de mananciais*. 3. ed. Florianópolis: UFSC, 2011. Disponível em: https://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/apostila_hidrometria.pdf. Acesso em: 13 ago. 2024.
- MELO, D. C. D. *et al.* The big picture of field hydrology studies in Brazil. *Hydrological Sciences Journal*, Wendland, v. 65, n. 8, p. 1262-1280, 2020.
- MENDONÇA, A. S. Balanço hídrico. In: PAIVA, João B. D.; PAIVA, E. M. C. D. *Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas*. 1. ed. Porto Alegre: ABRH, 2016. p. 165-168.
- NASCIMENTO, D. A. *Gerenciamento de recursos hídricos em uma bacia experimental na Amazônia Central*. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) - Universidade do Estado do Amazonas. Manaus. 2019.
- NORTCLIFFE, S.; THORNES, J. B. Water and cation movement in a tropical rainforest environment. I. Objectives, experimental design and preliminary results. *Acta Amazonica*, Manaus, p. 245-258, jun. 1978.
- STRAHLER, A. N. Hypsometric (Area-Altitude) Analysis Of Erosional Topography. *GSA Bulletin*, McLean, v. 63, p. 1117-1142, 01 November 1952.
- TOEBES, C.; OURYVAEV, V. A. *Representative and experimental basins: an international guide for research and practice*. Paris: UNESCO, v. 1, 1970. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000003616>. Acesso em: 15 ago. 2024.
- TOMASELLA, J. *et al.* The water balance of an Amazonian micro-catchment: the effect of interannual variability of rainfall on hydrological behaviour. *Hydrological Processes*, v. 22, n. 13, p. 2133-2147, 30 out. 2007. ISSN 0885-6087.

TUCCI, C. E. M. *et al.* *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. v. 4. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2015.

UNESCO. *Intergovernmental Hydrological Programme: Science for a water secure world*, 2024. Disponível em: <https://www.unesco.org/en/ihp>. Acesso em: 15 ago. 2024.

USGS. US Geological Survey. *Earth explorer*, 2024. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 16 set. 2018.

WMO. *Guide to Hydrological Practices N° 168 - Hydrology – From Measurement to Hydrological Information*. Sixth edition. ed. Geneva: Chairperson, Publications Board, v. 1, 2008.

Recursos hídricos e outorga aos flutuantes fluviais

Eriverton Resende Monte
Carlossandro Carvalho de Albuquerque
Ieda Hortêncio Batista

Introdução

Os recursos hídricos possuem o uso diversificado regulamentado por legislação federal e estadual em conformidade com a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e a Política Estadual dos Recursos Hídricos (PERH), abrangendo os instrumentos essenciais dessas políticas, dentre eles, a outorga dos direitos de uso de tais recursos, um procedimento realizado por ato administrativo da autoridade competente para o uso adequado da água.

A presente pesquisa tem por objeto a outorga para que os flutuantes fluviais possam ser postos sobre as águas fluviais de competência do estado do Amazonas, destacando-se esses bens imóveis que estão localizados no âmbito estadual na bacia hidrográfica do rio Tarumã-Açu, Manaus, AM.

Surge, desse modo, a seguinte indagação: qual o procedimento de outorga para que um flutuante fluvial seja posto sobre as águas dos rios na superfície de domínio do estado do Amazonas, primordialmente na bacia hidrográfica do rio Tarumã-Açu?

Como objetivo geral estabelecer o procedimento para a outorga dos flutuantes fluviais nos rios, e objetivos específicos identificar os diversos usos dos recursos hídricos, descrever sobre os instrumentos da Política Estadual dos Recursos Hídricos e discutir sobre a natureza jurídica dos flutuantes fluviais em relação à mobilidade.

A Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1987, 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 (Brasil, 1987), e a Lei Estadual nº 3.167, de 27 de agosto de 2007, disciplina a Política Estadual de Recursos Hídricos e do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos no estado do Amazonas (Amazonas, 2007). São normas

primordiais para o uso racional e propício dos recursos hídricos na participação descentralizada do Poder Público, dos usuários e das comunidades envolvidas.

A outorga de direito de uso da água, com base nas leis modernas para o setor dos recursos hídricos, é um mecanismo que permite o conhecimento e o controle por parte do administrador público, das quantidades de águas utilizadas pelos usuários (Carrera-Fernandez; Raymundo-José, 2002). Justifica-se o estudo pelos aspectos social e jurídico na utilização dos recursos hídricos na bacia do rio Tarumã-Açu em relação aos flutuantes fluviais, uma realidade específica dessa região pela existência desses para moradia e atividade empresarial, ambiente de circulação de pessoas, serviços e bens.

A proteção e preservação ambiental sustentável devem integrar a utilização do espaço hídrico que é disposto aos proprietários e demais usuários dos flutuantes; local que há uma diversificada exploração comercial com bares, restaurantes, locação para temporada, moradia, consistindo em elementos que compõem a utilização dos rios por meio dos flutuantes fluviais.

Para tanto, o controle dos efluentes e resíduos sólidos precisam ser uma preocupação de todos os envolvidos, quer seja o particular proprietário, usuário e o Poder Público que detém o poder jurídico de outorga.

Em junho de 2025 foi assinado o Termo de Convênio nº 001/2025, firmado entre o Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FERH), a Universidade do Estado do Amazonas (UEA) e a Fundação de Apoio e Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Amazonas (FADECT-AM), cujo objeto consiste em estabelecer a conjugação de esforços acadêmicos, técnicos e científicos entre as partes visando a elaboração do Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tarumã-Açu (PBH Tarumã-Açu), momento histórico como primeiro plano de bacia do Amazonas e que terá desafios significativos para o uso adequado dos recursos hídricos nessa região, dentre eles, a outorga aos flutuantes fluviais.

Materiais e métodos

Quanto à metodologia, baseia-se na pesquisa bibliográfica, dados da bacia do Tarumã-Açu, utilização do método dedutivo partindo-se da premissa geral para específica, como dos instrumentos da Política Estadual para o instrumento típico da outorga; pesquisa qualitativa pela abordagem de fenômenos sociais e natureza complexa dos flutuantes no que toca a sua classificação quanto à

mobilidade como bem imóvel e o procedimento da autorização como aspecto variado que envolve moradia, recursos hídricos, meio ambiente e atuação dos entes públicos competentes.

De acordo com Anacélia Santos *et al.* (2020), pela pesquisa qualitativa se compreende fenômenos sociais, segundo a perspectiva dos participantes e com ênfase no processo de investigação. Dito isso, a pesquisa tem o direcionamento ao acontecimento social dos flutuantes fluviais para assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de quantidade e qualidade adequados a esse uso, com um dos objetivos similar das Políticas Nacional e Estadual de Recursos Hídricos (Brasil, 1997; Amazonas, 2007).

Os fundamentos propostos na pesquisa estão principalmente na Constituição Federal de 1998 (CF/88), na Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1987, na Lei Estadual nº 3.167, de 27 de agosto de 2007, na Lei Federal nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002, norma que instituiu o Código Civil (CC/2002), o entendimento doutrinário para caracterizar a natureza jurídica dos flutuantes fluviais no critério de mobilidade, e dados quantitativos da Bacia Hidrográfica do Rio Tarumã-Açu (BH Tarumã-Açu) e os critérios para outorga dos recursos hídricos.

O ordenamento jurídico brasileiro é composto por normas hierárquicas que compõe o sistema jurídico com a CF/88 como norma superior, e as leis infraconstitucionais, como a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1987, que deve harmonia aos princípios e regras do texto constitucional.

A CF/88 regulamenta a competência legislativa que se refere à elaboração e criação do arcabouço normativo legal, e a competência administrativa relacionada com a execução das leis, a título de exemplo, as referidas leis sobre recursos hídricos.

Conforme o Art. 21, XIX, da CF/88, compete à União instituir sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos (SNGRH) e definir critérios de outorga de direitos de seu uso, e os entes (União, os Estados, Distrito Federal e os Municípios) devem atuar conjuntamente na gestão dos recursos hídricos, especialmente em áreas como planejamento e controle do uso da água (Brasil, 1988). O SNGRH foi criado pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1987. Assim, os critérios de outorga são definidos pela União, sem que os Estados possam disciplinar e estabelecer regras que contrariem a legislação federal.

Os proprietários dos flutuantes fluviais possuem interesses na outorga para o uso conveniente das águas. Para todos é proporcionado o direito de propriedade, desde que essa cumpra com a sua função social que consiste em proporcionar benefícios com o uso da propriedade e não causar malefícios com o uso da propriedade; é o que prevê a CF/88 em seus Art. 5º, *caput*, e o inciso XXIII, combinado com o Art. 170, III (Brasil, 1988).

As medidas de políticas urbanas relacionadas com o desenvolvimento das cidades, têm por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais e garantir o bem-estar de seus habitantes, assim como cumpre sua função social quando atende às exigências fundamentais de ordenação da cidade expressas no plano diretor, consoante o Art. 182, *caput*, e o § 2º, da CF/88.

Apesar do Poder Público Municipal não ter competência para legislar sobre recursos hídricos, é inexistente o domínio das águas superficiais e subterrâneas, os municípios são detentores de competência administrativa (competência comum) para registrar, acompanhar e fiscalizar a exploração de recursos hídricos – Art. 23, XI, da CF/88, certamente pelo interesse público no uso dos recursos hídricos que a todos merece atenção aos diversos usos das águas.

O legislador constitucional, possivelmente, deixou de fora dessa competência legislativa os entes municipais de modo inapropriado, uma vez que o uso dos recursos hídricos é um assunto igualmente de interesse local.⁵ Crítica que merece ser discutida oportunamente.

Ainda com relação à função social, essa está diretamente relacionada com a qualidade de vida das pessoas, da justiça social e do desenvolvimento econômico, independentemente se a moradia esteja posta em solo ou água, área urbana ou rural, com aproveitamento dos recursos naturais, preservação do meio ambiente e a exploração econômica ao bem-estar das pessoas para cumprir a função social, para o bem individual e da coletividade (Monte, 2023).

A função social dos flutuantes fluviais está relacionada com o direito social à moradia, os direitos sociais do trabalho e da livre iniciativa, da preservação ambiental, da utilização adequada dos recursos hídricos, quer dizer, acolhe os aspectos da ordem social, ambiental e econômica, desde que priorize o desenvolvimento sustentável consciente para assegurar e tutelar o meio ambiente.

5 CF/88: Art. 30. Compete aos Municípios: I - legislar sobre assuntos de interesse local.

Nesse aspecto, a água é um bem que tem função social indispensável para a vida de todas as formas e ao meio ambiente. A lei – federal e do Estado do Amazonas – sobre recursos hídricos contemplam a água como um bem de domínio público que significa disposta para todos, recurso natural limitado, dotado de valor econômico, em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais, a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas (Brasil, 1997; Amazonas, 2007).

Ao proporcionar o uso múltiplo conduz para uma gestão, com base na norma, para que a água exerça a função social de servir como um bem em prol da sociedade na diversidade: consumo humano, comunidade aquática, irrigação, consumo animal, navegação, recreação, moradia e atividade empresarial no âmbito dos flutuantes fluviais.

Em relação à propriedade dos rios, esses podem ser bens da União ou dos Estados. São da União rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham – Art. 20, III, da CF/88 – e dos Estados as águas superficiais ou subterrâneas, as ilhas, excluídas as que pertencem à União – Art. 26, I, II e III, da CF/88.

O Rio Negro é um afluente do rio mais extenso do mundo, o Rio Amazonas. Rio que nasce nas regiões de Popaiã (Planalto Colombiano), possui aproximadamente 1.200 km no Brasil, cor escura, alto índice de acidez, lança suas águas no Rio Amazonas, e sua corrente se junta ao Rio Solimões para formar o encontro das águas, sendo ícone de beleza da região e fonte turística reconhecida mundialmente (Noronha, 2003). Essas características tornam sua classificação quanto ao domínio como um rio que pertence à União.

O Rio Tarumã-Açu, localizado na Bacia do Tarumã-Açu, canal principal da Bacia, afluente da margem esquerda do Rio Negro e limitado a oeste a expansão urbana da cidade de Manaus (Costa, 2020). Por tais características, pode-se afirmar que é um rio de domínio do estado do Amazonas.

Resultados e discussão

A Bacia Hidrográfica do Rio Tarumã-Açu (BHTA) foi criada pelo Decreto Estadual nº 29.249, de 19 de outubro 2009, órgão colegiado com atuação na BHTA, localizada no estado do Amazonas, reconhecida como um recurso hídrico configurando um bem público de valor econômico, cuja utilização é submetida à cobrança, mediante outorga, observados os aspectos de quantidade, qualidade e peculiaridades (Amazonas, 2009).

A BHTA está localizada na zona norte e oeste de Manaus, abrange os rios Tarumã Mirim e Tarumã Açu e seus afluentes, com área total de 184.046,08 hectares, o que corresponde a 16% da área territorial do município de Manaus, concentrando uma população urbana aproximada de 496.158 habitantes e possui a peculiaridade de estar localizada totalmente dentro do território do município (Bühning, 2010). As figuras seguintes contemplam a sua localização, para que se possa ter a noção da sua extensão.

Figura 1 - Imagem aérea da BHTA



Fonte: Google Earth (2025), com adaptação

Figura 2 - Imagem aérea da BHTA



Fonte: Google Earth (2025), com adaptação

Nota-se que a BHTA tem uma ampla extensão desde a área do bairro da Ponta Negra, zona oeste da cidade, passando pelo Tarumã e alcançando em torno do quilômetro 45 da BR 174. Existem mais de 1000 (mil) flutuantes fluviais localizados na BHTA, especificamente no Rio Tarumã-Açu. A figura abaixo proporciona uma visualização sobre a disposição deles no rio.

Figura 3 - Flutuantes no Rio Tarumã-Açu





Fonte: Arquivo pessoal do autor (Pesquisa de campo, 2019)

São bens postos sobre o corpo de água, utilizando recurso hídrico de domínio estadual para exploração empresarial e moradias, proporcionando a função social da propriedade, o que configura a realidade da região que merece proteção jurídica (segurança jurídica) aliada à preservação ambiental. Orlando Gomes (2001) afirma que a solenidade serve para dar segurança em algumas situações jurídicas, elevando-se o procedimento como requisito essencial a sua validade, não sendo suficiente a manifestação de vontade das partes (consentimento) – que é o caso da concessão do direito de superfície fluvial em que as partes devem, necessariamente, seguir as formalidades legais do seu conteúdo. A imagem a seguir demonstra a amplitude e quantidade de flutuantes nessa região.

Figura 4 - Imagem aérea dos flutuantes no Rio Tarumã-Açu



Fonte: Google Earth (2025)

Nessa imagem, nota-se os flutuantes sobre o corpo de água no Rio Tarumã-açu. As atividades empresariais de locação, bares e restaurantes, proporcionam a circulação de bens e serviços ocasionando atividades de recreação e diversão para a população, que utiliza o transporte fluvial de barcos para o deslocamento até os flutuantes.

Torna-se essencial, adiante, tratar sobre a regularização dos flutuantes localizados em área de domínio do estado do Amazonas, especificamente no Rio Tarumã-Açu.

A natureza jurídica da outorga consiste na concessão, autorização por parte do Poder Público no uso dos recursos hídricos. A outorga, como um dos instrumentos dos recursos hídricos, concede direitos aos interessados no uso adequado das águas superficiais e subterrâneas, primando pelo ambiente sustentável e o desenvolvimento socioeconômico.

A CF/88 determina que compete à União definir os critérios de outorga de direitos de uso dos recursos, à luz do Art. 21, XIX (Brasil, 1988), sem que tais critérios possam ser alterados pelo legislador estadual.

Paulo Affonso (2018) adverte que os governos não podem conceder usos dos recursos hídricos que agredam a qualidade e a quantidade das águas, devendo agir com equidade ao darem acesso à água e explica que pode parecer estranho uma lei federal, referindo-se à Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, aponte aos Estados e ao Distrito Federal o dever de intervir na área de sua competência, porém tal premissa está prevista na CF/88 (Art. 21, XIX), ao afirmar que compete à União definir os critérios de outorga.

O regime de outorga de direitos de uso de recursos hídricos tem como objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o exercício dos direitos de acesso à água, destacando que estão sujeitos a essa concessão do uso para derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo, a extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo, o lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, o aproveitamento dos potenciais hidrelétricos, e, por fim, outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água (Brasil, 1997).

Percebe-se que o legislador federal adotou, na última circunstância de sujeição de outorga uma situação exemplificativa ao utilizar a expressão “outros usos”, certamente para preservar os usos múltiplos dos recursos hídricos. Nessa situação se encaixam os flutuantes fluviais que precisam do uso de uma certa área (superfície) do corpo da água para se posicionar (longitude e latitude) e, com isso, altera os regimes tanto do espaço utilizado quanto do tráfego nos rios.

Ressalta-se que a outorga, conforme definido em regulamento, não é necessária em relação aos usos de recursos hídricos para a satisfação das necessidades de pequenos núcleos populacionais, distribuídos no meio rural e os usos (derivações, captações, lançamentos e as acumulações de volumes de água) consideradas insignificantes (Brasil, 1997).

Ao definir que compete ao Poder Público, refere-se ao Poder Executivo Federal, dos Estados ou do Distrito Federal, precisamente no Art. 14, da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.

A Instrução Normativa nº 4, de 21 de junho de 2000, do Ministério do Meio Ambiente (MMA), que aprovou os procedimentos administrativos para a emissão de outorga de direito de uso de recursos hídricos, em corpos d’água de domínio da União, definiu o que seja outorga:

Art. 2º

XVI – Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos: **ato administrativo, de autorização, mediante o qual o Poder Público outorgante faculta ao outorgado o direito de uso de recurso hídrico, por prazo determinado, nos termos e nas condições expressas no respectivo ato** (Brasil, 2000, grifos nossos).

Então, a outorga é considerada um ato administrativo porque, necessariamente, deriva do Poder Público, quer seja federal ou estadual, concedendo (autorizando) por prazo determinado ao interessado o uso opcional atinente aos recursos hídricos.

Na relação jurídica aqui defendida, deve-se denominar o estado do Amazonas como outorgante e o proprietário do flutuante será o outorgado, para que possa estar devidamente regularizada a outorga.

Conforme Carrera-Fernandez e Raymundo-José (2002), o conceito de outorga pode ser definido como o instituto jurídico mediante contrato ou ato unilateral da entidade ou do órgão gestor para a regularidade de uso dos recursos hídricos quando houver implantação, ampliação e alteração de intervenção que demande o uso de água, a execução de obras ou serviços que alterem seu regime, quantidade ou qualidade.

Com a concessão dos flutuantes, defende-se que seja por meio do direito real de superfície, o qual tem natureza de contrato, mas que está posto no rol dos direitos das coisas, para configurar o direito de superfície fluvial, direito real sobre coisas alheias.

Os direitos reais podem ser classificados em direitos reais sobre a própria coisa, como sendo ilimitado, que é o domínio, a propriedade; e direitos reais sobre coisas alheias, que são todos os demais direitos reais, limitados (Azevedo, 2014), por exemplo, o direito real de superfície, que é a situação posta na presente pesquisa em conexão com a outorga.

A gestão dos recursos hídricos serve para intervir (combater os efeitos) diante da necessidade do gerenciamento do uso da água, [no caso dos flutuantes o uso da superfície fluvial], em nexos com os fatores de balanços hídricos desconfortáveis ou críticos, poluição dos corpos de água e os conflitos entre usuários competidores. O Poder Público detém a legitimidade para atuar como juiz defronte regras bem definidas, primeiramente pela conservação para fins de equilíbrio ecológico e, em segundo lugar, a outorga é essencial no acolhimento do uso da água como corpo receptor de lançamento de efluentes que, uma vez tratados, terão na massa líquida sobre a qual forem despejados, um corpo diluidor (Carrera-Fernandez; Raymundo-José, 2002).

É o que se espera no uso apropriado das águas com o direito de superfície fluvial no regime dos flutuantes, a outorga sem que ocorra a poluição dos corpos d'água e a solução dos conflitos concernente aos usuários, e acolher o bem flutuante como receptor de lançamento de efluentes e resíduos sólidos. Para Carrera-Fernandez; Raymundo-José (2002), o exercício do mecanismo de outorga é fator de amenização ou mesmo de eliminação dos conflitos dos usos das águas.

O legislador estadual, seguindo esses aspectos, estabelece ao regime de outorga do efetivo exercício dos direitos de acesso à água e garantir a sobrevivência de espécies da fauna e flora estadual (Amazonas, 2007).

As situações de sujeição de outorga pela lei estadual foram ampliadas, sem contrariar a lei federal e consoante acima debatido que contém um rol exemplificativo nos diversos usos da água, sem que seja taxativo.

Destacam na ampliação dos usos dos recursos hídricos a implantação de empreendimento que demande a utilização de recursos hídricos superficiais ou subterrâneos, a execução de obras e serviços que alterem seu regime, qualidade ou quantidade, a utilização da hidrovia para transporte, os usos não destinados ao consumo que impliquem a exploração dos recursos hídricos por particulares, com finalidade comercial, incluindo os usos de natureza recreativa e balneável.

Pode-se enquadrar os flutuantes fluviais na implantação de empreendimentos porque precisam utilizar as águas superficiais no rio estadual Tarumã-Açu, ou usos não destinados ao consumo que impliquem a exploração dos recursos hídricos por particulares, com finalidade comercial, incluindo os usos de natureza recreativa, ou igualmente a situação acima repetida da lei federal: outros usos que alterem o regime (quantidade ou a qualidade) da água existente no corpo de água no mencionado rio estadual.

Paulo Affonso (2018) destaca que a lei federal não contém previsão para a necessidade de licitação à outorga dos recursos hídricos, por não configurar prestação de serviço público, como ocorre quando envolve empresa de distribuição de água numa cidade, sendo que a prestação de serviço está sujeita ao processo licitatório, seja executada diretamente pelo Poder Público ou sob o regime de concessão ou permissão.

Ainda que se possa indicar pela aplicação da lei de licitações e contratos – Lei Federal nº 14.133, de 1º de abril de 2021, pode-se, para utilizar o direito real de superfície contido no Código Civil e na Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001, denominada Estatuto das Cidades, supletivamente pela admissibilidade contida no Art. 89, que assim dispõe: “Os contratos de que trata esta Lei regular-se-ão pelas suas cláusulas e pelos preceitos de direito público, e **a eles serão aplicados, supletivamente, os princípios da teoria geral dos contratos e as disposições de direito privado**” (grifos nossos). Assim, a lei de licitações e contratos permite que a teoria geral dos contratos e as disposições do direito privado sirvam de suportes nas relações jurídicas envolvendo o interesse do Estado.

O direito de superfície está previsto nos Arts. 1.369 a 1.377, do CC/2002, e nos Arts. 21 a 24 do Estatutos da Cidade de 2001, o que gerou discussão sobre possível revogação parcial desta última norma pelo Código Civil. Di Pietro (2014) assevera que não houve derrogação das normas do Estatuto, depois de mudar seu posicionamento. Restou convencida de que a lei nova, que estabeleça disposições gerais ou especiais a par das já existentes, não revoga nem modifica a lei anterior, de acordo com o Art. 2º, § 2º, do Decreto-Lei nº 4 de setembro de 1942, chamada de Lei de Introdução às normas do Direito Brasileiro – LINDB. Conclui que: “O Estatuto da Cidade, instituído para fins urbanístico, como instrumento de função social da propriedade urbana, é considerado norma especial não afetada pela entrada em vigor do novo Código Civil”.

O Art. 1.369, do Código Civil, conceitua o direito real de superfície: “O proprietário pode conceder a outrem o direito de construir ou de plantar em seu terreno, por tempo determinado, mediante escritura pública devidamente registrada no Cartório de Registro de Imóveis”. Desse modo, pode o Poder Público (Estado do Amazonas) conceder (autorizar) o uso da superfície fluvial ao proprietário do flutuante.

Nesse aspecto, o conceito e a classificação quanto ao bem flutuante deve ser apontado, tendo em vista ser um bem móvel (embarcação) ou imóvel. Carla Gilbertoni (1998, p. 46) entende que o termo embarcação é “um conjunto de elementos unidos que formam um todo orgânico capaz de se locomover, ou seja, indica natureza móvel”. Acrescenta que a locomoção deve ser necessariamente na água de forma parcial (navios) ou totalmente imersa (submarino).

A Lei nº 9.537, de 11 de dezembro de 1997, que dispõe sobre a segurança do tráfego aquaviário em águas sob jurisdição nacional, apresenta a conceituação de embarcação em seu Art. 2º, V, com os seguintes termos: “qualquer construção, inclusive as plataformas flutuantes e, quando rebocadas, as fixas, sujeita a inscrição na autoridade marítima e suscetível de se **locomover** na água, por meios próprios ou não, transportando pessoas ou cargas” (*grifos nossos*).

Considerando que nenhum flutuante, ao menos no objeto da presente pesquisa, tem a intenção de locomoção, descarta-se a classificação de bem móvel.

Conceitua-se o flutuante fluvial:

Como um bem fluvial edificado com estrutura para sobrenadar nas águas e que não incorpora o solo, com movimentação de acordo com o nível das águas, porém sem o intuito de transportar pessoas ou coisas, descaracterizando-o como embarcação, inserido em rios, igarapés, lagos, o qual serve como moradia, lazer, turismo e atividade empresarial para a realização de negócios jurídicos (Monte, 2023, p. 66).

A especificidade de não ser uma embarcação é essencial para classificar o bem flutuante como um bem imóvel, assim como é uma edificação que é separada do solo e que conserva a sua unidade quando removida para outro local, nos termos do Art. 81, I, do Código Civil de 2002.

Conforme as águas superficiais que estejam localizadas, se federal ou estadual, compete ao ente público correspondente a outorga diretamente pelo órgão correspondente, tendo como resultado a autorização sem a necessidade de licitação.

Nota-se que a outorga dos flutuantes envolve a utilização adequada dos recursos hídricos, ato administrativo do Poder Público (outorgante), e supletivamente aplicação do direito privado com o direito real de superfície fluvial do Código Civil e do Estatuto das Cidades, formalizada por intermédio do contrato de direito real superfície fluvial.

Cabe esclarecer o procedimento no campo da autoridade competente estadual. A Lei nº 3.167, de 27 de agosto de 2007, que igualmente a lei federal estabelece a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos como um dos instrumentos da Política Estadual de Recursos Hídricos, indica que as águas superficiais de domínio do estado poderão ser objeto de uso após outorga pelo Poder Público para assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água, bem como garantir a sobrevivência de espécies da fauna e flora estaduais (Amazonas, 2007).

Estão sujeitos à outorga o uso dos recursos hídricos a implantação de empreendimento que demande a utilização de recursos hídricos superficiais, ou outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água, à luz do Art. 16, V e VI, da Lei nº 3.167, de 27 de agosto de 2007. Em qualquer dessas sujeições pode ser enquadrada a outorga para uso do rio Tarumã-Açu em relação aos flutuantes.

Deve ser outorgado o direito de uso das águas ao proprietário ou ao seu representante, devidamente formalizada, de acordo com o Art. 18, I, da Lei nº 3.167, de 27 de agosto de 2007, pelo prazo máximo de 35 (trinta e cinco) anos, permitindo-se a prorrogação conforme o Art. 18, II, da Lei nº 3.167, de 27 de agosto de 2007. Não se admite a concessão por prazo indeterminado pelo comando legal específico que deve prevalecer em relação ao Estatuto das Cidades, que admite a concessão do direito de superfície por prazo indeterminado.

A norma estadual tem a preocupação que a outorga seja condicionada às prioridades de uso estabelecidas no Plano Estadual de Recursos Hídricos, não eximindo o usuário da obrigação do licenciamento ambiental do empreendimento ou atividade, não implica alienação parcial das águas, que são inalienáveis, mas o seu direito de uso, podendo ser revogada a qualquer tempo, se assim impuser o interesse público, poderá ser suspensão, parcial ou totalmente, por prazo indeterminado, sem prejuízo das sanções pecuniárias aplicáveis em decorrência de infrações à legislação aplicável (Amazonas, 2007).

O ato administrativo de concessão do direito real de superfície fluvial tem natureza de precariedade porque inexistente direito adquirido à outorga e de fronte o não cumprimento das obrigações posta na autorização e do licenciamento ambiental, deve-se proceder com a suspensão ou revogação definitiva.

O outorgado tem que cumprir todas exigências determinadas pela autoridade competente (outorgante) e leis específicas, conforme o Art. 20, *caput*, e inciso I, da Lei nº 3.167, de 27 de agosto de 2007.

Destaca-se que a outorga poderá ser gratuita ou onerosa a depender dos critérios para o instrumento da cobrança, essa que não será tratada na presente pesquisa. Por exemplo, o Poder Público pode outorgar gratuitamente se destinado o fluante exclusivamente para moradia.

Quanto ao ente estadual outorgante do uso das águas dominiais do Estado para a regularização dos flutuantes, será a cargo da Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SEMA), como órgão gestor e coordenador do Sistema Estadual de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SEGRH), e como órgão executor o Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas – IPAAM, responsável pela outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos de domínio do Estado e daqueles recebidos por delegação (Amazonas, 2007).

Quanto aos critérios técnicos de localização (latitude e longitude) e a quantidade de flutuantes que comporta o rio Tarumã-Açu, irá depender do plano de bacia referenciado no início deste estudo com o Termo de Convênio firmado para que possa subsidiar a autoridade outorgante.

Considerações finais

A regularização da outorga dos flutuantes fluviais é medida indispensável para que seja respeitado o direito real de propriedade com a sua função social e o uso adequado dos recursos hídricos no rio Tarumã-Açu, localizado na Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu.

A proteção e preservação ambiental sustentável integram a utilização do espaço hídrico que é disposto aos proprietários, moradores e demais usuários dos flutuantes, uma vez que existem pessoas que moram e há uma diversificada exploração comercial como bares, restaurantes e locação para temporada, são elementos que compõem a utilização dos rios por meio dos flutuantes fluviais. Para tanto, o controle dos efluentes e resíduos sólidos devem ser uma preocupação de todos os envolvidos, quer seja o particular proprietário, usuário e o Poder Público que detém o poder jurídico de outorga.

Os critérios de outorga são definidos pela União, sem que os Estados possam disciplinar e estabelecer de modo contrário à legislação federal. A lei estadual sobre recursos hídricos ampliou os critérios sem divergir da norma federal.

Os proprietários dos flutuantes fluviais possuem interesse na outorga para o uso conveniente das águas, essa que é um bem que tem função social indispensável para a vida de todas as formas e ao meio ambiente. A lei – federal e do Estado do Amazonas – sobre recursos hídricos contemplam a água como um bem de domínio público que significa disposta para todos, recurso natural limitado, dotado de valor econômico, em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais, e a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas.

Quanto ao uso múltiplo da água, para que exerça a função social de servir como um bem em prol da sociedade na diversidade, tem-se a disponibilidade para o consumo humano, comunidade aquática, irrigação, consumo animal, navegação, recreação, moradia e atividade empresarial no âmbito dos flutuantes fluviais.

A natureza jurídica da outorga consiste na concessão, autorização por parte do Poder Público no uso dos recursos hídricos. A outorga, como um dos instrumentos dos recursos hídricos, concede direitos aos interessados no uso adequado das águas superficiais e subterrâneas, primando pelo ambiente sustentável e no desenvolvimento socioeconômico.

A especificidade de não ser uma embarcação é essencial para classificar o bem flutuante como um bem imóvel, assim como é uma edificação que é separada do solo e que conserva a sua unidade quando removida para outro local, nos termos do Art. 81, I, do Código Civil de 2002.

Conceitua-se o flutuante fluvial como um bem fluvial imóvel edificado com estrutura para sobrenadar nas águas e que não incorpora o solo, com movimentação de acordo com o nível das águas, porém sem o intuito de transportar pessoas ou coisas, descaracterizando-o como embarcação, inserido em rios, igarapés, lagos, o qual serve como moradia, lazer, turismo e atividade empresarial para a realização de negócios jurídicos.

O regime de outorga de direitos de uso de recursos hídricos tem como objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o exercício dos direitos de acesso à água, destacando que estão sujeitos a essa concessão do uso para derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo, a extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo, o lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, o aproveitamento dos potenciais hidrelétricos, e, por fim, outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água.

O procedimento de outorga para que um flutuante fluvial seja posto sobre as águas dos rios na superfície de domínio do estado do Amazonas, primordialmente na bacia hidrográfica do rio Tarumã-Açu perpassa pela configuração do direito real de superfície fluvial, tendo o Poder Público como outorgante e o proprietário do flutuante como outorgado, no qual devem ser estabelecidos todos critérios posto no acordo pela autoridade competente, atentando-se para a preservação e proteção ambiental no controle dos resíduos sólidos e efluentes, além da obtenção do licenciamento ambiental.

A outorga deve ser feita ao proprietário do flutuante ou ao seu representante, pelo prazo máximo de 35 (trinta e cinco) anos, permitindo-se a prorrogação, sem que possa ser por prazo indeterminado, assim como não implica alienação parcial das águas, que são inalienáveis, com natureza de precariedade porque pode ser revogada a qualquer tempo quando deixar de cumprir os termos da concessão.

Por fim, quanto ao ente estadual outorgante do uso das águas dominiais do Estado para a regularização dos flutuantes, será a cargo da Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SEMA), como ente gestor, e do Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas – IPAAM, órgão executor e responsável pela outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos de domínio do Estado.

Referências

- AMAZONAS. *Decreto Estadual nº 29.249, de 19 de outubro 2009*. Disponível em: <https://www.sema.am.gov.br/comite-de-bacia-hidrografica-do-rio-taruma-acu>. Acesso em: 10 jul. 2025.
- AMAZONAS. *Lei nº 3.167, de 27 de agosto 2007*. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm. Acesso em: 13 jul. 2025.
- AZEVEDO, Á. V. *Direitos das coisas*. São Paulo: Atlas, 2014.
- BRASIL. *Lei nº 9.537, de 11 de dezembro de 1997*. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9537.htm. Acesso em: 13 jul. 2025.
- BRASIL. *Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001*. Estatuto das Cidades. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm. Acesso em: 12 jul. 2025.
- BRASIL. *Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002*. Institui o Código Civil de 2002. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/2002/L10406.htm. Acesso em: 10 jul. 2025.
- BRASIL. *Constituição Federal de 1988*. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm. Acesso em: 13 jul. 2025.
- BRASIL. *Decreto-Lei nº 4.657, de 4 de setembro de 1942*. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del4657compilado.htm. Acesso em: 10 jul. 2025.
- BRASIL. *Instrução Normativa nº 4, de 21 de junho de 2000*. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Disponível em: https://www.normasbrasil.com.br/norma/instrucao-normativa-4-2000_74194.html#:~:text=Aprova%20os%20procedimentos%20administrativos%20para,%C3%A1gua%20de%20dom%C3%ADnio%20da%20Uni%C3%A3o. Acesso em: 15 jun. 2025.

- BRASIL. *Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997*. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm. Acesso em: 20 jun. 2025.
- BÜHRING, R. *Estudo da dinâmica de uso do solo e cobertura vegetal e elaboração de uma proposta de zoneamento para a Bacia Hidrográfica do Tarumã, Manaus, Amazonas*. Dissertação (Mestre em Ciências Florestais e Ambientais. Área de concentração em Gestão ambiental e áreas protegidas) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2010.
- CARRERA-FERNANDEZ, J.; GARRIDO, R. J. *Economia dos Recursos Hídricos*. Salvador: Edufba, 2002.
- COSTA, J. S. *Relatório de situação bacia hidrográfica do Tarumã-Açu: transformações antrópicas e qualidade da água*. 1 ed. Manaus, AM: Ed. do Autor, 2020.
- DI PIETRO, Maria Sylvia Zanella. *Direito administrativo*. 27. ed., 2. impressão. São Paulo: Atlas, 2014. ISBN 978-85-224-8680-9.
- GILBERTONI, C. A. C. *Teoria e prática do Direito marítimo*. Rio de Janeiro: Renovar, 1998.
- GOMES, O. *Contratos*. Rio de Janeiro: Forense, 2001.
- MACHADO, P. A. L. *Direito de acesso à água*. São Paulo: Malheiros, 2018.
- MONTE, E. R. *Direito de superfície fluvial: uma resposta adequada à natureza jurídica e ao regime dos flutuantes*. Manaus (AM): Editora UEA, 2023.
- NORONHA, M. C. *Geoespaço: o espaço do Amazonas*. Manaus: Cecil Concorde, 2003.
- ROCHA, A. S. et al. *O Dom da produção acadêmica: manual de normalização e metodologia de pesquisa*. Belo Horizonte: Dom Helder, 2020.

Sistema de alerta do nível do rio Amazonas em Parintins no estado do Amazonas

Fábio Leite Dias
Joecila Santos da Silva

Introdução

A preocupação em salvaguardar vidas também esteve entre os objetivos dos primeiros sistemas de avisos de tempestades desenvolvidos e implementados ainda no século XIX. Contudo, foi apenas no início da Segunda Guerra Mundial que, diante da real ameaça de bombardeio aéreo da Alemanha, implementou-se na Inglaterra, pela primeira vez, um sistema de detecção de eventos, comunicação e tomada de decisão baseado em processos e protocolos pré-estabelecidos e aplicados exclusivamente para a proteção e Defesa Civil, conforme demonstrado na Figura 1.

Figura 1 - Operadora de radar durante a Segunda Guerra Mundial



Fonte: Brasil (2022)

Na esteira da chamada “Corrida Espacial” dos anos 1960, disputada entre as duas superpotências da época (Estados Unidos e União Soviética), que ensejou significativos avanços em tecnologias de observação da Terra, a 25ª Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU), ocorrida em 1970, já apontava para a necessidade da aplicação da tecnologia e pesquisa científica para a prevenção de desastres. Tais recursos incluíam arranjos para divulgar, efetivamente, a todos os países, os frutos da pesquisa de satélites e outras inovações sofisticadas, visando ao fortalecimento da cooperação internacional para determinar as causas e manifestações antecipadas de desastres iminentes e o desenvolvimento e melhorias de Sistemas de Monitoramento e Alerta de Desastres (ONU, 1970).

No entanto, até a década de 1970, as instituições dedicavam-se, na prática, quase exclusivamente a responder e a reduzir os efeitos dos desastres. A mudança de paradigma começa na década de 1980, quando, no período entre 1983 e 1985, as severas secas que atingiram a Etiópia levaram à morte cerca de 1,2 milhões de pessoas devido à fome generalizada (Figura 2). A crise no país africano chocou o mundo e chamou a atenção da comunidade internacional para a questão da produção de alimentos e a insegurança alimentar em diversos países.

Figura 2 - Seca e Fome na Etiópia

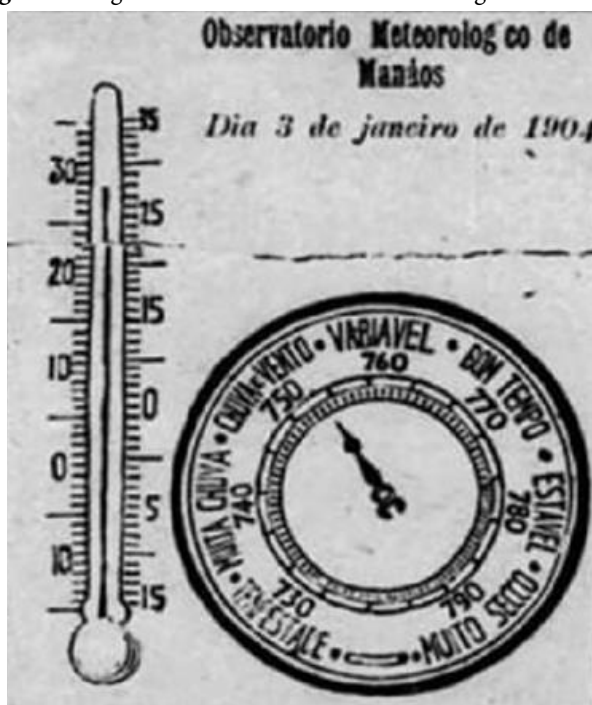


Fonte: Brasil (2022)

A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), um dos primeiros sistemas globais de informação e alerta antecipado, foi desenvolvida com o intuito de emitir, regularmente, relatórios analíticos e objetivos sobre as condições ambientais vigentes e fornecer avisos antecipados de crises alimentares iminentes em nível nacional ou regional, utilizando ferramentas de observação da Terra e monitoramento de preços globais. Foi quando se percebeu que o investimento em ações de preparação poderia reduzir os impactos de desastres e que alguns deles poderiam até ser evitados com ações de prevenção.

No Amazonas, em vista das informações levantadas no curso da pesquisa, presume-se o Observatório Meteorológico de Manaus, de 1896, como sendo o primeiro órgão dotado da atribuição de monitorar os eventos climáticos (Figura 3). O período de fundação da referida entidade coincide com a áurea fase da economia da borracha (1890-1910) vivenciada pela capital do Amazonas, Manaus.

Figura 3 - Logomarca do Observatório Meteorológico de Manaus



Fonte: Observatório (1953)

A chuva no dia de ontem foi maior dos últimos anos. De acordo com dados fornecidos pelo Posto Meteorológico a cargo dos Padres Salesianos, à rua Duque de Caxias ela pode ser traduzida nos seguintes algarismos: Duração 12h, precipitação 192 mm. Total de precipitação pluviométrica em todo o mês de março: 435,9 milímetros (Manaus, 1967).

Na década de 60, o serviço de pluviometria de Manaus tinha como executores os padres salesianos e ficava localizado na Escola Domingo Sávio, sediada em prédio ainda atualmente existente, ao lado da igreja São José Operário.

Em Parintins, os primeiros relatos de monitoramento dos eventos climáticos foram elaborados pelos japoneses na década de 30, na região conhecida como Vila Amazônia, conforme demonstrado na Figura 4.

Figura 4 - Estação Meteorológica - Vila Amazônia, em Parintins/AM



Fonte: Rede Amazônica (2021)

O povo japonês estabeleceu-se na região, com o propósito de implementar a cultura da juta, atividade para qual o conhecimento das variáveis climáticas fazia-se fundamental.

A Estação Linimétrica de Parintins (Figura 5), implementada em 1967, por muitos anos funcionou no galpão do Boi Garantindo. Em 19/11/2022, por questões de segurança (instabilidade da área, desmoronamento), foi reinstalada no porto do Departamento Nacional de Infraestrutura de

Transportes (DNIT), pela equipe de hidrologia do Serviço Geológico do Brasil/Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (SGB/CPRM), gerando dessa forma dados confiáveis.

Figura 5 - Estação Linimétrica de Parintins/AM, em 1998



Fonte: Serviço Geológico do Brasil. Acervo institucional

Nesse contexto, cabível entender as enchentes ou inundações graduais como características inerentes às grandes bacias e aos rios de planície, conforme preceitua o IBGE (2017).

Em Parintins, localizada no médio Rio Amazonas, encontra-se instalada a Estação Hidro meteorológica Nº 16350002, da RHN.

A primeira grande cheia ocorrida no estado do Amazonas, conforme registros jornalísticos da época (Figura 6), aconteceu em 1953. Motivado pelo impacto provocado pelo fenômeno, o presidente Getúlio Vargas, por meio do Decreto Nº 32.702, de 04 de maio de 1953, criou a Comissão Executiva do Socorro às populações atingidas pela enchente do Rio Amazonas e seus tributários, cuja finalidade era prestar auxílio às populações atingidas, doando-lhes alimentos.

Figura 6 - Registro da cheia de 1953, em Parintins/AM



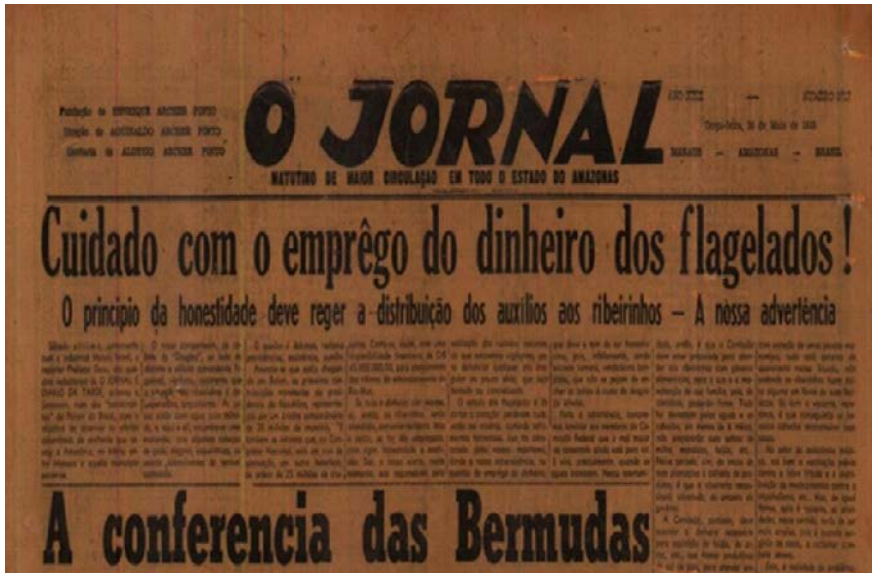
Fonte: Amazonas (1953)

De acordo com Waldemar Cardoso (1953), designado pelo Ministério da Agricultura para acompanhar e relatar a situação provocada pela enchente daquele ano e as providências adotadas, cerca de 90% da lavoura e pecuária foram afetados, sendo os municípios de Coari, Tefé, Codajás, Manacapuru, Manaus, Itacoatiara, Itapiranga, Urucurituba, Parintins, Maués, Barreirinha e Borba, Urucará os mais prejudicados.

Em decorrência da cheia, cerca de 62.500 pessoas foram atingidas em todo o Estado, onde o setor avícola foi comprometido em 80% e a cultura da juta, praticamente destruída com profundo prejuízo para os jaticultores. Situação análoga foi vivenciada pelos arrozais de várzea, mandiocais e bananais (Cardoso, 1953).

Naquela época, conforme demonstrado na Figura 7, a preocupação com o uso devido dos recursos públicos era uma realidade, tal qual acontece atualmente.

Figura 7 - Registro jornalístico da cheia de 1953



Fonte: O Jornal (1953)

Em 30 de maio de 2021, consoante dados da ANA (s.d.), Parintins registrou a maior cota da série histórica, quando atingiu a marca de 15,18m em relação ao nível médio dos mares. Segundo a Defesa Civil Municipal, cerca de 1.692 pessoas foram impactadas na zona urbana e 7.137 na zona rural. No dia 12 de maio de 2021, exatos 18 dias antes do pico da cheia, por meio do Decreto Nº 91/2021, a Prefeitura Municipal de Parintins declarou situação de emergência, pelo prazo de 90 dias, com previsão de prorrogação por igual período, em vista “do desastre classificado e codificado como INUNDAÇÃO – COBRADE 1.2.1.0.0” (Parintins, 2021).

Interessante perceber que, decorridas quase 07 décadas, pouca coisa mudou no tocante a providências adotadas pelo Poder Público, que se limita, entre outros, à construção de pontes e pagamento de auxílio financeiro, medidas, não raro, executadas com fins políticos. O que se observa, entre os gestores públicos, é a ausência de intenção de criar medidas preventivas para minimizar os impactos à população mais vulnerável.

A Lei Nº 9.433/1997 respalda a execução da presente pesquisa, mormente no tocante aos objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos, bem como aos instrumentos desta, conforme segue:

Art. 2º São objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos:
[...]

III - a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

[...]

Art. 5º São instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos: I - os Planos de Recursos Hídricos;

VI – o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos; [...] (Brasil, 1997).

É de fundamental importância para a gestão dos recursos hídricos conhecer as informações relacionadas ao comportamento dos corpos de água e das bacias hidrográficas, uma vez que estas constituem unidade territorial para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei Nº 9.433/1997, e para a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Destaca-se o conhecimento do nível de água que determinado rio atinge quando começa a causar algum tipo de impacto à população local, com perda da capacidade de resposta frente a um desastre hidrológico, registrado em estações linimétricas, por meio de redes de monitoramento hidrológico.

O alerta/aviso antecipado é o fornecimento de informações, por intermédio de pessoas e instituições identificadas, para que indivíduos expostos a uma ameaça tomem ações em tempo suficiente para evitar ou reduzir seus riscos e prepararem-se para uma resposta efetiva, de modo que se possa elencar prioridades de estratégia para mitigação e prevenção (Wannous; Velasquez, 2017).

Para a operacionalização dos sistemas de alerta, é importante o conhecimento dos impactos associados à variação dos níveis dos rios dentro de cada município, por meio das chamadas cotas de referência. O estabelecimento das cotas de referência requer informações locais que dependem tanto do comportamento dos rios, quanto da distribuição da população em relação aos corpos d'água e da capacidade de resposta dos municípios. Tais dados revestem-se de grande importância para tomada de decisão (SGB, 2021).

Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos

O Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) é um dos instrumentos de gestão previsto na Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei Nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, conhecida como Lei das Águas. É um amplo sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos, que serve como norteador no processo de gestão de recursos hídricos.

Dados

Dados Primários

Foram utilizados dados de receptores do GNSS de dupla frequência L1 e L2, Modelos GTR-G2 e G2-TECHGEO para obtenção da cota normal da estação linimétrica de Parintins.

Dados Secundários

Foram utilizadas as medidas de nível de água da seção de regras linimétricas da Estação de Parintins Nº 16350002, obtidas da RHN, disponível no portal digital Hidroweb da ANA, no período de 01/1974 a 09/2021.

Métodos

Cota Ortométrica da Estação Linimétrica de Parintins

Os dados ortométricos da RN Nº 01 8881 e da estação linimétrica de Parintins, localizada no Bairro da Francesa, foram obtidos com o auxílio do GNSS, utilizando os receptores de dupla frequência L1 e L2, modelos GTR-G2 e G2-TECHGEO, que realizou o rastreamento do GNSS.

Na sequência, foi possível transformar a cota arbitrária em ortométrica ou vice-versa, utilizando-se o modelo geoidal hgeoHNOR IMBITUBA, conforme a equação 1.

$$Cort = ca + 5,709 \text{ (m)} \quad (1)$$

Em que Cort é a cota ortométrica, Ca é a cota arbitrária e 5,709 representa a constante de conversão, a qual é obtida por meio da subtração da cota normal do RN-01 pela cota arbitrária do RN-01, que corresponde a 8,881m.

Definição da Cotas de Referência do Sistema de Alerta

As cotas de referência (alerta, inundação, inundação severa) serviram como parâmetros no uso dos métodos utilizados: probabilístico, curva de permanência e regressão linear.

Cota de Alerta

Estimou-se qual cota, ou intervalo de cotas, causa os primeiros danos ocasionados pelas cheias em Parintins, por meio da observação de campo e informação da Defesa Civil Municipal.

Cota de Inundação

Na ausência de informações mais detalhadas por parte do município de Parintins, foi estimada a cota ou intervalo de cotas com possibilidade elevada de ocorrência de inundação, considerando-se um tempo adequado para a preparação e resposta do município ao evento, por meio da observação de campo e informação da Defesa Civil Municipal.

Cota de Inundação Severa

Servindo-se das observações de campo e informação da Defesa Civil Municipal, constatou-se qual cota, ou intervalo de cotas, causa as inundações que promovem danos severos.

Método da Regressão Linear Simples

Na regressão linear simples, a cota antecedente é a variável preditora ou independente, e a cota máxima é a variável prevista. Então, dependendo do nível de correlação, o modelo pode ser utilizado para previsões de longo prazo. A considerar como reta a linha teórica de regressão, a função entre X e Y pode ser descrita conforme a equação 1 (Naghetini; Pinto, 2007).

$$Y(x) = \alpha + \beta.X \quad (2)$$

Onde,

Y: variável dependente, cota máxima estimada em função de x;

X: variável independente cota;

α e β : parâmetros do modelo e denota os erros ou resíduos da regressão.

Resultados e discussão

Cota Ortométrica da Estação Linimétrica de Parintins

A cota ortométrica de 14,59m para o RN-01, aplicando-se a equação 1, foram obtidos os valores das cotas ortométricas para todos os registros da estação linimétrica N° 16350002, em Parintins/AM, chamados, doravante, de cotas.

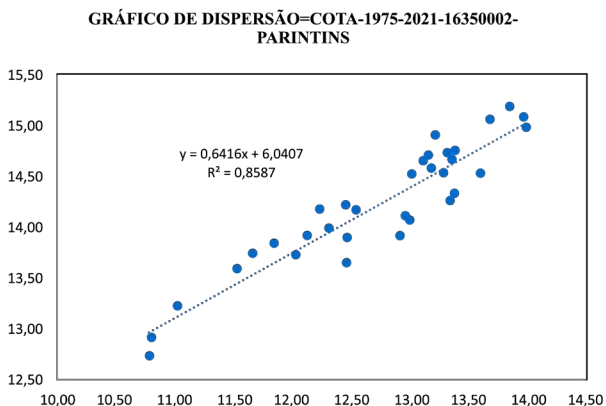
Método da Regressão Linear

Tomando-se por base a data de 31/03 da série histórica e aplicando-se as equações 2, foram obtidos o intercepto e o coeficiente angular ou inclinação da reta, tendo-se uma correlação R de 0,93, o que possibilitou encontrar o melhor ajuste, deduzindo-se a relação que segue:

$$Y = 0,6416X + 6,0407$$

As informações das variáveis relativas à cota do dia 31/03 e o pico de cheia do respectivo ano mostram uma dispersão ao longo de uma reta imaginária, o que lhe atribui comportamento linear. É o que mostra o Gráfico 1.

Gráfico 1 - Dispersão - Variável do Dia 31/03, relacionada com o Pico de Cheia - 1975-2021



Considerações finais

O trabalho gerou como produto a fundamentação da inserção do município de Parintins no Sistema de Alerta de Cheia do Amazonas do Serviço Geológico do Brasil-CPRM (Empresa vinculado ao Ministério de Minas e Energia) sendo o 1º município fora da região metropolitana de Manaus a ser inserido nesse fundamental serviço oferecido à sociedade (Figura 8).

Figura 8 - Segundo Alerta de Cheia-Serviço Geológico do Brasil



Fonte: Serviço Geológico do Brasil (2023)

Referências

- AMAZONAS. *Comissão Executiva de Socorro as Populações Atingidas pela Enchente do Rio Amazonas e seus Tributários*. Manaus: Governo do Estado, 1953.
- AMAZONAS. *Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997*. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, quemodificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm. Acesso em: 10 ago. 2021.
- ANA. *Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico*. Hidroweb v.3.2.7. [s.d.]. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>. Acesso em: 15 jul. 2021.
- ANA. *Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Rede Hidrometeorológica Nacional*. 2022. Disponível em: <https://dadosabertos.ana.gov.br/maps/4cb98636c3f0461694fac8d8160b4e91/about>. Acesso em: 04 jan. 2023.
- CARDOSO, W. *Relatório: Comissão Executiva de Socorro as Populações Atingidas pela Enchente do Rio Amazonas e seus Tributários*. Manaus: Estado do Amazonas, 1953.
- CUIDADO com o emprêgo do dinheiro dos flagelados!. *O Jornal*, Manaus, 26 maio 1953.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Manaus Panorama*. [s.d.b]. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/manaus/panorama>. Acesso em: 28 fev. 2023.
- INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. *Alinhamento Estratégico 2021-2030*. Brasília: INMET, 2021. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/planejamento>. Acesso em: 24 jan. 2023.
- INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. *Sobre o INMET*. [s.d.]. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/sobre>. Acesso em: 24 jan. 2023.
- MANAUS sente drama das chuvas. *Jornal do Commercio*, Manaus, 09 abr. 1967.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. A. *Hidrologia Estatística*. Belo Horizonte: CPRM, 2007.
- OBSERVATÓRIO Meteorológico de Manaus. *O Jornal*, Manaus, 28 maio 1953.
- ONU. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Década Internacional para Redução de Desastres Naturais*: resolução adotada pela Assembléia Geral. 1991. Disponível em: <https://digitallibrary.un.org/record/105590>. Acesso em: 30 jan. 2023.
- ONU. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento*. Estratégias locais de governança para redução de desastres são tema do Dia Internacional para Redução do Risco de Desastres em 2020. Disponível em: <https://www.undp.org/pt/brazil/news/estrat%C3%A9gias-locais-de-governan%C3%A7a>

para-redu%C3%A7%C3%A3o-de-desastres-s%C3%A3o-tema-do-dia-internacional-para-redu%C3%A7%C3%A3o-do-risco-de-desastres-em-2020. Acesso em: 26 jan. 2023.

ONU. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Resoluções adotadas pela Assembleia Geral em sua 25ª sessão*. 1970. Disponível em: <https://research.un.org/en/docs/ga/quick/regular/25>. Acesso em: 30 jan. 2023.

PARINTINS. *Coordenadoria Municipal de Defesa Civil*. Parecer Técnico Nº 1, de 12 de maio de 2021. Parintins: Defesa Civil, 2021.

PARINTINS. *Decreto Nº 91/2021 – PGMP*. Declara situação de emergência no Município de Parintins em razão do desastre classificado e codificado como Inundação – Cobrade Nº 1.2.1.0 e dá outras providências. Disponível em: <https://files.parintins.am.gov.br/legislacao/578.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2021.

REDE AMAZÔNICA. *Programa Jornal do Amazonas*. Manaus, 19 out. 2021.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. *Boletim de Monitoramento Hidrometeorológico da Amazônia Ocidental*. 2022. Disponível em https://www.cprm.gov.br/sace/boletins/Amazonas/20220107_17-20220107%20-%20180010.pdf. Acesso em: 12 abr. 2023.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. *Relatório para Estabelecimento de Cotas de Referência para Alerta Hidrológico em Municípios da Amazônia Ocidental*. Manaus: SGB, 2021.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. *Rede Hidrometeorológica Nacional – RHN*. [s.d.]. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique//Apresentacao/Rede-Hidrometeorologica-Nacional---RHN-304.html>. Acesso em: 10 jan. 2022.

WANNOUS, C.; VELASQUEZ, G. United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR)—UNISDR's Contribution to Science and Technology for Disaster Risk Reduction and the Role of the International Consortium on Landslides (ICL). In: SASSA, K.; MIKOS, M.; YIN, Y. (orgs.). *Advancing Culture of Living with Landslides*. Ljubljana, Slovenia: WLF, 2017. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-59469-9_6. Acesso em: 23 jan. 2023.

Índice de qualidade de água para o aquífero Alter do Chão, em Parintins-AM (IQAS-P)

Francielen Alves Pereira
Rafael Jovito Souza

Introdução

No estado do Amazonas, as águas subterrâneas são responsáveis pelo abastecimento público de água potável de grande parte da população, apesar da quantidade abundante de águas superficiais na região norte do Brasil.

Estima-se que questões fundamentais como a qualidade das águas, custos da captação e tratamento sejam motivadoras da exploração das águas subterrâneas na região.

No entanto, vários estudos ao longo dos anos demonstram que corpos hídricos subterrâneos, antes vistos como um recurso livre de contaminações, hoje enfrentam alterações na qualidade (Costa; Waichman; Santos, 2004; Marmos; Aguiar, 2005; Rocha; Horbe, 2006; Silva; Bonotto, 2006; Duarte *et al.*, 2016; Duarte *et al.*, 2018; Pita *et al.*, 2018; Duarte *et al.*, 2019; Marmos; Aguiar, 2019; Teixeira, 2019). Sendo necessário a realização de monitoramento contínuo direcionados a detectar quaisquer anormalidades.

Porém, a rede de monitoramento qualitativo continuado da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), através da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) opera somente com os parâmetros de oxigênio dissolvido, temperatura, pH e condutividade, utilizando equipamento de medição *in loco*, sendo estes insuficientes para avaliar a qualidade da água, principalmente aqueles que indicam possível poluição decorrente da atividade antrópica. Além do mais, as coletas e análises são realizadas de forma não contínua, mostrando apenas a situação da qualidade no momento da coleta da amostra, não representando o comportamento qualitativo da água nas várias situações hidrológicas ocorrentes.

Dentro deste contexto, são necessárias ferramentas que simplifiquem os trabalhos de monitoramento das águas subterrâneas. Destaca-se aqui os índices de qualidade de água, ferramenta matemática muito utilizada no monitoramento das águas devido ao seu método simplificado de avaliação de

qualidade. Uma das suas principais vantagens é a facilidade de comunicação com o público não técnico e o fato de representar uma média de diversas variáveis em um único número, combinando unidades de medidas diferentes em uma única escala (Prado; Lullo, 2007).

Dessa forma, enquanto método simplificado de avaliação da qualidade de água, pretendeu-se utilizar um índice de qualidade de água que seja aplicado na cidade de Parintins (AM) como discussão para o gerenciamento dos corpos hídricos subterrâneos.

Portanto, este estudo teve como objetivo elaborar um Índice de Qualidade de Água para o aquífero Alter do Chão, na cidade de Parintins, AM. De modo, que foram definidos parâmetros adequados para o Índice, selecionados os métodos e técnicas para a estruturação, e posteriormente aplicado nas águas subterrâneas da cidade de Parintins.

A sua metodologia aborda uma série de etapas definidas sequencialmente pela seleção dos parâmetros (onde se considera fatores específicos da região e demais critérios pré- estabelecidos), elaboração de subíndices, atribuição de pesos, escolha do modelo matemático e aplicação. A partir disso, construiu-se o IQAS-P, um índice composto por sete parâmetros que visa realizar a classificação das águas subterrâneas em faixas de categorias que vão de ótima a imprópria.

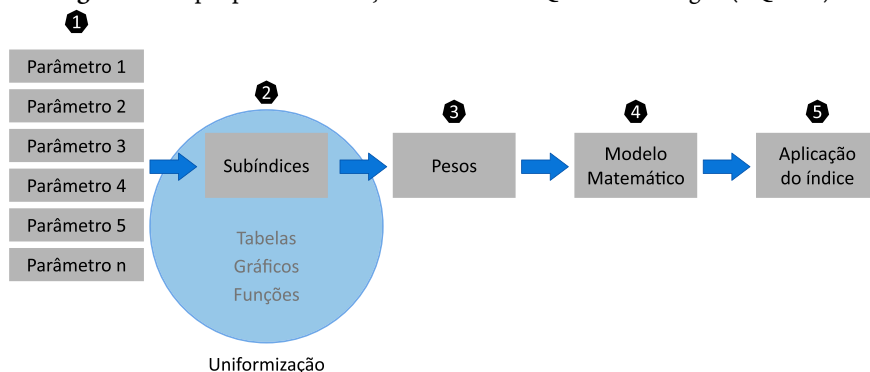
Foram utilizados dados analíticos de 23 poços tubulares da cidade, deste quantitativo, 35% (8) foram considerados como boa qualidade, 4% (1) correspondeu a faixa que representa a qualidade de água aceitável e 61% (14) equivalem a qualidade de água imprópria.

Como parte essencial que permitirá contribuir para discussões futuras sobre este instrumento de gestão, espera-se que o índice de qualidade de água, criado com vistas às necessidades regionais amazônicas, contribua para gestão de recursos hídricos no Estado e região.

A Construção do IQAS-P

A construção do índice a partir de uma série de etapas definidas sequencialmente por: seleção dos parâmetros; elaboração dos subíndices; atribuição de pesos; escolha do modelo matemático e; aplicação do índice. As etapas podem ser visualizadas na Figura 1.

Figura 1 - Etapas para a elaboração do índice de Qualidade de Água (IQAS-P)



Fonte: Próprio autor (2022)

A seleção dos parâmetros

A maioria dos índices já feitos utilizaram a técnica Delphi para a escolha dos parâmetros. Essa técnica consiste em consultas a especialistas por meio de questionários. Estes por sua vez, selecionam os parâmetros que julgam ser necessários e/ou significativos. Almeida (2012) contribui ao argumentar que, na tarefa de selecionar os parâmetros, deve-se ter cuidado, atenção, experiência e habilidade para realizar ajustes necessários e assegurar a inclusão dos parâmetros mais representativos, sem esquecer o comprometimento com o resultado da escolha.

Na seleção dos parâmetros para o IQAS-P, buscou-se considerar uma série de critérios de escolhas, como mostra o Quadro 1.

Quadro 1 - Parâmetros selecionados para o IQAS-P e justificativas de escolha

CRITÉRIOS DE ESCOLHA	PARÂMETROS						
	AL	NH3	CL-	C.T	C.E	NO3	PH
Característica hidrogeológica do aquífero	x						x
Parâmetros frequentemente analisados no monitoramento	x	x	x		x	x	x
Parâmetros frequentemente se apresentam acima* do VMP (valor máximo permitido) por lei.	x	x		x		x	x
Parâmetros de origem possível de contaminação		x	x			x	
Parâmetros que tiveram alterações recentes e significativas nas concentrações, mesmo que não tenham apresentado valores máximos permitidos			x		x	x	
Uso preponderante da água	x	x	x	x		x	
Parâmetros com base no padrão de potabilidade da água	x	x	x	x		x	
Exigência mínima obrigatória da Resolução 396/2008 do Conama						x	

Fonte: Próprio autor (2022)

A partir dos critérios mencionados foram escolhidos 7 parâmetros com o objetivo de compor o índice de qualidade de água para a cidade. São eles:

1. Alumínio (Al);
2. Amônia (NH₃);
3. Cloreto (Cl⁻);
4. Coliformes totais (C.T);
5. Condutividade elétrica (C.E);
6. Nitrato (NO₃);
7. pH.

Elaboração dos subíndices

Uma vez selecionados os parâmetros que comporão o indicador, se faz necessário uma etapa de uniformização das informações para que se possa agregá-las na composição final do indicador (Bollmann; Marques, 2000). Esta etapa se faz necessário devido às escalas dos parâmetros serem distintas. Para isso são construídos subíndices, para que as unidades e as faixas de concentrações dos parâmetros sejam expressas em uma única escala (Almeida, 2012). Daí, a importância do traçado das curvas de qualidade. Por meio delas, é possível adquirir as funções matemáticas individuais dos parâmetros, sendo necessário realizar três procedimentos:

- I) Elaboração de tabelas,
- II) Construção dos gráficos de curvas e
- III) Funções dos subíndices.

As Tabelas 1, 2 e 3 mostram os intervalos de qualidade, concentração e notas dos parâmetros. Além da atribuição de valor máximo e mínimo, foi necessário a criação de valores intermediários em complemento a tabela de categoria.

Tabela 1 - Intervalos de qualidade, Concentração (Conc.) e Notas do Alumínio, Amônia, Cloreto, Condutividade Elétrica (C.E) e Nitrato

PARÂMETRO	ALUMÍNIO		AMÔNIA		CLORETO		C.E		NITRATO	
Intervalo	Conc	Nota	Conc	Nota	Conc	Nota	Conc	Nota	Conc	Nota
80-100	0,01	100	0,01	100	0,3	100	16	100	0,53	100
52-79	-	-	-	-	50	80	100	80	2,5	80
37-51	0,1	52	1,0	52	200	52	600	52	7,0	52
0-36	0,2	37	1,2	37	250	37	1000	37	10	37
	2,9	19	2,3	19	350	19	1500	19	20	19

Fonte: Próprio autor (2022)

Tabela 2 - Intervalos de qualidade, concentração (Conc.) e notas do pH

PARÂMETRO	PH	
Intervalo de Quazlidade	Conc.	Nota
80-100	-	-
52-79	6	53
	7	76
	8	76
	9	60
37-51	5	42
0-36	3	20
	4	31
	10	30
	11	23
	2	9
	12	16
	13	9
	14	2

Fonte: Próprio autor (2022)

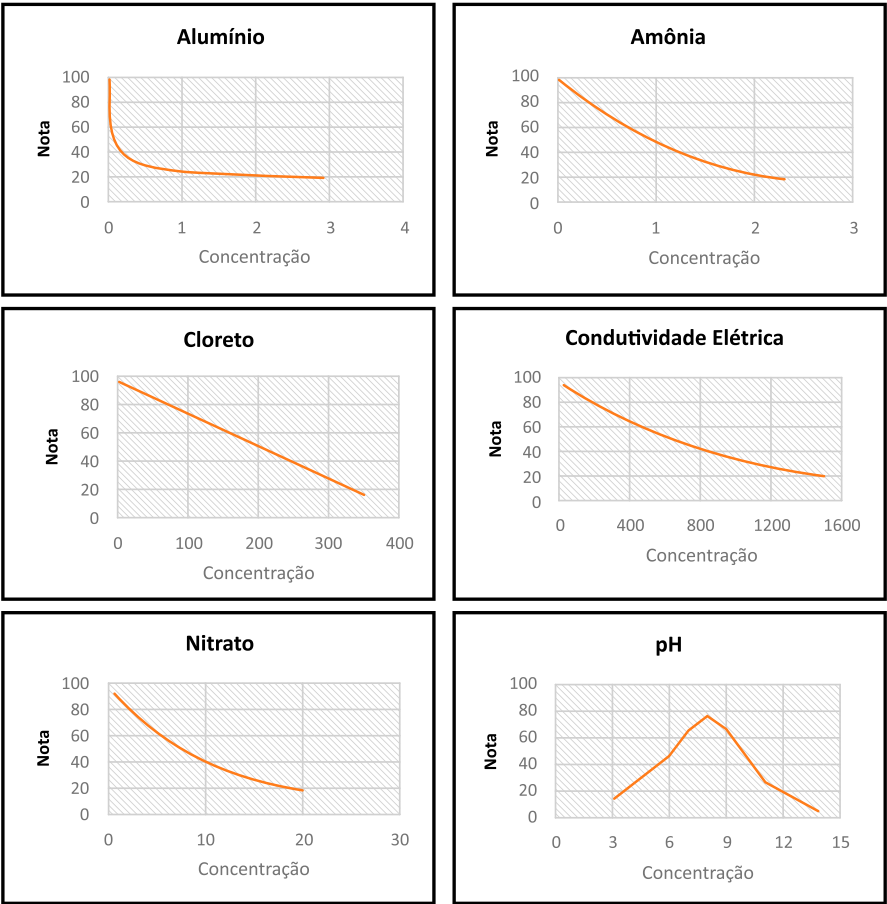
Tabela 3 - Intervalos de qualidade, concentração (Conc.) e notas para Coliformes Totais

PARÂMETRO	COLIFORMES TOTAIS	
Intervalo de Qualidade	Conc.	Nota
100	$x < 0$	100
0	$x > 0$	19

Fonte: Próprio autor (2022)

Geradas através das notas e concentrações de cada parâmetro as curvas de qualidade representam graficamente as suas variações. Elas podem se apresentar tanto lineares quanto não lineares, e até mesmo mistas (Figura 2).

Figura 2 - Curvas de qualidade dos Parâmetros



Fonte: Próprio autor (2022)

A Tabela 4 apresenta as funções para cada parâmetro, geradas a partir da linha de tendência, juntamente com os intervalos de concentrações e R2.

Tabela 4 - Funções dos subíndices

PARÂMETRO	FUNÇÃO	INTERVALOS DE CONCENTRAÇÃO	R ²
Alumínio	$y = 25,225x - 0,295$	$\geq 0,01 \text{ mg/L}$	0,995
Amônia	$y = 99,799e - 0,732x$	-	0,9901
Cloreto	$y = -0,2249x + 95,854$	-	0,9881
Condutividade Elétrica	$y = 96,898e - 0,001x$	-	0,9802
Coliformes Totais	$y = 100 \text{ se } x < 0$ $y = 19 \text{ se } x > 0$	-	-
Nitrato	$y = 97,561e - 0,085x$	-	0,989
pH	$y = 11.1x - 13.6$	$2 \leq e \leq 6$	1
	$y = -8x + 120x - 372$	$7 \leq e \leq 9$	1
	$y = -7x + 100$	$10 \leq e \leq 14$	1

Fonte: Próprio autor (2022)

Atribuição de Pesos

Com base nas categorias de relevância de Muito Importante, Importante e Relativamente Importante descritas no Quadro 2, foram atribuídos pesos aos parâmetros e grupos de alteração.

Quadro 2 - Categorias de relevância dos parâmetros

CATEGORIA DE RELEVÂNCIA	PARÂMETRO	UNIDADE DE MEDIDA
Muito importante	Nitrato	mg/L
Muito Importante	Alumínio	mg/L
Importante	Cloreto	mg/L
Importante	Coliformes totais	NMP/100mL
Importante	Amônia	mg/L
Importante	Ph	-
Relativamente Importante	Condutividade elétrica	µS/cm

Fonte: Próprio autor (2022)

O Quadro 3 resume os pesos dados aos parâmetros do IQAS-P de acordo com a relevância de categorias. Na distribuição de pesos considera-se que a soma total dos valores por grupo de alteração seja igual a 1. Isto também se aplica a soma dos pesos que ponderam os parâmetros do grupo de mineralização e salinidade, por ser o único grupo composto por mais de um parâmetro.

Quadro 3 - Grupos de alteração do IQAS-P para a cidade de Parintins-AM, e seus respectivos pesos

GRUPO DE ALTERAÇÃO		PARÂMETRO		PESO (W)
NIT	Nitrato	Nitrato		0,28
MI	Microrganismos	Coliformes totais		0,12
AL	Micro poluente mineral	Alumínio		0,28
NG	Nitrogenado (exceto nitrato)	Amônia		0,12
MS	Mineralização e salinidade	Cloreto	0,5	0,20
		pH	0,4	
		Condutividade elétrica	0,1	
Total				1,0

Fonte: Próprio autor (2022)

O Modelo Matemático

O modelo matemático do presente índice se apresenta como um produto das notas de qualidade da água para cada grupo de alteração, elevado ao seu respectivo peso, como exemplificado na equação 1.

$$IQAS-P = N_{G1}^{w1} * N_{G2}^{w2} * N_{G3}^{w3} * N_{G4}^{w4} * N_{G5}^{w5} \tag{1}$$

Onde:
N = Nota de qualidade
G = Grupo de Alteração
w = Peso do grupo de Alteração

Substituindo os parâmetros da equação matemática pelos grupos de alteração, têm-se o modelo matemático algébrico do IQAS-P:

$$IQAS-P = N_{AL}^{0,28} * N_{NG}^{0,12} * N_{NIT}^{0,28} * N_{MI}^{0,12} * N_{MS}^{0,20} \tag{2}$$

O grupo de alteração Mineralização e Salinidade, por compor de mais de um parâmetro, seguiu com as atribuições exemplificadas na equação 19, com base nos pesos atribuídos.

$$_{0,5} N_{MS} = N_{_{0,4} \ 0} * N_{PH} * _{0,1} N_{CLORET} \ E \ CONDUTIVIDAD \tag{3}$$

A Aplicação do IQAS-P

As amostras utilizadas na aplicação do índice fazem parte do estudo técnico realizado pela CPRM, que foram coletadas no período de vazante dos rios, especificamente nos dias 19 a 27 de agosto de 2019.

Utilizando a tabela de categoria elaborada para categorizar a qualidade da água do aquífero, obtivemos os valores para cada ponto de coleta, enquadrados como ótimo a imprópria para o consumo de acordo com a escala de categoria do índice (Tabela 5).

Tabela 5 - Escala de categoria do IQAS-P

NOTAS	CATEGORIA	DESCRIÇÃO
80 – 100	Ótima	Qualidade próxima às características naturais ou níveis desejáveis. Adequada para o abastecimento público.
52 – 79	Boa	Boa qualidade de água. Adequada para o abastecimento público.
37 – 51	Aceitável	Apresenta variação nos parâmetros, indicando que a qualidade da água está ameaçada ou comprometida. Necessita de atenção ou poderá perder a qualidade.
0 – 36	Imprópria	Perda na qualidade de água subterrânea. Necessita de tratamento urgente. Inadequada para o abastecimento público.

Fonte: Próprio autor (2022)

Na tabela 6 se encontram os valores das notas de qualidade dos grupos de alteração restantes (micro poluente mineral, nitrogenado, exceto nitrato, nitrato e microrganismos).

O IQAS-P demonstra que as águas subterrâneas do aquífero Alter do Chão em Parintins estão na faixa de 7 a 79, sendo a maioria dos poços identificados como qualidade imprópria. Mesmo com as características que exprimem boa qualidade, os subíndices de mineralização e salinidade demonstram valores vão de 54 a 65, a uma distância significativa da qualidade de águas naturais ou níveis desejáveis.

Tabela 6 - Cálculo do IQAS-P para Avaliação da Qualidade de Água do aquífero Alter do Chão em Parintins-AM

PONTOS DE AMOSTRAGEM	SUBÍNDICES					IQAS-P	CATEGORIA
	N_{AL}	N_{NG}	N_{NIT}	N_{MI}	N_{MS}		
PT-01	37	97	40	100	63	53	Boa
PT-03	22	98	5	100	57	25	Imprópria
PT-04	20	18	1	100	54	14	Imprópria
PT-05	22	17	4	100	56	19	Imprópria
PT-06	53	97	65	100	60	67	Boa
PT-21	33	83	11	100	60	35	Imprópria
Reservat. Bomb I	27	64	5	100	58	25	Imprópria
PT-07	28	75	8	100	58	29	Imprópria
PT-08	20	77	0	100	54	10	Imprópria
PT-09	21	29	2	100	57	16	Imprópria
PT-10	27	65	14	100	58	34	Imprópria
PT-11	22	60	2	100	57	19	Imprópria
PT-12	55	99	57	100	59	65	Boa
Reservat. Bomb II	23	55	3	100	57	20	Imprópria
PT-13	28	99	9	100	60	32	Imprópria

PT-14	36	99	34	100	61	51	Aceitável
PT-15	48	99	69	100	59	66	Boa
PT-16	46	99	63	100	59	64	Boa
PT-17	53	96	58	100	59	64	Boa
PT-18	65	91	74	100	59	72	Boa
PT-19	19	56	0	100	54	7	Imprópria
PT-20	27	84	3	100	56	22	Imprópria
Vila Cristina	71	99	85	100	65	79	Boa

Fonte: Próprio autor (2022)

Dos 23 pontos de amostragem, 35% (8) foram considerados como boa qualidade de água, 4% (1) para a faixa que representa a qualidade de água aceitável e 61% (14) equivalem à qualidade de água imprópria.

Aponta-se um aspecto importante na utilização do IQAS-P se comparado aos estudos feitos pela CPRM, onde se utilizou um quantitativo de 42 variáveis e foram geradas conclusões similares às deste índice, que utilizou apenas 7 parâmetros com pesos pré-estabelecidos. Campanhas com o grau de complexidade realizado pela CPRM envolvem alto custo em recursos humanos e financeiros, o que inviabiliza um monitoramento periódico. Campanhas com esta envergadura foram realizadas apenas em 2005 e 2019. A utilização de índices mais simples não descarta a necessidade de um diagnóstico mais completo como os realizados pela CPRM, mas a considerável diminuição de custos pode possibilitar um monitoramento mais constante dessas águas, permitindo um acompanhamento da evolução do estado do aquífero.

As Facilidades e limitações do IQAS-P

Ao longo dos anos, verifica-se os esforços dos pesquisadores em relação à formulação de índices de qualidade de água, principalmente aqueles cuja finalidade correspondem a características regionais. As tentativas de elaboração de um índice que seja universalmente aceito demanda uma necessidade distante de ser compensada, uma vez que os fatores distintos das águas subterrâneas nas mais diversas regiões do globo requerem a aplicação de índices específicos.

A aplicação dos índices deve considerar tanto as necessidades quanto os objetivos do estudo. Nesse sentido, é importante discutir acerca das facilidades e limitações do IQAS-P:

- O IQAS-P foi elaborado para águas subterrâneas com risco a contaminação por efluentes domésticos. A possibilidade de inserção de parâmetro pode ser aplicada realizando a troca do micro poluente mineral característico da região. Alerta-se para a quantidade de parâmetros a serem inseridos, destacando que a alteração no quantitativo de parâmetros poderá comprometer sua estabilidade e precisão. Caso ocorra a simples troca de micro poluente mineral, o IQAS-P não exige a calibração de seus pesos;
- Uma condição específica é atribuída ao parâmetro de condutividade elétrica. Por apresentar concentrações que variam em águas subterrâneas e que dependem da região, recomenda-se o ajuste na tabela de notas x concentrações. As notas permaneceriam as mesmas, com ajuste às concentrações, por se apresentarem diferentes devido à sensibilidade que esta possui. O conhecimento das condições comportamentais históricas da condutividade em nível local é essencial para a definição dos valores máximos, mínimos e intermediários exigidos na tabela. O peso atribuído ao parâmetro permanece, porém, com o ajuste das concentrações, a curva tende a ser diferente do apresentado neste estudo, o que consequentemente, resultaria em uma função do subíndice correspondente a ela.
- Apesar de desenvolvido para águas ácidas, é indicado que se mantenha os respectivos pesos no grupo mineralização e salinidade, pois a estrutura de notas e concentração do pH foi elaborada a partir de diferentes equações em diferentes intervalos, o que torna o índice bastante versátil;
- As dificuldades de inserção de parâmetros em outros índices é um fator comum, uma vez que a construção de um indicador de qualidade considera características intrínsecas da região e/ou usos específicos. Por isso, é importante salientar sobre as metodologias na elaboração de ferramentas matemáticas direcionadas à classificação das águas subterrâneas em níveis de qualidade.

Considerações finais

A aplicação do IQAS-P nas águas subterrâneas de 23 pontos e amostragem da cidade de Parintins revelou faixas com intervalos de 7 a 79. O percentual das categorias mostra 35% dos poços como boa qualidade de água, 4% como qualidade de água aceitável e 61% apresentam-se impróprios ao consumo humano. Portanto, o índice sugere que a maior parte das águas do aquífero que abastece a população é imprópria para o consumo, ou seja, a qualidade da água na cidade não atende ao seu uso proposto, reafirmando as discussões de estudos anteriores.

Tanto os parâmetros contemplados no índice quanto aos métodos e técnicas que embasam a sua estrutura, mostraram-se viáveis para a aplicação do IQAS-P nas águas subterrâneas em Parintins. Neste sentido, monitorar os poços no aquífero a partir do índice desenvolvido neste estudo apresenta-se como uma opção mais rápida e menos custosa para os órgãos de gestão, possibilitando um monitoramento mais constante. Portanto, os resultados mostram que o IQAS-P é um índice de qualidade considerado apropriado para o monitoramento das águas subterrâneas.

Recomenda-se aos órgãos ambientais, bem como os órgãos gestores de recursos hídricos que classifiquem as águas subterrâneas da cidade de Parintins e que sejam realizadas ações para a proteção do aquífero, além do estabelecimento das condições de uso dessas águas de acordo com a qualidade apresentada pela mesma. Enquanto aos gestores locais, é recomendado a restrição urgente do uso das águas captadas referentes aos poços cuja qualidade compromete a saúde humana. Pois, se o nível de contaminação persistir, o que é esperado, tão logo se tornará difícil a reversão da qualidade da água aos níveis próximos do natural.

Referências

- ALMEIDA, R. A. S. *Índice de Qualidade de Uso da Água Subterrânea (e-IQUAS): uma Metodologia de Modelagem Numérica Flexível*. Tese (Doutorado em Energia e Ambiente) –Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, UFBA, Salvador, 2012. 344 p.
- BOLLMANN, H. A.; MARQUES, D. M. Bases para Estruturação de Indicadores de Qualidade de Águas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 5, p. 37-60, 2000.

- COSTA, A. M. R.; WAICHMAN, A.; SANTOS, E. E. A. Uso e qualidade da água subterrânea na cidade de Manaus. *Anais do XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Águas Subterrâneas*. [S. l.], n. 1, 2004. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23658>. Acesso em: 18 nov. 2021.
- DUARTE M. L. *et al.* Vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas no município de Humaitá, Amazonas, Brasil. *Rev. Ambient. Água*, v. 11, n. 2, jun. 2016.
- DUARTE M. L. *et al.* Vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero Alter do Chão em sua área de afloramento no Município de Itacoatiara/AM. *ACTA Geográfica*, Boa Vista, v. 12, n.30, set./dez. 2018. p 90-107.
- DUARTE, M. L. *et al.* Vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero Alter do Chão na área urbana de Manaus, Amazonas, Brasil. *Revista Monografias Ambientais*, v. 18, e7, 2019.
- MARMOS, J. L.; AGUIAR, C. J. B. (orgs.). *Avaliação da Qualidade das Águas Subterrâneas da Cidade de Parintins (AM)*. SGB-CPRM. Serviço Geológico do Brasil - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Manaus, 2005. 93p.
- MARMOS, J. L.; CALVO, B. D. R. (orgs.). *Avaliação Técnica do Sistema Público de Abastecimento de Água da Cidade de Parintins (AM)*. SGB-CPRM. Serviço Geológico do Brasil - Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais. Manaus: CPRM, 2019. 58p.
- PITA, R. C. S. *et al.* Sistema aquífero Alter do Chão a oeste da cidade de Manaus (AM): processos hidrogeoquímicos, origem da salinidade e relações com aquíferos adjacentes. *Geol. USP, Sér. cient.*, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 27-296, mar. 2018.
- PRADO, R. B.; LULLO, L. B. D. Aplicação e Mapeamento de **Índice** de Qualidade da água na Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos – RJ. In: *XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. São Paulo. p. 25-29, nov. 2007.
- ROCHA, L. C. R.; HORBE, A. M. C. Contaminação provocada por um depósito de lixo no Aquífero Alter do Chão em Manaus – AM. *Acta Amazônica*, v. 36, n. 3, p. 307-312, 2006.
- SILVA, M. L.; BONOTTO, D. M. Hidroquímica elementar e dos isótopos de urânio em águas subterrâneas da formação Alter do Chão, Manaus (AM). *Revista Brasileira de Geociência*. v. 36, n. 3, p. 437-448, set. 2006.
- TEIXEIRA, J. R. S. *Caracterização da qualidade e vulnerabilidade dos corpos de água subterrânea como subsídios para a gestão dos recursos hídricos na cidade de Parintins, Amazonas, Brasil*. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) –Universidade do Estado do Amazonas, Parintins, 2019. 100 p.

Qualidade das águas do rio Amazonas na cidade de Parintins-AM

Gabriellen Yasmine de Oliveira Pedreno
Neliane de Sousa Alves

Introdução

A água é uma substância essencial para a manutenção da vida. Por esse motivo, é crucial desenvolver mecanismos que garantam a segurança hídrica, proporcionando acesso à água de qualidade para as gerações atuais e futuras. Isso inclui o abastecimento humano e as necessidades industriais.

Parintins, conhecida como a Capital Mundial do Folclore, destaca-se pelo Festival Folclórico, onde os bumbás Garantido e Caprichoso disputam o título de campeão. Além de sua riqueza cultural, Parintins possui belezas naturais às margens do Rio Amazonas. No entanto, enfrenta desafios relacionados à qualidade da água subterrânea que abastece sua população.

A dinâmica fluvial do Rio Amazonas também afeta Parintins. As variações no nível das águas podem submergir áreas residenciais ou isolar localidades. Embora existam meios alternativos de obtenção de água potável, muitas famílias ainda dependem das águas do Rio Amazonas como fonte de vida e transporte.

Estratégias de gestão e governança devem considerar as demandas ambientais do Rio Amazonas na cidade de Parintins, bem como os pontos mais vulneráveis à degradação, contaminação ou ação antrópica que possa comprometer os ecossistemas associados. Este estudo teve por finalidade analisar a variabilidade anual dos parâmetros físico-químicos das águas do Rio Amazonas na cidade de Parintins- AM, considerando a dinâmica fluvial deste rio. Para tanto, verificou-se a relação entre as características físico-químicas das águas e os processos hidrodinâmicos ao longo do ano hidrológico na área de estudo.

Metodologia

Local da pesquisa

Parintins é um município brasileiro localizado no interior do estado do Amazonas, na região Norte do país. Com uma população estimada de 96.372 habitantes, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2023, Parintins é a segunda maior cidade do estado. Está situada a cerca de 372 quilômetros em linha reta da capital, Manaus. Parintins é composta por um conjunto de ilhas localizado na margem direita do Rio Amazonas. Acredita-se que essas ilhas foram primeiramente habitadas por indígenas das etnias Aratu, Apocuitara, Yara Godui e Curiatós. Por volta dos anos 1560-1580, esses grupos foram subjugados pela etnia Tupinambá, entre os quais vivia um grupo denominado Parintintins. O nome desse grupo foi incorporado à cidade, que simultaneamente ocupava regiões pertencentes ao Maranhão e ao Pará.

A pesquisa de campo foi conduzida em duas etapas: análise in loco e análise laboratorial. Na análise in loco, o objetivo foi medir parâmetros como temperatura, turbidez, sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica, potencial hidrogeniônico e oxigênio dissolvido diretamente nos pontos de coleta de amostras de água do Rio Amazonas, em Parintins. Para isso, utilizou-se uma sonda multiparâmetro em locais estratégicos. Já a análise laboratorial teve como foco a determinação do íon nitrato dissolvido na água, utilizando um colorímetro para obtenção desses dados.

Foram escolhidos quatro pontos de referência para a coleta de amostras de água do Rio Amazonas ao longo da orla da cidade de Parintins-AM, no sentido de montante para jusante. Em cada um desses pontos, as amostras foram coletadas tanto na margem quanto a 100 metros da margem do canal fluvial, resultando em um total de oito pontos de coleta (Figura 1). As localidades selecionadas foram: Baixa do São José (bairro São José), Rua Faria Neto (bairro Centro), Mercado Municipal Leopoldo Neves (bairro Centro) e proximidades do Matadouro Frigorífico Ozório Melo (bairro Santa Clara).

Os pontos de coleta e análise da água do Rio Amazonas foram escolhidos com base na observação de áreas ao longo da margem do rio na cidade de Parintins, onde as influências antrópicas são mais perceptíveis. Esses pontos incluem locais com maior circulação de embarcações, despejo de efluentes

de esgoto e áreas com maior incidência do fenômeno das “terras caídas”. As coletas foram realizadas nos seguintes períodos: enchente (subida das águas), cheia (período de cotas e vazões máximas), vazante (descida das águas) e seca (período de cotas e vazões mínimas). No total, foram coletadas 128 amostras de água e realizadas análises em quatro viagens feitas em embarcações tipo lancha ao longo do ano de 2022.

Análise Físico-Química In Loco

As análises in loco seguiram as diretrizes estabelecidas pela Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater e pelo Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (CETESB, 2011). Nesta pesquisa, foram analisados sete parâmetros físico-químicos, dos quais seis foram medidos in loco: temperatura (°C), turbidez (NTU), sólidos totais dissolvidos (mg/L), condutividade elétrica (µS/cm), potencial hidrogeniônico (pH) e oxigênio dissolvido (mg/L). Os parâmetros analisados foram medidos utilizando uma sonda multiparâmetro modelo HI98194 da marca HANNA e um turbidímetro portátil Fast Tracker modelo HI98703, também da marca HANNA (Quadro 1).

Quadro 1 - Equipamento empregado na análise físico-química in loco

PARÂMETRO	EQUIPAMENTO	MODELO
Temperatura Sólidos Totais Dissolvidos Condutividade Elétrica Potencial Hidrogeniônico Oxigênio Dissolvido		Sonda Multiparâmetro HI98194 HANNA
Turbidez		Turbidímetro portátil Fast Tracker HI98703 HANNA

Fonte: Hanna (2022a) e Hanna (2022)

Os procedimentos de análise in loco seguiram as recomendações técnicas dos equipamentos utilizados no campo. Para a sonda multiparâmetro digital, os sensores foram inseridos nas águas do Rio Amazonas nos pontos selecionados, e os valores dos parâmetros foram exibidos na tela do aparelho (Quadro 1).

Para a análise de turbidez, amostras foram coletadas dos pontos de análise usando um béquer esterilizado. A água coletada foi transferida para uma cubeta, que foi tampada e limpa para remover digitais ou gotas de água na parte externa antes de ser colocada no turbidímetro para a leitura, exibida no monitor do instrumento. Entre as coletas nos diferentes pontos, os sensores da sonda, o béquer e as cubetas do turbidímetro foram limpos com água destilada. Os dados coletados foram registrados em uma planilha do Excel, em que foram tabulados e a média aritmética foi calculada para cada parâmetro medido. *Análise química laboratorial – Nitrato.*

As amostras de água do rio Amazonas foram coletadas de acordo com as diretrizes da NBR 9898, que estabelece parâmetros para “Preservação e Técnicas de Amostragem de Efluentes Líquidos e Corpos Receptores” (ABNT, 1987). As amostras foram armazenadas em recipientes de poli tereftalato de etila (PET) de 1 litro, previamente higienizados com água destilada, e transportadas para o laboratório do Sistema Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) de Parintins, acondicionadas em caixas térmicas de isopor.

De cada amostra coletada, foram retirados 10 mL para a análise físico-química laboratorial. As oito amostras dos quatro pontos de coleta foram colocadas em recipientes de vidro, em que foi adicionado o reagente Nitrater, da marca Hach. O reagente permaneceu em contato com as amostras por 5 minutos. Em seguida, as amostras foram analisadas no aparelho Colorimeter, modelo DR/890, para determinar a quantidade de nitrato presente, expressa em mg/L.

Resultados

Temperatura da água do rio Amazonas

A análise da temperatura da água do Rio Amazonas na cidade de Parintins revelou uma média de 30 °C durante o período de coleta das amostras. Nos pontos analisados, houve uma variação de até 2 °C entre as menores e maiores temperaturas registradas (Figura 2).

No primeiro semestre do ano civil, em janeiro e maio, a média da temperatura em Parintins foi de 29 °C, ficando 1 °C abaixo da média geral. Nesse período, o regime hidrológico está nos períodos de enchente e cheia, com precipitação acima da média. Por outro lado, entre os meses de setembro e novembro, as temperaturas encontradas ficaram em torno de 31 °C, acima da média de 30 °C, durante o período de vazante e seca do Rio Amazonas, quando as precipitações estavam abaixo da média. *Turbidez, Sólidos Totais Dissolvidos e Condutividade Elétrica.*

Turbidez, Sólidos Totais Dissolvidos e Condutividade Elétrica

A turbidez do Rio Amazonas nos quatro pontos analisados, em diferentes períodos, apresentou variações significativas relacionadas ao ciclo hidrológico. Em janeiro, os maiores valores de turbidez foram detectados, chegando a até 200 NTU, o dobro do Valor Máximo Permitido (VMP) estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 (Brasil, 2005). Já em novembro, observa-se uma tendência ascendente uniforme nos valores de turbidez, aproximando-se dos VMP. Nos meses de maio e setembro, os valores situam-se em torno de 40 NTU.

Os valores de turbidez encontrados nesta pesquisa, especialmente os referentes ao mês de janeiro e o valor obtido próximo à margem do matadouro municipal em maio, excedem os Valores Máximos Permitidos (VMP) estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 (Brasil, 2005) para corpos hídricos de água doce Classe II. Essa situação inviabilizaria o uso das águas do Rio Amazonas em Parintins, de acordo com esse parâmetro.

Em relação à quantidade de Sólidos Totais Dissolvidos (TDS – mg/L), assim como a turbidez, existem dois períodos bem definidos. Nos meses de novembro e janeiro (vazante e enchente), os valores de TDS estão acima da média. Já nos meses de maio e setembro (cheia e descida das águas), os valores ficam abaixo da média, conforme indicado na Figura 4.

Os Valores Máximos Permitidos (VMP) de TDS para rios de Classe II, estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 (Brasil, 2005), depreende-se que o parâmetro está dentro dos limites determinados pela tratativa (500 mg/L). Ainda que os valores obtidos nas análises estejam dentro dos padrões estabelecidos pelos órgãos competentes de gestão e regulação dos recursos hídricos, pela Figura 4 é possível observar que, no centro do canal fluvial, no

mês de janeiro, no bairro da Baixa do São José, destaca-se o valor de 35 mg/L. Esse valor é superior aos demais encontrados nos outros pontos analisados ao longo da área de estudo.

Essa variação pode ser atribuída à influência humana na área, devido ao intenso tráfego de embarcações, descarte de efluentes domésticos e resíduos sólidos provenientes das residências próximas ao ponto de análise. De maneira semelhante, observam-se flutuações nos demais parâmetros físicos analisados, embora não sigam necessariamente um padrão estável de montante a jusante no trecho avaliado.

Assim como nas análises de turbidez e Sólidos Totais Dissolvidos, os valores de condutividade elétrica (EC) nos meses de janeiro e novembro são detectados acima da média. Já nos meses de maio e setembro, os valores estão abaixo da média (Figura 5).

Assim como os parâmetros mencionados anteriormente, a condutividade elétrica (EC) dos rios de água branca na Amazônia encontra-se dentro dos valores observados em estudos anteriores. Esses valores podem variar de 40 a 100 ou 140 $\mu\text{S}/\text{cm}$, conforme estudos de Sioli (1956) e Ríos-Villaminzar *et al.* (2013). A quantificação da EC nos corpos hídricos está relacionada à concentração de eletrólitos, conforme apontado por pesquisadores como Junk *et al.* (2011) e Ríos-Villaminzar *et al.* (2014).

Ao analisar os valores de Sólidos Totais Dissolvidos (TDS) e Condutividade Elétrica (EC) isoladamente, o ponto “Canal da Baixa do São José” destaca-se por apresentar as maiores medições desses parâmetros. Entre os pontos analisados, é na margem desse ponto que se encontram as maiores concentrações de despejos de esgoto doméstico, além do intenso fluxo de embarcações e o registro de depósito inadequado de resíduos sólidos residenciais na localidade.

Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH nos pontos analisados apresentou pouca variação. Nos meses de novembro e janeiro, os valores foram iguais ou superiores à média calculada, enquanto entre maio e setembro, o pH das águas ficou abaixo da média (Figura 6). Essa estabilidade pode estar relacionada a fatores como a influência sazonal das chuvas e a composição química da água.

Vale destacar que, com exceção da medição do mês de maio no ponto do canal fluvial no bairro São José, os valores identificados nas análises estavam em conformidade com os Valores Máximos Permitidos (VMP) estipulados pela Resolução CONAMA 357/05 (Brasil, 2005) para rios de água doce Classe II. De acordo com essa resolução, o pH das águas de Classe II deve estar entre 6 e 9.

Das amostras de água analisadas nesta pesquisa, assim como os valores de Condutividade Elétrica (CE) e Sólidos Totais Dissolvidos (TDS), observou-se que os resultados obtidos no canal fluvial do bairro São José apresentaram desvios. No caso do pH, a alteração foi detectada no mês de maio, com valores abaixo dos limites estabelecidos para esse parâmetro (pH 5,54), indicando um processo de acidificação da água no trecho analisado.

Apesar de um ponto específico na Baixa do São José apresentar indícios de desequilíbrio químico, os demais pontos analisados estão em consonância tanto com os valores de pH indicados na literatura para rios de água branca quanto com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 (Brasil, 2005) para rios de água doce Classe II.

Oxigênio Dissolvido (OD)

Nos pontos analisados, o parâmetro de oxigênio dissolvido (OD) não seguiu um padrão de variação semelhante ao observado nos demais parâmetros, em relação à superação da média calculada pela sonda multiparâmetro (Figura 7).

Os valores de oxigênio dissolvido (OD) nos rios da bacia amazônica, tanto os de água branca quanto os de água negra, estão frequentemente abaixo dos Valores Mínimos Permitidos (VMP) estabelecidos pela legislação (CONAMA 357/05, Brasil 2005). Esses valores mais baixos são considerados naturais, uma vez que os organismos que habitam esses ambientes estão adaptados às condições de baixa oxigenação.

Considerando a qualidade natural das águas do Rio Amazonas, não é possível afirmar que os trechos analisados na cidade de Parintins estejam em processo de degradação extrema devido às baixas concentrações de OD. Essa diminuição natural do OD nos rios da Amazônia geralmente não é atribuída ao despejo de esgoto nos corpos hídricos. No entanto, é essencial desenvolver mecanismos de fiscalização contínua para monitorar o lançamento de efluentes e investigar os efeitos que as cargas orgânicas podem causar na região.

Nitrato (NO₃⁻)

Nos pontos analisados no Rio Amazonas, em frente à cidade de Parintins, foram observadas variações significativas nas concentrações de NO₃⁻. A Resolução CONAMA 357/05 (Brasil, 2005) estabelece um Valor Máximo Permitido (VMP) de até 10 mg/L de NO₃⁻ para rios de Classe II. No entanto, esta pesquisa revelou que a média de NO₃⁻ em todos os pontos foi de 15,6 mg/L, com destaque para o mês de novembro, quando o valor chegou a superar 45 mg/L. Em maio, a quantidade de NO₃⁻ parece ter diluído, possivelmente devido à elevação do nível da água e à vazão do Rio Amazonas durante o período de cheia, associado à diminuição das médias de precipitação.

A análise mostra que as maiores concentrações de NO₃⁻ ocorrem a montante do corpo hídrico, enquanto a jusante, independentemente do período, o nitrato parece se diluir após o perímetro urbano, indicando maior influência antrópica.

De acordo com Teixeira (2019), em Parintins, cinco poços tubulares utilizados para captação de água subterrânea foram desativados devido à detecção de contaminação por nitrato (NO₃⁻) e alumínio. Estudos indicam que as águas subterrâneas que abastecem a cidade apresentam contaminação significativa por NO₃⁻, resultante do descarte inadequado de esgoto doméstico diretamente no solo, o que pode atingir o lençol freático.

Dada a área exposta à deposição de efluentes domésticos sem tratamento no solo da cidade de Parintins, bem como nas águas do Rio Amazonas, é possível que ocorra uma rotatividade do nitrato (NO₃⁻) nas águas dos corpos hídricos superficiais e subterrâneos. Esse processo pode resultar na diluição da concentração dessa substância, especialmente quando há aumento da vazão associado à elevação do nível da água.

A intoxicação por ingestão de quantidades elevadas de NO₃⁻ nos seres humanos pode ter várias consequências graves, incluindo hipertrofia da tireoide, anomalias congênitas, câncer no estômago, problemas reprodutivos e metemoglobinemia. A metemoglobinemia é uma condição que impede o transporte adequado de oxigênio no organismo devido à ação do NO₃⁻, o que pode levar recém-nascidos ao óbito. Nos adultos, a intoxicação por NO₃⁻ também pode causar alterações na pressão arterial, cefaleia, regurgitação e dores abdominais. É importante evitar a exposição excessiva a essa substância para prevenir esses efeitos adversos.

Considerações finais

A análise físico-química de parâmetros como temperatura, turbidez, sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica, potencial hidrogeniônico, oxigênio dissolvido e nitrato permitiu concluir que a composição físico-química das águas do Rio Amazonas varia de acordo com a sazonalidade, a frequência de aglomeração de embarcações e o despejo de efluentes em locais específicos ao longo dos períodos analisados. Essa variabilidade é influenciada por fatores naturais e antrópicos, tornando a caracterização das águas amazônicas um desafio importante para a preservação desse ecossistema único.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) ao Mestrado Profissional, em Rede Nacional, em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (ProfÁgua), à Agência Nacional das Águas (ANA) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), pela bolsa concedida à mestranda Gabriellen Yasmine de Oliveira Pedreno.

Referências

- ABNT. NBR 1897. *Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores*. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. *Resolução nº 430*. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA. Brasília, 2011. Disponível: https://www.saude.mg.gov.br/images/documentos/RE%20CONAMA%204032011_Lancamento%20de%20Efluentes.pdf. Acesso em: mar. 2022.
- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. *Ficha de Informação Toxicológica Nitrato e Nitrito*. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2022/12/Nitrato-e-Nitrito.pdf>. Acesso em: jan. 2023.
- HANNA. *Instruments*. HI98194. Disponível em: <https://hannainst.com.br/produto/hi98194-medidor-portatil-a-prova-dagua-multiparametro-ph-ec-od/>. Acesso em: out. 2022.
- HANNA. *Instruments*. HI98703. Disponível em: <https://hannainst.com.br/produto/hi98703-02-turbidimetro-epa-fast-tracker/>. Acesso em: out. 2022.

- JUNK, W. J. *et al.* A classification of major naturally-occurring Amazonian lowland wetlands. *Wetlands*, v. 31, p. 623-640, 2011.
- RÍOS-VILLAMIZAR, E. A. *et al.* Chemistry of different Amazonian water types for river classification: a preliminary review. *Water and society ii*, v. 178, p. 1117, 2013.
- RÍOS-VILLAMIZAR, E. A. *et al.* Hydrochemical classification of Amazonian rivers: a systematic review and meta-analysis. *Caminhos de Geografia*, v. 21, p. 211-226, 2020.
- SIOLI, H. Über natur und mensch im brasilianischen Amazonasgebiet. *Erdkunde*, p. 89-109, 1956.
- TEIXEIRA, J. R. S. *Caracterização da qualidade e vulnerabilidade dos corpos de água subterrânea como subsídios para a gestão dos recursos hídricos na cidade de Parintins, Amazonas, Brasil.* Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – ProfÁgua, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2019.

Alterações eco-hidrológicas e desafios para a gestão da bacia hidrográfica do Tarumã-Açu (Amazônia Central)

Jamerson Souza da Costa
Maria da Glória Gonçalves de Melo
Maria Astrid Rocha Liberato

Introdução

As bacias hidrográficas constituem unidades de referência fundamentais não apenas para a manutenção da segurança hídrica, mas também para a conservação da biodiversidade responsável pela provisão deste serviço ecossistêmico. Isso, no entanto, não tem motivado suficientemente os esforços de preservação da paisagem natural dessas unidades, que experimentam de forma crescente os efeitos das pressões antropogênicas sobre a quantidade e a qualidade da água disponível. Essas alterações ameaçam o equilíbrio ecológico, climático e a segurança hídrica das populações. Na região amazônica, os resultados dessa degradação não estão mais restritos às sub-bacias e microbacias urbanas e periurbanas, cuja cobertura florestal sempre foi proporcionalmente menor em relação às grandes bacias. A perda de florestas na Amazônia, agravada pela intensificação dos incêndios florestais, vem produzindo cenários de seca em grande escala na região, antecipando em décadas as previsões sobre os impactos das mudanças globais.

A conversão de paisagens naturais nas bacias hidrográficas amazônicas, sobretudo aquelas que drenam áreas urbanas, agrícolas e industriais, a exemplo da Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu (BHTA), em Manaus, demonstra a necessidade de preservação de remanescentes capazes de manter o funcionamento dos processos eco-hidrológicos. O processo de expansão urbana não direcionada, associado à intensificação de atividades agroindustriais, tem exercido um impacto significativo sobre a BHTA. Esse rio de águas pretas enfrenta uma série de conflitos ambientais decorrentes do uso múltiplo de suas águas e da transformação acelerada de sua paisagem. Mesmo com a criação e implantação do respectivo comitê de

bacia, ainda não foi possível a elaboração e execução de um plano de gestão, que considere de forma adequada as inter-relações entre os componentes da paisagem e as dinâmicas de uso e ocupação do solo.

A gestão integrada de bacias hidrográficas, conforme estabelecido na Lei das Águas (Lei nº 9.433/97), é uma abordagem que considera as complexas interações entre o meio ambiente, as demandas sociais e o desenvolvimento econômico. Propõe-se, para tanto, a utilização de um conjunto de práticas sustentáveis que promovam o diálogo entre os setores envolvidos, incentivando uma construção participativa de planos de ação. No caso das bacias amazônicas, essa abordagem é especialmente desafiadora devido à vasta extensão territorial, à diversidade de paisagens e à complexidade dos ecossistemas aquáticos, com rios de águas pretas, claras e brancas.

Este estudo, portanto, somou-se ao esforço de aprimorar a gestão da BHTA, a partir de uma análise multifatorial de aspectos hidrológicos, biofísicos e das dinâmicas de uso da terra. Esse conjunto de informações é fundamental para o desenvolvimento do Plano de Bacia Hidrográfica (PBH), instrumento que deve orientar a preservação e o crescimento socioeconômico da região com sustentabilidade. Ou seja, a proposta estava alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), mais especialmente com o ODS 6, que visa “garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água potável e do saneamento para todos”; refletindo, ainda, o compromisso com a meta de, até 2030, implementar a gestão integrada dos recursos hídricos em todos os níveis. No caso da Bacia do Tarumã-Açu, esse processo é fundamental para mitigar os efeitos da fragmentação da paisagem, que enfraquece os sistemas eco-hidrológicos e compromete a resiliência do ecossistema.

Nesse contexto, o objetivo geral deste estudo foi avaliar os impactos das transformações antropogênicas sobre o sistema eco-hidrológico que compõe a paisagem da BHTA, fornecendo subsídios para a criação de estratégias de gestão que promovam a sustentabilidade dos recursos naturais. Um Relatório de Situação – *Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu: transformações antrópicas e qualidade da água*, sintetizou o conjunto de dados analisados e os respectivos resultados, sendo disponibilizado on-line (e-book) para os entes da gestão e público em geral. Esperamos, assim, contribuir para a criação e implementação de estratégias de gestão integrada capazes de equilibrar a preservação ambiental com as necessidades econômicas e sociais, evitando o estado de irreversibilidade

da degradação dos corpos d'água e a perda de serviços ecossistêmicos. Essa pesquisa foi, portanto, uma tentativa de fornecer informações relevantes para os gestores públicos, o Comitê de Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu (CBHTA) e outros atores envolvidos no processo de planejamento e gestão da BHTA.

Material e métodos

O estado de conservação e a qualidade da água

Iniciamos o estudo realizando a avaliação do impacto das transformações antrópicas sobre a qualidade da água da BHTA. Para isso, classificamos os tipos de cobertura e usos da terra em toda a área da bacia, a partir de imagem de satélite (Landsat 8/OLI), disponível gratuitamente no banco de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Após o pré-processamento da imagem (combinação, empilhamento e recorte das bandas espectrais 456/RGB) no software gratuito QGIS v. 3.4.5, realizou-se a classificação supervisionada seguindo o método de segmentação e classificação de regiões de Bhattacharrya, com o auxílio do software SPRING v. 5.5.6 (IBGE, 2013; Ribeiro; Galvanin; Paiva, 2017). Foram definidas seis classes de uso e cobertura da terra: florestal, campestre, urbanizada, descoberta, mineração e água (IBGE, 2013). Concluída a classificação, verificamos sua acurácia, por meio do coeficiente Kappa (Landis; Koch, 1977), e finalizamos essa etapa com o cálculo dos Índices de Transformação Antrópica-ITA (Lémechev, 1982) para a BHTA e para cada um dos setores separadamente (inferior, médio e superior) e definição dos respectivos níveis de transformação antrópica (Cruz *et al.*, 1998), variando de pouco a muito degradada.

Na sequência, realizamos o monitoramento bimestral de parâmetros físico-químicos de qualidade da água no setor inferior (baixo curso) da BHTA, durante doze meses, considerando-se os diferentes níveis de degradação dos tributários nesse setor. As amostragens abrangeram tanto o período de enchente quanto de vazante e foram realizadas próximo aos exutórios de tributários preservados (cobertura predominantemente florestal) e alterados (uso predominantemente antropogênico) e na calha principal (Menezes *et al.*, 2016; Santos *et al.*, 2017). Os parâmetros físico-químicos, mensurados *in situ*,

incluíram: temperatura da água (TA), pH, condutividade elétrica (CE), oxigênio dissolvido (OD), sólidos totais dissolvidos (STD) e turbidez (TB). As análises seguiram as diretrizes do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (CETESB; ANA, 2011).

Os valores médios dos parâmetros físico-químicos foram comparados com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (Brasil, 2005), com exceção das TA e CE, que não possuem valores referenciais definidos. Nesse caso, utilizamos a literatura para avaliação dos resultados. Os dados foram testados quanto à normalidade da sua distribuição, por meio do teste de Shapiro-Wilk $p > 0,05$; (Nagy *et al.*, 2012), e o coeficiente de correlação de Spearman foi utilizado para avaliar as relações entre os parâmetros físico-químicos e variáveis ambientais, cota e pluviosidade (Araujo, 2018). Adicionalmente, análises multivariadas como Cluster (HCA) e análise de componentes principais (PCA) foram empregadas para identificar similaridades entre os pontos amostrais e os gradientes de qualidade da água, respectivamente (Helsel; Hirsch, 2002; Menezes *et al.*, 2016). Todas essas análises foram realizadas no software StatSoft Statistica v. 12.5.

Análise estrutural e funcional da paisagem

Para avaliar as potenciais implicações da fragmentação florestal para a gestão da BHTA, realizamos a caracterização dos padrões estruturais e funcionais da paisagem, com base nas manchas florestais geradas pela classificação supervisionada. Essas manchas florestais foram categorizadas em cinco classes de tamanho (<10 ha, 10-100 ha, 100-500 ha, 500-1.000 ha e >1.000 ha) para análise da paisagem da BHTA. Foram aplicadas métricas estruturais (área, densidade e tamanho, borda, forma e área central) e de isolamento, que avaliou a inacessibilidade das manchas para o fluxo de espécies (Ziółkowska *et al.*, 2014). Também foram usadas medidas funcionais, Índice Integral de Conectividade (IIC) e Probabilidade de Conectividade (PC), que consideraram as distâncias entre manchas para prever eventos de dispersão das espécies e turnover entre os fragmentos, e entender a dinâmica da fragmentação e seus efeitos sobre a manutenção dos ecossistemas florestais e das funções eco-hidrológicas (Saura *et al.*, 2011).

Para análise da conectividade ecológica, foi utilizada a Teoria dos Grafos, que considera os fragmentos como nós e suas conexões como bordas, permitindo a avaliação da rede de manchas (Gross *et al.*, 2019). O software

ArcGIS v. 10.8, com as extensões *Patch Grid* e *Patch Analyst*, foi usado para calcular as métricas estruturais, enquanto o software Conefor v. 2.6 foi aplicado para as métricas funcionais (Saura; Torné, 2012; Andrade *et al.*, 2020). Foi adotado um limiar de 100 metros para dispersão de espécies (Laurance *et al.*, 2011, 2018; Rusca *et al.*, 2017), e as análises estatísticas foram realizadas no programa StatSoft Statistica v. 12.5.

Relatório de Situação

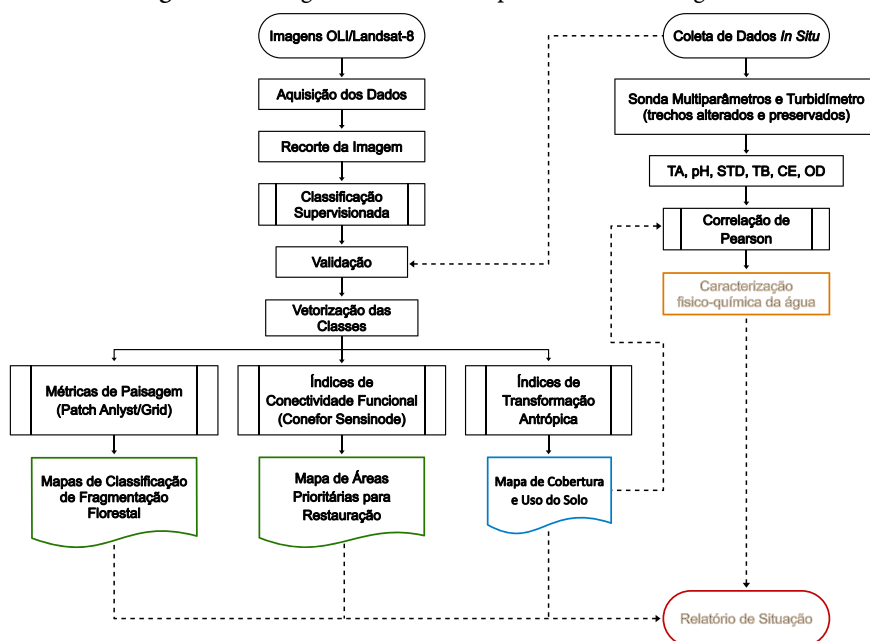
O Relatório de Situação, elaborado em atenção às diretrizes do Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (Profágua), apresentou, de forma objetiva, sistematizada e de fácil entendimento, as informações de caráter técnico-científico referentes ao uso e cobertura da terra, ao uso múltiplo das águas, às transformações antropogênicas e fragmentação da paisagem natural (em razão dos diversos usos), e à qualidade das águas superficiais no setor inferior (baixo curso), que constituíram o escopo do estudo.

Além dos resultados diretos do estudo, reuniu-se, ainda, um conjunto de informações acerca da BHTA, obtidas por meio de levantamento bibliográfico (artigos, dissertações, teses) e documental (legislação e publicação de órgãos oficiais). Essa estratégia de construção garantiu uma maior consistência e qualidade do relatório, contribuindo para o fortalecimento das discussões e as possibilidades de aprimoramento da gestão dos recursos hídricos na BHTA. O documento produzido também pode servir de base para replicação em outras bacias amazônicas. Documentos que têm como público-alvo pessoas com diferentes níveis de formação e capacidades cognitivas devem ser estruturados de modo bastante didático (Magalhães Júnior, 2010; Cavalheiro; Silva, 2018), possibilitando aos tomadores de decisões e à sociedade em geral perceberem a situação da BHTA, planejar e adotar medidas que garantam uma gestão sustentável dos recursos hídricos.

O fluxograma abaixo (Figura 1) apresenta de forma resumida as etapas dos processos metodológicos desenvolvidas ao longo do estudo. Para maior detalhamento dos métodos utilizados, vide o Relatório de Situação – *Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu: transformações antrópicas e qualidade da água*⁶.

6 Disponível em: <https://pos.uea.edu.br/data/area/dissertacao/download/44-2.pdf>.

Figura 1 - Fluxograma sintético dos processos metodológicos.



Fonte: Elaborado pelos autores

Resultados e discussão

O estado de conservação e a qualidade da água

O mapeamento e classificação do uso e cobertura da terra mostrou, de modo geral, uma matriz ainda predominantemente florestal, alterada principalmente nos setores inferior e médio da BHTA, em razão urbanização desordenada, cuja expansão tem se direcionado à região da cabeceira. Por se tratar de uma bacia periurbana, além da fragmentação da paisagem decorrente das atividades urbanas, há, ainda, aquela derivada do uso da terra para fins agropecuários, mineração e extrativismo ilegal de madeira. A retirada da cobertura vegetal tem intensificado a ocorrência de processos erosivos e de assoreamento dos corpos d'água, além dos impactos negativos sobre a qualidade dos recursos hídricos.

A abertura de estradas (ramais e vicinais) tem levado à ocupação de áreas nos setores médio e superior (cabeceira), resultando em avanço do estado de degradação da paisagem natural da bacia, já classificado como regular, mesma categoria atribuída aos setores inferior e médio. O setor superior, embora ainda com status de pouco degradado, requer atenção dos gestores, devido à perda contínua de cobertura florestal, especialmente por não possuir áreas destinadas à conservação dos remanescentes florestais.

No que diz respeito à qualidade das águas superficiais no setor inferior da BHTA, com exceção do pH, todos os demais valores médios dos parâmetros analisados estiveram de acordo com os padrões do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) para águas de Classe 2. Apesar disso, a acidez das águas pretas do Tarumã-Açu constitui condição natural, se sobrepondo aos limites referenciais. Constatou-se, ainda, que a perda de cobertura florestal e os usos antropogênicos, sobretudo o despejo de efluentes e o descarte irregular de resíduos sólidos, contribuíram para o aumento nos valores de pH, OD, CE, STD e TB nos períodos de vazante e de menor ocorrência de chuvas, principalmente nas regiões dos igarapés da Bolívia e do Gigante. Isso indica a redução da capacidade de autodepuração nesses trechos, quando há diminuição do fluxo de água.

Análise estrutural e funcional da paisagem

As métricas de paisagem apontaram uma bacia bastante fragmentada, sobretudo na região do setor inferior, incluindo as áreas de proteção, com exceção da Reserva Florestal Adolpho Ducke. A região da cabeceira, por sua vez, concentrou a maior quantidade de área total e área central de remanescentes florestais, com alta conectividade estrutural e funcional, condições fundamentais para a sustentabilidade da bacia e manutenção do funcionamento dos sistemas eco-hidrológicos e provisão dos serviços ecossistêmicos. No entanto, essas áreas florestais não estão sob proteção, requerendo a atenção dos gestores em promover medidas de conservação dessas grandes manchas. Os pequenos fragmentos, localizados principalmente no setor inferior, mostraram-se mais vulneráveis às pressões externas (ambientais e antrópicas). Contudo, demonstraram potencial uso como elementos de ligação entre os fragmentos maiores (trampolins ecológicos), necessitando de igual atenção dos gestores, neste caso com a perspectiva de recuperar a cobertura florestal das unidades de conservação nesse setor.

Relatório de Situação – Bacia Hidrográfica do Tarumã-Açu: transformações antrópicas e qualidade da água

O Relatório de Situação (vide QR Code, Figura 2) apresentou, inicialmente, a caracterização geral da BHTA em termos de localização, área, aspectos morfométricos, clima, vegetação e população. Em seguida, fez-se uma síntese acerca do Plano de Bacia Hidrográfica e de sua fundamentação legal. Na sequência, descreveu-se a situação da bacia no que se refere:

ao uso da terra e das águas; II) ao estado de degradação da paisagem natural da bacia, em decorrência das alterações antropogênicas e da fragmentação florestal; e III) à qualidade das águas superficiais no setor inferior da bacia. Por último, tecemos algumas considerações e sugestões, que visaram a sustentabilidade dos recursos naturais e dos serviços ecossistêmicos, sem negligenciar a necessidade de desenvolvimento socioeconômico local.

Figura 2 – Capa do Relatório de Situação, em formato de e-book, e QR Code de acesso on-line ao documento



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Considerações finais

O conflito de interesses e o potencial para exploração de recursos naturais variados moldaram a ocupação e a transformação da paisagem da BHTA, e foram, possivelmente, agravados pela falta de governança, de políticas integradas e pela inexistência dos instrumentos de gestão, como o plano de bacia. Nesse sentido, nosso estudo ofereceu subsídios importantes à elaboração do plano de bacia e à definição de estratégias de conservação e restauração dos remanescentes florestais, indicando áreas prioritárias para implementação dessas ações, como o uso de estratégias em rede.

Referências

- ANDRADE, Á. S. *et al.* Fragmentacao da vegetacao da bacia hidrografica do Rio Marapanim, nordeste do Pará. *Ciencia Florestal*, v. 30, n. 2, p. 406-421, 2020.
- ARAUJO, P. L. Relação entre a qualidade da água e o uso do solo em microbacias do reservatório Billings, na Região Metropolitana de São Paulo-SP. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, v. 15, n. 2018, 2018.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução n.º 357, de 18 de março de 2005*. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 17 dez. 2018.
- CAVALHEIRO, M. G. *et al.* A representação gráfica de indicadores socioambientais como subsídio para a gestão de recursos hídricos no Pontal do Paranapanema/SP. *Formação*, v. 25, n. 44, 2018.
- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; ANA – Agência Nacional de Águas. *Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos*. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.
- CRUZ, C. B. M. *et al.* Carga antrópica da bacia hidrográfica da Baía de Guanabara. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, v. 9, p. 99-109, 1998.
- GROSS, J. L.; ANDERSON, M. *Graph Theory and its applications*. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2019.
- HELSEL, D. R.; HIRSCH, R. M. *Statistical methods in water resources*. Reston: U.S. Geological Survey, 2002.

- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Manual Técnico de Uso da Terra*. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.
- LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, [S. l.], v. 33, n. 1, p. 159-174, mar. 1977. DOI: <https://doi.org/10.2307/2529310>.
- LAURANCE, W. F. *et al.* Uma floresta tropical amazônica e seus fragmentos como um laboratório de mudança global. *Biological reviews*, v. 93, n. 1, p. 223-247, 2018.
- LÉMECHEV, T. On hydrological heterogeneity catchment morphology and catchment response. *Journal of Hydrology*, v. 100, p. 357-375, 1982.
- MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. *Indicadores ambientais e recursos hídricos: realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa*. Bertrand Brasil, 2007.
- MENEZES, J. P. C. *et al.* Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 21, n. 03, p. 519-534, 2016.
- NAGY, R. C. *et al.* Effects of urbanization on stream hydrology and water quality: the Florida Gulf Coast. *Hydrol. Process.*, v. 26, p. 2019- 2030, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.8336>.
- RIBEIRO, H. V.; GALVANIN, E. A. S.; PAIVA, M. M. Análise das pressões antrópicas na bacia Paraguai/Jauquara-Mato Grosso. *Ciência e Natura*, v. 39, n. 2, p. 378-389, 2017.
- RUSCA, G. G. *et al.* Análise espacial dos fragmentos florestais no entorno de uma unidade de conservação de proteção integral. *Brazilian Journal of Environmental Sciences (RBCIAMB)*, n. 44, p. 85-94, 2017.
- SANTOS, J. P. *et al.* Relações entre qualidade da água e uso e cobertura do solo em múltiplas escalas espaciais na bacia do Rio Pandeiros, Minas Gerais. *Revista Espinhaço*, 2017.
- SAURA, S. *et al.* Análise de rede para avaliar tendências de conectividade da paisagem: aplicação em florestas europeias (1990–2000). *Ecological Indicators*, v. 11, n. 2, p. 407-416, 2011.
- SAURA, S.; TORNÉ, J. *Conefor 2.6 user manual*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2012.
- ZIÓŁKOWSKA, E. *et al.* Efeitos de diferentes representações matriciais e medidas de conectividade em avaliações de redes de habitat. *Landscape ecology*, v. 29, p. 1551-1570, 2014.

Satellite altimetry for hydrology

Joecila Santos da Silva

Introduction

Level is one of the hydrological quantities that are considered routinely when evaluating societies' basic need for fresh water. The monitoring of this variable is accomplished through nets of hydrometric stations organized at the national level. This monitoring requires that an extended network is maintained over very long time periods, with a high cost of installation and maintenance (Alsdorf *et al.*, 2001). The system of hydrological information HidroWeb, maintained by the National Water and Sanitation Agency (ANA) of Brazil contains numerous gauging stations. Despite this huge hydrological network, the spatial resolution is limited, and the update of the information can take 6 to 12 months. Besides, the Amazon basin is transboundary basin. Consequently, Brazil cannot decide on the sampling scheme in the entire basin, in particular in the Andean parts of the basin that belong to other countries, whatever its need for the hydrological information. Remote sensors, embarked in satellites, provide an acceptable space and time resolution, providing a synoptic and multi-temporal vision of such extensive areas with complex seasonal variability, difficult access and limited infrastructure (Florenzano, 2002). Satellite altimetry is already a robust technique in the oceanic domain. Altimetric satellites collect with a centimetric precision the instantaneous height of the oceanic surface. For 3 decades, several groups have worked to develop this technique for continental waters (Birkett, 2002; Calmant and Seyler, 2006; Creteaux and Birkett, 2006; Asdorf *et al.*, 2007, Calmant *et al.*, 2008; Silva *et al.*, 2012, Silva, 2024). This paper presents the major advantages and drawbacks of radar altimetric data used in hydrology today, either in situ or spaceborne.

Measurement principles

Altimeters installed onboard various satellite missions emit a pulse towards the nadir and receive the echo reflected by the water surface level. The half time span for the pulse to be reflected back to the altimeter corresponds to

the distance ρ run by the electromagnetic pulse between the satellite and the Earth's surface, assuming that the pulse is propagating at the speed of light. The satellite altitude as with respect to a reference ellipsoid is known accurately by orbitography modelling. Therefore, the height H of the reflector with respect to the geodetic reference is given at each pass of the satellite. Corrections relating to the delayed propagation through the atmosphere, the interaction with the ionosphere, and the solid Earth tides are considered:

$$H = as - \rho + C_{iono} + C_{dry} + C_{wet} + C_{st} + C_{pt} \quad (1)$$

Where C_{iono} is the correction for delayed propagation through the ionosphere, C_{dry} and C_{wet} are corrections for delayed propagation in the atmosphere, accounting respectively for pressure and humidity variations, and C_{st} and C_{pt} are the corrections for crustal vertical motions, respectively, due to the solid and polar tides. Errors in all these corrections were not evaluated in this study. A full discussion of the derivation of altimetric heights and their associated errors can be found in Fu and Cazenave (2001).

Brief history of satellite altimetry applications to hydrology

GEOS3 was the first altimeter to be dedicated to ocean mapping, yet some authors sought to use these new sensors to land mapping and continental water monitoring. Miller (1979) showed that GEOS3 data could be used to monitor lakes water level. From these pioneer studies, three main applications have been drawn. A review of the application of radar altimetry to hydrology can be found in Calmant and Seyler (2006) and Calmant *et al.* (2008). We will only give here some salient points:

a) The first line of applications concerns water resource monitoring in relation with climate and agriculture. The studies in this line are numerous. We can cite Mason *et al.* (1985), Morris and Gill (1994), Birkett (1995), Ponchaut and Cazenave (1998), Birkett *et al.* (1999), Birkett (2000), de Oliveira Campos *et al.* (2001), Mercier *et al.* (2002), YI *et al.* (2012). Most of these studies were conducted over great lakes. A review of radar altimetry over lakes can be found

in Creteaux and Birkett (2006) and Creteaux *et al.* (2016). The first study on a river system was conducted by Koblinsky *et al.* (1993) from GEOSAT waveforms. They estimated 70-cm rms the discrepancy between satellite and in situ measurements at four sites on the Amazon. They attributed partly the uncertainties to the orbit determination, but partly to the in situ record, and we will comment that in the next paragraph. The altimetric data that have been most used in river studies have been those of T/P (10-day repeat period, between 1992 and 2002 (Birkett, 2002; Leon, 2006; Zhang, 2010). ENVISAT (following the ERS series started in 1991 with a 35-day repeat period) mission has been used afterward in many studies (Berry *et al.*, 2005; Frappart *et al.*, 2006; Silva *et al.*, 2010) with a purpose of validation on rivers. Water level time series with decimeter accuracy were obtained for wetland in Silva (2010), Silva *et al.* (2012), Silva *et al.* (2014) and Creteaux (2022).

b) The second great application of satellite altimetry for hydrology is coming from the fact that altimeters paths are crossing water bodies at all types of hydrological situations. Hydrologic networks in situ stations are located in narrow, straight sections of the river, as they are to be gauged from time to time, to estimate discharge and be able to relate river stage and discharge, in linear stage-discharge relationship known as rating curve. For this reason, the status of wetlands water level is largely unknown globally. The first application of satellite altimetry for monitoring wetlands has been by Cudlip *et al.* (1992). But it is difficult to distinguish river and floodplain with T/P data. Birkett *et al.* (2002) have succeeded in several cases as a phase offset of a few days in stage variations between river and nearby floodplain has occasionally been observed. Frappart *et al.* (2005) have determined spatiotemporal variations of water volume over the main stream jointly with the floodplain in the Negro River basin, using area variation estimates for a seasonal cycle captured by the Synthetic Aperture Radar (SAR) onboard the Japanese Earth Resources Satellite (JERS-1), and changes in water level from the T/P altimetry at 88 altimetric stations, combined with 8 in situ limnigraphic stations. A volume variation of 331 km³ was estimated for the whole Negro basin, enhancing the complex relationship between the volume potentially stored in the inundated area and the volume flow during the same period. Similarly, Frappart *et al.* (2006) monitored the flood propagation along the Mekong River by combining satellite altimetry data and SPOT4 vegetation imagery. Frappart *et al.* (2008

and 2012) have used combined satellite imagery to re-estimate the volume of water stored in the inundation plains of the Negro basin and the over the Amazon basin with a better temporal resolution.

c) The first study using ENVISAT data to examine the relationship between river and floodplain through the differences in water levels was conducted by Cauhope, (2004). On the same floodplain located in the Amazon basin, Bonnet *et al.* (2008) have modelled the transfer of water between river and floodplain partly based on altimetric water levels time series. The third application is using the unique reference system of the altimetric data for studying the slope of the rivers and therefore be able to model the hydrodynamics. As for the other applications, the pioneer works were conducted on the Amazon main stem with SEASAT data (Guskowska *et al.*, 1990; Cudlip *et al.*, 1992; Mertes *et al.*, 1996 and Dunne *et al.*, 1998) and T/P data (Birkett *et al.*, 2002). With mixed T/P and ENVISAT data, Leon *et al.* (2006a and 2006b) have proposed different methodology to derive stream profiles from the riverbed height and slope derived from altimetry, through the estimation of rating curves at the altimetric virtual stations. Some works have estimated discharge at altimetric stations using empirical regressions from in situ gauging stations (Coe and Birkett, 2004; Kouraev *et al.*, 2004; Zakharova *et al.*, 2006), or hydrological and hydrodynamic modeling (Emery *et al.*, 2018; Pinnel *et al.*, 2019). In this same axis, rating curves were developed in more than 1000 altimetric virtual stations with data from ENVISAT and flow resulting from hydrological modeling (Paris *et al.*, 2016).

4. Drawbacks of past missions

The major drawbacks in using satellite altimetry for hydrology are often reported as being the precision of the measurements and the revisit time of the altimeters (10 days for T/P and Jason and 35 days for ERS/ENVISAT). We can add the lack of reliable data in case of steep relief close to the margin and before the river in the flight direction (Seyler *et al.*, 2008). Also, Birkett *et al.*, (2002) stated that for T/P, the river reach had to be larger than 1 km. Seyler *et al.*, (2009), Silva *et al.*, (2010) and Silva *et al.*, (2012) have shown that the width of the river reach does not appear as a factor strongly affecting the quality of the series for all the missions. Using ENVISAT, seasonal fluctuation

of river stage can be captured for wetlands and rivers as narrow as 50 m wide (see example of Rio Pardo in Silva *et al.*, 2010).

As for precision and revisit time, most of the studies attempting to validate altimetric data have used comparison with in situ data. Bercher *et al.* (2006) evaluated the amount of information lost due to the revisit time of the currently used radar altimeters under-sampling, compared with daily measurements at in situ stations. Roux *et al.* (2008) have proposed a methodology for reconstructing daily time series at the location of an altimetry track by combining its spectral information with that of gauges in the vicinity. The method is based on a linear model exploiting data at a limited number of in situ data, that may be useful for some hydrological applications, such as predicting floods and monitoring to detect changes to help understand emerging issues.

5. Current missions and improvements foreseen

Altimetry over rivers evolved rapidly during the past decade and will evolve even more in the coming years. As aforementioned, the quality of the time series improved significantly from ERS2 to ENVISAT on the one hand (Silva *et al.*, 2010) and from T/P to J2 on the other hand (Seyler *et al.*, 2012). An interesting point to be highlighted is the evolution in the capability of radar altimetry to sample narrow reaches (see introduction). All the existing missions were operating radar pulses in Ku band radar pulses in Low Resolution Mode (LRM). The two major evolutions that have occurred in recent years are the change from Ku to Ka band and the change from LR Mode to Synthetic Aperture Radar mode. In Ka band, the ground footprint is about ten times smaller than it is in Ku band. Consequently, the possible pollution of the radar echo from the ground environment of the water body to be monitored is reduced and “purer” echoes, making the range evaluation from the two-way travel time of the pulse is more precise. Another advantage of the Ka band vs the Ku band is that the reduced interaction of the electromagnetic wave with the ionosphere. In Ku band, this interaction requires that the altimeter be dual frequency. In Ka band, the altimeter can be lighter, single frequency. The first Ka band mission was the joint India-France mission AltiKa, launched in early 2013. It reused the same sun-synchronous orbit used by ERS1, ERS2 and

ENVISAT, permitting the extension of the time series of water level interrupted by the orbit change of ENVISAT in 2010.

The LR mode was based on a low rate of emission of the pulse (typically ~ 2 kHz) in order that the echoes received are uncorrelated and can be added to significantly remove the random noise. Conversely, in SAR mode, a high rate of emission is performed (over 15 kHz) in order that the correlation between the echoes can be used to slice the footprint by bouncing back the energy to the satellite antenna by differentiating the successive echoes, reducing the footprint to being a small band of a few hundred meters in the along track direction. This technology has been successfully used in the Cryosat-2 satellite, launched in 2010. The pioneer study by Berry *et al.* (2012) showed very promising capabilities of these types of measurements, being especially important by demonstrating the performance of the technology.

Among these, the SENTINEL-3 satellites embarked Ku band SAR altimeters. Although these were not primarily dedicated to the continental waters, we know, owing to Cryosat-2, that these altimeters also produce highly valuable measurements over the continental water bodies. The first satellite of the SENTINEL-3 series, SENTINEL 3A launched in 2016. The second one followed it 2 years later in 2018, on an interleaved orbit. According to funds, these satellites should be followed by two other ones, respectively SENTINEL 3C launched in 2024 and SENTINEL 3D it is scheduled to be launched in 2027, to guarantee a 25-year duration of uninterrupted survey of the Earth Environment. Therefore, uninterrupted series of water levels at the crossings of their orbit with the river systems can be expected.

Similarly, the research class JASON-2 satellite, last satellite of the renowned NASA/CNES altimetric missions started in the 90's with TOPEX/Poseidon, it is followed by an operational version, JASON-3, launched in 2016. As it is an operational mission, JASON-3 no more it operated by the French CNES and US NASA space agencies but by the operational European EUMETSAT and US NOAA agencies. Taking advantage of the aforementioned technology advance, JASON-3 does not work in LR mode as JASON-2, but in SAR mode. It flies at the same orbit as JASON-2, enabling the highly expected continuity in the 10-day series at the crossing of this orbit ground track with the river reaches over most large basins of the world.

Taking all these evolutions together, one can say that since the end of 2018, 3 operational missions working in SAR mode have been flying together. Not to mention, a laser mission, ICESat-2 collect altimetric measurements over the rivers since 2018. With a 70 cm along-track resolution and 10 cm accuracy in the range determination, this mission clearly provides additional highly valuable measurements. The major limitation of this mission is that it flies a 91 day repeat orbit, with very little time sampling at a given place. However, as has been shown by Bercher *et al.* (2012) with Cryosat-2 which is flying a 369 day repeat orbit, such a sampling scheme can also be quite useful. First, the low time sampling is compensated by a high spatial sampling, ~10 km on the Madeira River for example. Yet, ICESat-1, which flew 7 years from 2003 to 2009, has been little used for studies in hydrology and most remains to be done to take full advantage of the high-quality measurements collected by the GLAS instrument born by ICESat-1.

At the very beginning of the 2020s, all the missions have been overstridden by the SWOT mission, launched in 2022. SWOT is the first satellite mission dedicated to the measurement of river levels, among other goals. SWOT embark KARIN, a wide swath Ka band interferometer. Owing to this instrument, SWOT provides full coverage of all the continental domain, but the polar most area of the Antarctic, since orbit inclination is around 78°. The orbit repeat period is 21 days. These characteristics mean that SWOT samples the stage, slope and width of all the river reaches wider than 100m, twice every 21 days. The vertical accuracy is down to the ten centimeter-level at the km² scale of river surface. Intrinsically, this mission clearly brings a complete revolution in the way the hydrology data are collected since it's close to some continuous spatial monitoring, well far from the today very sparse gauge networks in most of the great basins of the world. But it must be considered also as a companion of the aforementioned constellation of nadir satellites. With respect to this constellation, SWOT bring temporal densification of their long living series since it sample all the ground tracks at each cycle, it's a powerful inter-calibration tool since it makes consistent measurements in the series of the various missions, and it's a unique tool to tune the hydrological/hydrodynamical models between the locations of the gauges, when exist, and the nadir constellations crossings with the river network.

Conclusion

Satellite altimetry is now a mature technique over large rivers. Within the current decade, it has evolved towards a dramatic improvement in vertical accuracy and target resolution. Since 2022, with the launch of SWOT, we have a swath altimeter ensuring full coverage of the water bodies twice every 21-day cycle, besides the pre-existing constellation of 2 to 5 nadir pointing satellites. These changes in the spatial and temporal rates of data collection must be accompanied by changes in the way we think river monitoring if we want to fully take advantage of this new way of collecting height measurements over rivers.

Acknowledgements

The authors would like to thank the students at the University of the State of Amazonas (UEA) involved in the Research Initiation Program of the RHASA Research Team, as well as the Graduate Program in Water Resources Management and Regulation (ProfÁgua). We are also grateful to the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES) – Funding Code 001, and to the National Water and Sanitation Agency (ANA), through the CAPES/UNESP Agreement No. 951420/2023. Finally, we acknowledge the Funding Authority for Studies and Projects (FINEP) for their financial support of this research through the PARHINTINS and GRHAMA projects.

References

- ALSDORF, D. E.; BIRKETT, C. M.; DUNNE, T.; MELACK, J.; HESS, L. Water level changes in a large Amazon Lake measured with spaceborne radar interferometry and altimetry. *Geophysical Research Letters*, v. 28, n. 14, p. 2671-2674, 2001. Available at: <https://doi.org/10.1029/2001GL012962>. Accessed: 30 jan. 2025.
- ALSDORF, D. E.; RODRIGUEZ, E.; LETTENMAIER, D. P. Measuring surface water from space. *Reviews of Geophysics*, v. 45, n. 2, RG2002, 2007. Available at: <https://doi.org/10.1029/2006RG000197>. Accessed: 30 jan. 2025.
- BERCHER, N.; KOSUTH, P. Quality of river water level time series issued from satellite radar altimetry: influence of river hydrology and satellite measurement accuracy and frequency. *Geophysical Research Abstracts*, v. 8, 09887, 2006. Available at: <https://doi.org/10.1029/2006RG000197>.

meetings.copernicus.org/www.cosis.net/abstracts/EGU06/09887/EGU06-J-09887.pdf. Accessed: 30 jan. 2025.

BERRY, P. A. M.; GARLICK, J. D.; FREEMAN, J. A.; MATHERS, E.L. Global inland water monitoring from multi-mission altimetry. *Geophysical Research Letters*, v. 32, n. 16, L16401, 2005. Available at: <https://doi.org/10.1029/2005GL022814>. Accessed: 30 jan. 2025.

BERRY, P. A. M.; SMITH, R. G. Satellite Radar Altimetry over Land: A Global Perspective. 2012. Proceedings of 20 years of progress in satellite radar altimetry, Venice, Italy, p. 24-29, September 2012.

BIRKETT, C. M. The contribution of TOPEX/POSEIDON to the global monitoring of climatically sensitive lakes. *Journal of Geophysical Research*, v. 100, n. 12, p. 25179-25204, 1995. Available at: <https://doi.org/10.1029/95JC02125>. Accessed: 30 jan. 2025.

BIRKETT, C. M.; MASON, I. M.; A new Global Lakes Database for a remote sensing programme studying climatically sensitive large lakes. *Journal of Great Lakes Research*, v. 21, n. 3, p. 307-318, 1995. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0380-1330\(95\)71041-3](https://doi.org/10.1016/S0380-1330(95)71041-3). Accessed: 30. jan 2025.

BIRKETT, C. M.; MURTUGUDDE, R.; ALLAN, T. Indian Ocean climate event brings floods to East Africa's lakes and the Sudd Marsh. *Geophysical Research Letters*, v. 26, p. 1031-1034, 1999. Available at: <https://doi.org/10.1029/1999GL900165>. Accessed: 30 jan. 2025.

BIRKETT, C. M. Synergistic remote sensing of Lake Chad: Variability of basin inundation. *Remote Sensing of Environment*, v. 72, p. 218-236, 2000. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(99\)00105-4](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(99)00105-4). Accessed: 30 jan. 2025.

BONNET, M. P. *et al.* Floodplain hydrology in an Amazon floodplain lake (Lago Grande de Curuaí). *Journal of Hydrology*, v. 349, n. 1-2, p. 18-30, 2008. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.10.055>. Accessed: 30 jan. 2025.

CALMANT, S.; SEYLER, F. Continental surface water from satellite altimetry. *Comptes Rendus Geosciences*, v. 338, n. 14-15, p. 1113-1122, 2006. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.crte.2006.05.012>. Accessed: 30 jan. 2025.

CALMANT, S.; SEYLER, F.; CRETAUX, J. F. Monitoring Continental Surface Waters by Satellite Altimetry. *Survey in Geophysics*, v. 29, n. 4-5, p. 1573-0956, 2008. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10712-008-9051-1>. Accessed: 30 jan. 2025.

CAMPOS, I. O. *et al.* Temporal variations of river basin waters from Topex/Poseidon satellite altimetry: Application to the Amazon Basin. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences- Series IIA - Earth and Planetary Science*, v. 333, p. 633-643, 2001. Available at: [https://doi.org/10.1016/S1251-8050\(01\)01688-3](https://doi.org/10.1016/S1251-8050(01)01688-3). Accessed: 30 jan. 2025.

- CAUHOPÉ, M. *Hauteurs d'eau d'une plaine d'inondation amazonienne par altimétrie spatiale, rapport de stage de DEA 'Sciences de la Terre et l'Environnement'*. 30 p. (in French). 2004.
- COE, M. T.; BIRKETT, C. M. Calculation of river discharge and prediction of lake height from satellite radar altimetry: Example for the Lake Chad basin. *Water Resources Research*, v. 40, W10205, 2004. Available at: <https://doi.org/10.1029/2003WR002543>. Accessed: 30 jan. 2025.
- CRÉTAUX, J. F.; BIRKETT, C. Lake studies from satellite radar altimetry. *Comptes Rendus Geoscience*, v. 338, n. 14-15, p. 1098-1112, 2006. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.crte.2006.08.002>. Accessed: 30 jan. 2025.
- CRÉTAUX, J. F. *et al.* Lake volume monitoring from space. *Surveys in Geophysics*, v. 37, p. 269-305, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10712-016-9362-6>. Accessed: 30 jan. 2025.
- CRÉTAUX, J. F. Inland Water Altimetry: Technological Progress and Applications. In: DI MAURO, A.; SCOZZARI, A.; SOLDVIERI, F. (eds) *Instrumentation and Measurement Technologies for Water Cycle Management*. Springer Water. Springer, Cham, 2022.
- CUDLIP, W.; RIDLEY, J. K.; RAPLEY, C. G. The use of satellite radar altimetry for monitoring wetlands, 1992. In: *Remote Sensing and Global Change*, Proc. 16th Annu. Conf. Remote Sensing Society, London, p. 207-216.
- DUNNE, T. *et al.* Exchanges of sediment between the floodplain and channel of the Amazon River in Brazil. *Geological Society of America Bulletin*, v. 110, n. 4, p. 450-467, 1998. Available at: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1998\)110<0450:EOSBTF>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1998)110<0450:EOSBTF>2.3.CO;2). Accessed: 30 jan. 2025.
- FLORENZANO, T.G. *Imagens de Satélite para Estudos Ambientais*. São Paulo: Oficina de Textos. 2002.
- FRAPPART, F. *et al.* Floodplain Water Storage in the Negro River Basin Estimated from Microwave Remote Sensing of Inundation Area and Water Levels. *Remote Sensing of Environment*, v. 99, p. 387-399, 2005. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.08.016>. Accessed: 30 jan. 2025.
- FRAPPART, F. *et al.* Preliminary results of Envisat RA-2-derived water levels validation over the amazon basin. *Remote Sensing of Environment*, v. 100, n. 2, p. 252-264, 2006. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.10.027>. Accessed: 30 jan. 2025.
- FRAPPART, F. *et al.* Interannual variations of river water storage from a multiple satellite approach: A case study for the Rio Negro River basin. *Journal of Geophysical Research*, v. 113, D21104, 2008. Available at: <https://doi.org/10.1029/2007JD009438>. Accessed: 30 jan. 2025.

- FRAPPART, F. *et al.* Surface freshwater storage and dynamics in the Amazon basin during the 2005 exceptional drought. *Environmental Research Letters*, v. 7, n. 4, 044010, 2012. Available at: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/4/044010>. Accessed: 30 jan. 2025.
- FU, L.; CAZENAVE, A. *Satellite altimetry and earth sciences: a handbook of techniques and applications.*, London (UK): Academic Press, 2001. 464 p.
- GUZKOWSKA, M. A. J. *et al.* *Developments in inland water and land altimetry.* ESA contract report 78391881FIFL, 1990.
- HALL, A. *et al.* Geodetic corrections to Amazon River water level gauges using ICESat altimetry. *Water Resources Research*, v. 48, W06602, 2012. Available at: <https://doi.org/10.1029/2011WR010895>. Accessed: 30 jan. 2025.
- KOBLINSKY, C. J.; CLARKE, R. T.; BRENNER, A. C.; FREY, H. Measurements of river level variations with satellite altimetry. *Water Resources Research*, v. 29, n. 6, p. 1839-1848, 1993. Available at: <https://doi.org/10.1029/93WR00542>. Accessed: 30 jan. 2025.
- KOURAEV, A. *et al.* Ob'river discharge from TOPEX/Poseidon satellite altimetry (1992–2002). *Remote Sensing of Environment*, v. 93, p. 238-245, 2004. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.07.007>. Accessed: 30 jan. 2025.
- LEON, J. G. *et al.* Rating curves and average water depth estimation at the upper Rio Negro from altimetric spatial data and calculated remote discharges. *Journal of Hydrology*, 328(3-4), 481-496, 2006a. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.12.006>. Accessed: 30 jan. 2025.
- LEON J. G. *et al.* Hydrological parameter estimation for ungauged basin based on satellite altimeter data ad discharge modeling. A simulation for the Caqueta River (Amazonian Basin, Colombia). *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 3, p. 3023-3059, 2006b. Available at: <http://doi.org/10.5194/hessd-3-3023-2006>. Accessed: 30 jan. 2025.
- MASON, I. M. *et al.* ERS-1 observations of lakes for climate research, 1985. In: *Proc. EARSeL/ESA Symposium 'European Remote Sensing Opportunities'*. Strasbourg, France, 31 March–3 April 1985.
- MERCIER, F.; CAZENAVE, A.; MAHEU, C. Interannual lake level fluctuations (1993–1999) in Africa from TOPEX/Poseidon: Connections with ocean–atmosphere interactions over the Indian ocean. *Global Planetary Changes*, v. 32, p. 141-163, 2002. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0921-8181\(01\)00139-4](https://doi.org/10.1016/S0921-8181(01)00139-4). Accessed: 30 jan. 2025.
- MERTES, L. A. K.; DUNNE, T.; MARTINELLI, L. A. Channel-floodplain geomorphology along the Solimões-Amazon River, Brazil. *Geological Society of America Bulletin*, v. 108, n. 9, p. 1089-1107, 1996. Available at: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1996\)108%3C1089:CFGATS%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1996)108%3C1089:CFGATS%3E2.3.CO;2). Accessed: 30 jan. 2025.

- MILLER, L. S. Topographic and backscatter characteristics of GEOS 3 overland data. *Journal of Geophysical Research*, v. 84, n. B8, p. 4045-4054, 1979. Available at: <https://doi.org/10.1029/JB084iB08p04045>. Accessed: 30 jan. 2025.
- MORRIS, C. S.; GILL, S. K. Variation of Great Lakes waters from Geosat altimetry. *Water Resources Research*, v. 30, p. 1009-1017, 1994. Available at: <https://doi.org/10.1029/94WR00064>. Accessed: 30 jan. 2025.
- PONCHAUT, F.; CAZENAVE, A. Continental Lake level variations from TOPEX/Poseidon (1993-1996). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences. Series IIA - Earth and Planetary Science*, v. 326, p. 13-20, 1998. Available at: [https://doi.org/10.1016/S1251-8050\(97\)83198-9](https://doi.org/10.1016/S1251-8050(97)83198-9). Accessed: 30 jan. 2025.
- ROUX, E. *et al.* Daily water stage estimated from satellite altimetric data for large river basin monitoring. *Hydrological Sciences Journal*, v. 53, p. 81-99, 2008. Available at: <https://doi.org/10.1623/hysj.53.1.81>. Accessed: 10 feb. 2025.
- SEYLER, F. *et al.* Monitoring water level in large trans-boundary ungauged basins with altimetry: the example of ENVISAT over the Amazon basin. *Proc. SPIE 7150, Remote Sensing of Inland, Coastal, and Oceanic Waters*, 2008. Available at: <https://doi.org/10.1117/12.813258>. Accessed: 10 feb. 2025.
- SEYLER, F. *et al.* Inundation risk in large tropical basins and potential survey from radar altimetry: example in the Amazon basin. *Marine Geodesy*, v. 32, n. 3, p. 303-319, 2009. Available at: <https://doi.org/10.1080/01490410903094809>. Accessed: 10 feb. 2025.
- SEYLER, F. *et al.* From TOPEX/Poseidon to JASON-2/OSTM in the Amazon basin. *Advances in Space Research*, v. 51, n. 8, p. 1542-1550, 2012. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.asr.2012.11.002>. Accessed: 10 feb. 2025.
- SILVA, J. S. *Altimetria Espacial em Zonas Úmidas da Bacia Amazônica*. Aplicações Hidrológicas. Saarbrücken (GE), Édition Universitaires Européennes. ISBN: 978-613-1-52979-5, 2010. Available at: <https://my.editions-ue.com/catalogue/details/fr/978-613-1-52979-5/altimetria-espacial-em-zonas-%2525C3%2525BAmidas-da-bacia-amaz%2525C3%2525B4nica>. Accessed: 10 feb. 2025.
- SILVA, J. S. *et al.* Water Levels in the Amazon Basin derived from the ERS-2 and Envisat Radar Altimetry Missions. *Remote Sensing of Environment*, v. 114, n. 10, p. 2160-2181, 2010. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.04.020>. Accessed: 10 feb. 2025.
- SILVA, J. S. *et al.* Water level dynamics of Amazon wetlands at the Watershed Scale by satellite altimetry. *International Journal of Remote Sensing*, v. 33, n. 11, p. 3323-3353, 2012. Available at: <https://doi.org/10.1080/01431161.2010.531914>. Accessed: 10 feb. 2025.
- SILVA, J. S. *et al.* Radar altimetry aids managing gauge networks. *Water Resources Management*,

- v. 28, p. 587-603, 2014. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11269-013-0484-z>. Accessed: 10 feb. 2025.
- SILVA, J. S. Monitoring of Water Resources by Spatial Altimetry. *Aracê*, v. 6, n. 3, p. 10612-10636, 2024. Available at: <https://doi.org/10.56238/arev6n3-374>. Accessed: 10 feb. 2025.
- YI, Y. *et al.* Performance of altimeter waveform retrackers in Lake Baikal. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences*, v. 24, n. 4, p. 513-519, 2013. Available at: [https://doi.org/10.3319/TAO.2012.10.09.01\(TibXS\)](https://doi.org/10.3319/TAO.2012.10.09.01(TibXS)). Accessed: 10 feb. 2025.
- ZAKHAROVA, E. A.; KOURAEV, A. V.; CAZENAVE, A.; SEYLER, F. Amazon River discharge estimated from TOPEX/Poseidon altimetry. *Comptes Rendus Géoscience*, v. 338, n. 3, p. 188-196. 2006. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.crte.2005.10.003>. Accessed: 10 feb. 2025.
- ZHANG, M. *et al.* Application of Retracked Satellite Altimetry for Hydraulic Studies. *International Journal of Remote Sensing*, v. 31, n. 14, p. 3913-3929, 2010. Available at: <https://doi.org/10.1080/01431161.2010.483495>. Accessed: 10 feb. 2025.

Geotechnical and fluvial erosion analysis through field investigations

Luciane Farias Ribas
Mateus Ferreira de Oliveira
Joecila Santos da Silva

Introduction

The tactile-visual identification method is a fundamental technique in preliminary geotechnical reconnaissance campaigns, allowing for rapid and qualitative analysis of soil physical properties directly in the field. Its application is particularly relevant in remote areas or regions with limited laboratory infrastructure, such as riverine communities in the Amazon.

This study presents the application of this methodology in soils with characteristics representative of the Parintins-AM region, focusing on the assessment of susceptibility to fluvial erosion in marginal slopes. The characterization was complemented by laboratory tests, contributing to the understanding of the mechanical behavior of the analyzed soils and reinforcing the method's usefulness as an initial diagnostic tool.

Backgrounds

Visual-Manual Soil Classification as a Preliminary Geotechnical Technique

Visual-manual soil classification is a widely adopted field methodology for the rapid qualitative assessment of soil properties based on direct observation and manual handling. It enables the identification of key physical attributes such as color, texture, structure, consistency, and the presence of inclusions or organic material, following standardized guidelines provided by national and international protocols (EMBRAPA, 1997; Dnit, 2006; ASTM D2488). Although it does not replace laboratory-based characterization, this approach is particularly valuable due to its low cost, simplicity, and immediate applicability—

especially in remote regions, construction sites, and geohazard-prone areas. As an early-stage geotechnical investigation tool, it supports decision-making regarding sampling locations, classification of homogeneous soil strata, and preliminary assessments of slope stability and erosion susceptibility. Furthermore, it provides essential insights for understanding potential failure mechanisms in foundation systems and embankments, reinforcing its relevance in preliminary site assessment workflows (Silva Pinto *et al.*, 2021; Meleu, 2017; Olivatto *et al.*, 2022).

In tactile-visual soil identification, key physical parameters are systematically assessed to infer geotechnical behavior. Soil color, analyzed in both dry and moist conditions, provides insights into mineral composition, weathering degree, and organic matter content. Texture, determined by hand manipulation, enables classification into sandy, silty, or clayey soils—the latter being more cohesive and commonly linked to higher resistance against erosion (Brady; Weil, 1996; EMBRAPA, 2009). Structural features are observed through the natural aggregation of particles, which may present as granular, platy, prismatic, or blocky forms. Each structural type reflects a specific internal arrangement that influences mechanical stability and permeability.

Other key parameters include plasticity—assessed by hand-molding moist soil into cylindrical shapes—and stickiness, evaluated by its adhesion to the fingers. Both are associated with the content of active clay minerals. Additional field indicators, such as effervescence with HCl (presence of carbonates), bluish or black stains (manganese oxides), magnetic response (ferromagnetic minerals), and sulfur odor when rubbed on porcelain (sulfides), provide valuable chemical and mineralogical clues influencing soil resistance to disaggregation (Carvalho Filho *et al.*, 2011; EMBRAPA, 1997). The integration of these observable attributes supports the formulation of preliminary hypotheses on soil behavior, particularly in environments susceptible to instability, such as riverbanks and natural slopes.

Other key parameters include plasticity—assessed by hand-molding moist soil into cylindrical shapes—and stickiness, evaluated by its adhesion to the fingers. Both are associated with the content of active clay minerals. Additional field indicators, such as effervescence with HCl (presence of carbonates), bluish or black stains (manganese oxides), magnetic response (ferromagnetic minerals), and sulfur odor when rubbed on porcelain (sulfides), provide valuable chemical and mineralogical clues influencing soil resistance to

disaggregation (Carvalho Filho *et al.*, 2011; EMBRAPA, 1997). The integration of these observable attributes supports the formulation of preliminary hypotheses on soil behavior, particularly in environments susceptible to instability, such as riverbanks and natural slopes.

Geotechnical Properties of Sandy Soils and Their Relationship to Slope Stability

The physical properties of soils—particularly texture, plasticity, grain size distribution, and cohesion—directly influence their mechanical behavior. Texture, defined by the proportion of sand, silt, and clay, affects permeability, compaction, and shear strength. Sandy soils, characterized by coarse particle sizes, exhibit high permeability and low cohesion, making them more prone to disaggregation and water-induced erosion. According to Brady and Weil (2016), sandy soils are coarse-textured materials with high permeability, low cohesion, and reduced structural stability, rendering them susceptible to particle detachment and transport by water. Hillel (2003) explains that sandy soil consist of large particles and wide pores, which result in high drainage capacity, low water retention, and weak interparticle bonding—factors that collectively increase their vulnerability to hydric erosion. Similarly, Morgan (2005) emphasizes that the coarse texture and low cohesion of sandy soils make them highly erodible under rainfall or surface runoff. Plasticity, defined by Atterberg limits, reflects clay content and mineralogy and is a critical factor in soil deformability and water retention. Soils with low plasticity indices, such as the analyzed sands, display a friable behavior and tend to rupture easily under loading (Andrade *et al.*, 2011; Bruand *et al.*, 2005).

Grain size distribution analysis is fundamental to classify soils as well-graded or poorly graded. Poorly graded soils, such as those analyzed in this study, exhibit a uniform particle size distribution, which reduces internal friction and impairs compaction. While cohesion is commonly associated with clay content, it is also influenced by natural cementation, organic matter, and soil structure. Soils with low cohesion are more susceptible to erosion and slope instability (Holanda *et al.*, 2021). The interaction among these physical and mechanical properties governs soil behavior under hydraulic and mechanical loading conditions, which is critical to understanding its performance in fluvial erosion contexts.

Soil classification based on plasticity and grain size distribution is essential for understanding geotechnical behavior and guiding design and stabilization decisions. In Brazil, two primary classification systems are widely used: the Unified Soil Classification System (USCS) and the ABNT NBR 6502/2020 standard. The USCS relies on grain size distribution and Atterberg limits to categorize soils into groups such as SP (poorly graded sand) or CH (high-plasticity clay). Soils with a plasticity index (PI) below 7% are considered to have low plasticity, low cohesion, and friable behavior—features observed in the samples analyzed in this study. The combined interpretation of these classifications helps predict both the mechanical and hydraulic performance of soils and is particularly relevant in evaluating slope stability and susceptibility to erosion.

Sandy soil, composed of particles ranging from 2.0 mm to 0.075 mm, exhibit high permeability and low cohesion due to the limited presence of fine fractions. This granular and loose structure hinders the formation of interparticle bonds, resulting in low tensile strength and greater vulnerability to erosion, particularly on inclined slopes (Brady; Weil, 2016; Hillel, 2003; Morgan, 2005; Poesen, 2018). The high permeability further facilitates rapid water infiltration, which can reduce matric suction, weaken intergranular friction, and trigger instability processes such as shallow landslides and localized structural collapses (Fredlund; Rahardjo, 1993).

From a compaction perspective, sandy soils respond less efficiently to conventional densification methods, requiring specific energy levels and strict moisture control to achieve satisfactory dry densities (Hamada *et al.*, 2004). Even when compacted, these soils exhibit low undrained cohesion and shear strength that is strongly dependent on confining stress. In the Amazon region, where fluvial activity is intense, such characteristics make sandy soils highly susceptible to erosion and slope degradation. Therefore, their early identification—through methods such as tactile-visual classification—is essential to guide appropriate stabilization measures.

Naturally occurring cementing agents, such as carbonates, iron oxides, and manganese oxides, play a critical role in soil structural aggregation, promoting chemical bonding that enhances cohesion, mechanical strength, and resistance to erosion (Guo *et al.*, 2024; Li *et al.*, 2024; Portella *et al.*, 2012; Z. Sun *et al.*, 2023). Carbonates, which can be identified in the field through

effervescence when in contact with HCl, are common in alkaline and calcareous soils, where they contribute to increased strength and durability of the soil matrix (Taalab *et al.*, 2019). Iron oxides, typically found in tropical soils, impart reddish or yellowish hues and support the formation of stable aggregates by binding to clay particles (Correa *et al.*, 2008). Manganese oxides, although less common, function as adhesive colloids, reinforcing soil structure. The absence of these natural binders facilitates particle disintegration under water action, increasing soil susceptibility to erosion.

Fluvial Erosion and Bank Slope Instability in the Amazon Region

Fluvial erosion is a natural process involving the wearing away and transport of soil or rock particles due to flowing water along channels, banks, and adjacent slopes (Morgan, 2005). In fluvial environments, particularly in large-scale river basins such as the Amazon, this phenomenon is continuous and dynamic, often intensified by extreme hydrological events, seasonal river level fluctuations, and anthropogenic activities. Bank slope erosion can occur through several mechanisms, with the most common being surface erosion, basal undercutting, and retrogressive erosion (Gregory, 1979; Poesen, 2018). Surface erosion is associated with overland flow on slope surfaces, leading to the disaggregation of fine-grained layers and particle transport through rill and interrill erosion. This process is especially prevalent in slopes with limited vegetation cover, low cohesion, and prolonged exposure to rainfall or fluctuations in the water table (Gregory, 1979; Morgan, 2005; Poesen, 2018).

Basal undercutting is one of the most critical forms of erosion, occurring when river flow directly impacts the toe of the slope, removing support and leading to the collapse of upper layers. This process is frequently observed during flood events, when water levels and flow velocities increase, progressively scouring the base of the slope (Morgan, 2005). Retrogressive erosion involves the landward retreat of the slope due to successive failures or landslides triggered by the destabilization of the slope toe. This erosion mechanism is typical in sandy soils or soils with low cohesion, which rapidly lose stability after the removal of basal support (Parizzi *et al.*, 2011). Understanding these mechanisms is crucial for interpreting the behavior of riverbank slopes and for

planning effective prevention, containment, and monitoring strategies in areas susceptible to fluvial degradation.

The instability of riverbank slopes results from the interaction of geotechnical, hydrological, geomorphological, and anthropogenic factors. Sandy soils with low plasticity and lacking natural cementation exhibit low cohesion, which facilitates particle disaggregation under saturation. Poorly graded granulometry and high permeability further contribute to structural weakening. Seasonal fluctuations of Amazonian rivers create wetting and drying cycles that induce internal stresses, leading to fissures and slope collapses. Slope inclination, surface runoff, basal undercutting, and human interventions intensify these conditions, highlighting the importance of early diagnosis through tactile-visual soil characterization (Holanda *et al.*, 2021).

Tactile-visual soil characterization enables the in-situ identification of critical features affecting slope stability, such as sandy texture, granular structure, and absence of natural cementing agents. This facilitates the prioritization of vulnerable areas and guides the implementation of mitigation strategies, including drainage systems, revegetation, and slope reinforcement. It also serves as an efficient screening tool for sample selection during geotechnical surveys. In Amazonian contexts, where logistical constraints are significant, this approach becomes a strategic and sustainable method for erosion control (Toyama *et al.*, 2022). Within the Amazon Basin, geotechnical challenges are exacerbated by the prevalence of weakly cohesive quartz sands, characterized by low plasticity and loose structure, which increase susceptibility to basal undercutting and retrogressive erosion. River level fluctuations and high flow velocities further raise the risk of bank collapse. The scarcity of systematic data and limited access to laboratory infrastructure hinder corrective interventions. In this scenario, tactile-visual characterization combined with empirical erosion analysis represents a low-cost, high-applicability alternative that is essential for localized diagnostics in the Brazilian Legal Amazon.

Experimental procedures

Sampling

Representative soil samples were collected from marginal slopes in the Parintins-AM region, which are known to be susceptible to fluvial erosion. The sampling aimed to enable tactile-visual field identification and subsequent validation through laboratory tests, including Atterberg limits (liquid and plastic limits), particle size distribution by sieving and sedimentation, and specific gravity analysis. Soil extraction was conducted using a pickaxe and superficial scraping to remove organic matter. In the laboratory, the samples were manually spread over a plastic sheet for visual inspection and air-dried under ambient conditions before being stored in woven polypropylene bags.

Field Procedure

This stage aimed to identify soil characteristics through tactile and visual tests, focusing on parameters such as color, texture, structure, consistency, and specific properties like stickiness and the presence of mineral compounds. These assessments were carried out directly in the field following standardized soil characterization protocols, enabling a rapid and preliminary classification of the samples' geotechnical behavior.

Soil Color Identification

Soil color was assessed under two conditions: dry and moist. Initially, the color of the dry soil sample was observed to determine the predominant hues. The Munsell Soil Color Chart was used to ensure precise and standardized color classification. Subsequently, a small portion of the sample was moistened with distilled water to evaluate possible color changes, which may indicate variations in mineralogical composition or the presence of organic matter.

Soil Texture Assessment

Soil texture was evaluated through direct tactile analysis using a small amount of dry sample. The soil was rubbed between the fingers to assess its granulation by touch. Based on the tactile sensation, the following textural classifications were applied: soils with visible grains and a coarse feel were identified as sandy; those with a soft, flour-like texture were classified as silty; and samples exhibiting plasticity and stickiness when moistened were recognized as clayey.

Soil Structure Analysis

The analysis of soil structure was carried out through direct observation of the arrangement of particles. The assessment determined whether the soil was dispersed or aggregated into natural clusters. Based on this observation, the predominant structure was identified and classified according to geotechnical standards: granular structure, characterized by loose individual grains; platy (laminar) structure, formed by thin horizontal layers; prismatic structure, consisting of vertical columns; and blocky structure, defined by compact fragments with roughly cubical shapes.

Consistency and Stickiness Test

Consistency and stickiness were evaluated by molding a moist soil cylinder approximately 3 mm in diameter. Plasticity was assessed by bending the cylinder: if it fractured easily, it was classified as low plasticity; if it bent without breaking, it indicated high plasticity. Subsequently, the soil was compressed between the fingers to assess adhesion: it was considered to have low stickiness if it detached easily, and high stickiness if it adhered to the skin.

Manganese Identification

Manganese identification was carried out through direct visual inspection of the soil sample, focusing on the detection of dark spots with black or bluish coloration, which are indicative of manganese oxide presence. To complement the visual assessment, a handheld magnifying lens was used, allowing for more

precise verification of manganese concretions, typically appearing as small, rounded formations or dense specks within the soil matrix.

3Carbonate Identification

Carbonate identification was performed by applying a drop of 10% diluted hydrochloric acid (HCl) onto the surface of the soil sample. The reaction was closely observed, and the immediate effervescence—evidenced by bubble formation—was interpreted as an indication of carbonate compounds, such as calcite. This simple field test is commonly used to detect minerals that may act as natural cementing agents, directly influencing soil stability.

Magnetic Material Identification

The presence of magnetic materials in the soil was assessed by bringing a magnet close to the dry sample. If an attraction between the magnet and soil particles was observed, it was interpreted as evidence of magnetic minerals, such as magnetite. This procedure supports the identification of ferromagnetic components which, although they do not directly affect soil cohesion, can provide insights into the geological origin of the material or chemical alterations in the depositional environment.

Sulfide Identification

Sulfide identification was conducted through a sensory test by rubbing a portion of moist soil onto a white porcelain surface. The release of a characteristic rotten egg odor indicated the presence of sulfur-bearing minerals such as pyrite. This condition is typically associated with anaerobic environments and may influence the chemical stability and corrosive potential of the soil.

Laboratory Testing

Sample Preparation

The objective of sample preparation was to ensure the representativeness and homogeneity of the analyzed soil. Upon arrival at the laboratory, the material was carefully disaggregated and homogenized to prevent moisture loss. A riffle splitter or quartering method was employed to obtain representative subsamples. For the liquid and plastic limit tests, approximately 200 g of air-dried soil were separated, with coarse materials and organic matter removed; when excessive moisture was present, the sample was air-dried. For the specific gravity test, a 500 g soil portion was sieved through a 4.8 mm mesh, and the material passing through the sieve was used for analysis.

Determination of Liquid Limit (LL) and Plastic Limit (PL)

The objective of this test was to determine the liquid limit (LL) and plastic limit (PL) of the soil, which are essential parameters for geotechnical classification and assessment of soil behavior under moisture variation. The procedure was carried out under controlled laboratory conditions to prevent evaporation losses. For the LL test, distilled water was gradually added to the soil sample until a paste of suitable consistency was achieved, targeting closure at approximately 35 blows in the Casagrande cup apparatus. The mixture was then placed into the cup, forming a 10 mm thick layer, and a groove was created using the standard grooving tool. The cup was repeatedly dropped until the groove closed over approximately 13 mm, at which point a sample was collected to determine the moisture content, following the procedures outlined in ABNT NBR 6457. This process was repeated, adjusting the water content and ensuring a minimum of 3 minutes of homogenization, until at least four data points were obtained in the range between 35 and 15 blows.

Particle Size Distribution by Sieve Analysis

The particle size distribution test aims to determine the grain size composition of a soil sample, which is essential for soil classification and for the design of geotechnical structures. Initially, the total air-dried mass (M_t)

was measured, and the sample was sieved through a 2.0 mm mesh, with lump disaggregation performed using a mortar and pestle. The retained fraction was washed, oven-dried at 105–110 °C and subjected to coarse sieving (50 mm to 4.8 mm). The passing fraction was split: 120 g was used for the main test (Mw), and 100 g was reserved for hygroscopic moisture determination (in accordance with ABNT NBR 6457). After washing through a 0.075 mm sieve, the retained material was dried and subjected to fine sieving (1.2 mm to 0.075 mm). The retained masses were measured with a precision of 0.01 g, and intermediate sieves were added when necessary to improve resolution. The cumulative results allowed the construction of grain size distribution curves, supporting soil classification and assessment of gradation.

Particle Size Distribution by Sedimentation

The sedimentation method was applied to determine the particle size distribution of the fine fraction (particles smaller than 0.075 mm), following the principles of Stokes' Law. Approximately 50 g of air-dried soil, free of organic matter and coarse fragments, was used. The sample was dispersed in a solution of water and sodium hexametaphosphate (as a deflocculant) and mechanically agitated for a minimum of 16 hours to ensure complete disaggregation of the particles. The suspension was then transferred to a sedimentation cylinder and filled with distilled water up to the 1,000 mL mark.

Hydrometer readings were taken at specified time intervals (e.g., 15 seconds, 30 seconds, 1 minute, 2 minutes, up to 24 hours) to measure the density of the suspension, which reflects the concentration of particles still in suspension. The data collected allowed for the calculation of the percentage of particles in each size range (silt and clay). Corrections were made for temperature and deflocculant content, following the procedure outlined in ABNT NBR 7181. The results were used in combination with sieve analysis to construct the full particle size distribution curve.

Determination of Specific Gravity of Solids

The specific gravity test of soil particles was conducted according to the ABNT NBR 6458:2016 standard, aiming to determine the density of the solid particles, excluding pores and entrapped air. This parameter is essential

for calculating geotechnical indices such as porosity, water content, and void ratio, which are critical for soil behavior evaluation and design.

The soil sample was initially washed through a 4.8 mm sieve, saturated in distilled water for 24 hours, then blotted to a surface-dry condition and weighed (M_{sat}). Subsequently, the sample was submerged in water to obtain the submerged mass (M_i), and finally oven-dried at 105–110 °C to determine the dry mass (M_s). These values were used to calculate the specific gravity (G_s), bulk density, and water absorption. For samples containing both retained and passing fractions through the 4.8 mm sieve, a weighted average equation was applied, in accordance with the standard.

Soil Classification Methodology

Soil classification aims to group materials based on their physical and mechanical properties, such as grain size distribution and plasticity, to estimate their behavior in civil engineering works. This systematic approach guides geotechnical investigations, supports design and construction decisions, and promotes greater safety in engineering interventions. The procedures adopted followed technical standards and the guidelines of the DNIT Field Manual. Representative soil samples were tested for particle size distribution, Atterberg limits, and specific gravity. Based on these results, the soils were classified according to the Unified Soil Classification System (USCS) and/or DNIT standards, as applicable. The results were then organized in accordance with normative criteria.

Results and discussion

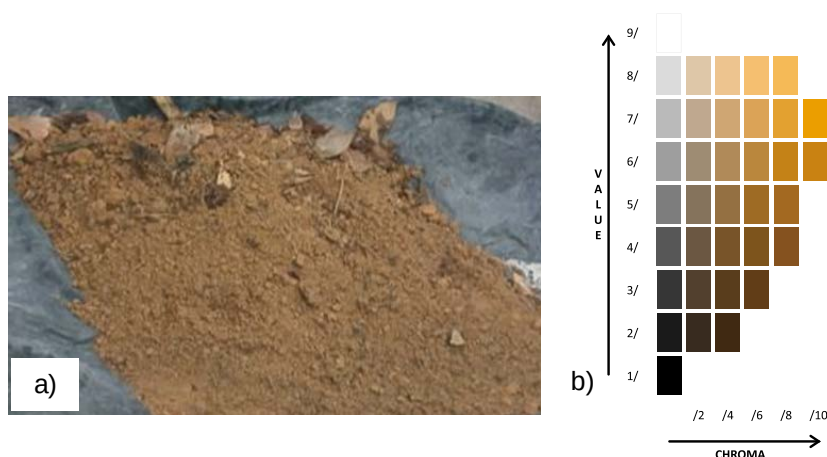
Visual and Tactile Soil Characterization

The visual and tactile characterization of the samples enabled the identification of relevant geotechnical properties associated with their composition and behavior. The results obtained for each step of the procedure are presented below.

Color Identification

The color analysis was performed based on comparison with the Munsell Soil Color Chart (Figure 1).

Figure 1 - a) Soil sample. b) Munsell color chart



Source: Authors (2025)

In its natural moisture state, the sample's color was estimated at 5/6. After drying, the observed color shifted to 5/8, while the moistened portion exhibited a hue close to 6/4. These variations indicate the presence of iron oxides and suggest good natural drainage of the soil.

Texture Evaluation

The soil texture was classified as sandy, with grains easily perceived by touch and a distinctly coarse feel (Figure 2).

Figure 2 - Texture evaluation



Source: Authors (2025)

This characteristic indicates high permeability and low cohesion, making the material more susceptible to surface erosion.

Soil structure analysis

The identified structure was granular, composed of small, loose aggregates with no apparent cohesion. This type of structure is typical of unconsolidated soils, which may contribute to slope instability in areas exposed to water action.

Consistency and stickiness test

In the consistency test, the sample exhibited low plasticity, breaking easily when molded (Figure 3).

Figure 3 - Consistency and stickiness test



Source: Authors (2025)

Stickiness was also classified as low, as the soil did not adhere to the fingers. These results reinforce the predominance of sandy particles and the absence of significant clay fractions.

Manganese identification

No dark or bluish stains were observed in the sample, even after inspection with hand lens. Therefore, it is concluded that manganese is not present in the analyzed soil.

Carbonate identification

The application of a drop of diluted hydrochloric acid (10% HCl) on the soil sample did not produce any effervescence, indicating the absence of carbonate compounds such as calcite in the soil composition (Figure 4).

Figure 4 - Carbonate identification



Source: Authors (2025)

Magnetic material identification

When a magnet was brought close to the soil sample, no attraction was observed, suggesting the absence of magnetic minerals such as magnetite in the material.

Sulfide identification

The sulfide identification test yielded negative results, as no characteristic odor was detected when the moist sample was rubbed against porcelain, indicating the absence of minerals such as pyrite.

The tactile-visual characterization revealed a sandy-textured soil with granular structure, low plasticity, and low stickiness, with no evidence of carbonates, manganese, or cementing organic materials. This combination reflects a low interparticle cohesion, which compromises the soil's resistance to water-induced degradation (Brady; Weil, 1996; Lal, 2001; Poesen, 2018).

The high permeability of sandy soils facilitates water infiltration but compromises resistance to surface runoff, basal scouring, and erosion driven by fluctuations in the water table, rendering them unstable in marginal slopes (Morgan, 2009; Poesen, 2018). The absence of cementing agents further exacerbates particle disaggregation, as no interparticle bonds are present to

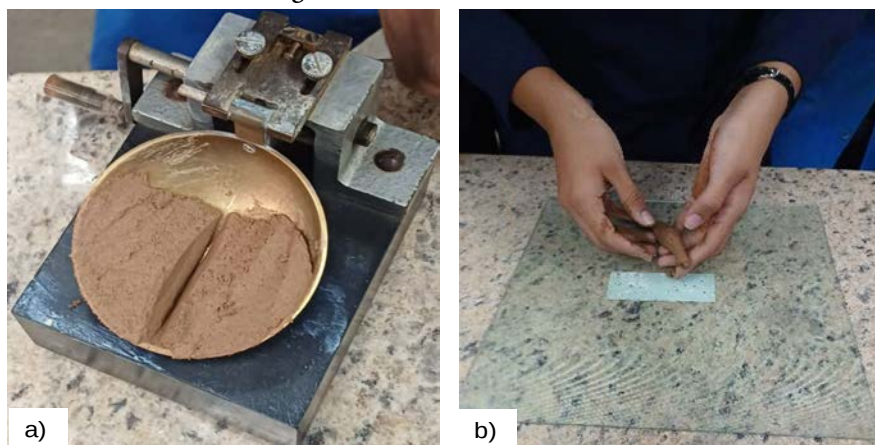
ensure structural stability (Bronick; Lal, 2005; Vladimír *et al.*, 2014). The low plasticity reinforces the soil's mechanical fragility, indicating a material prone to sudden failure.

Laboratory test results

Liquid And Plastic Limits

The Atterberg limit tests were conducted according to Brazilian technical standards ABNT NBR 6459/2017 (Liquid Limit) and ABNT NBR 7180/2016 (Plastic Limit) (Figure 5).

Figure 5 - Carbonate identification



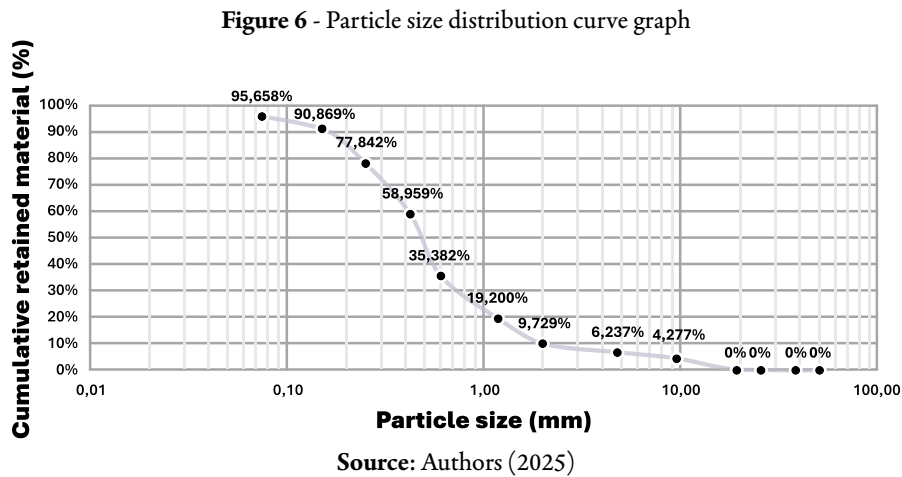
Source: Authors (2025)

The results indicated a liquid limit (LL) of 21.28% and a plastic limit (PL) of 16.06%, resulting in a plasticity index (PI) of 5.22%. Based on the Unified Soil Classification System (USCS), these values categorize the soil as having low plasticity. This classification consists of field tactile-visual assessments, which indicated a sandy texture, low cohesion, and granular structure. The low plasticity reflects a limited capacity for deformation without rupture and reduced resistance to erosion. In fluvial margin environments, such soils are considered critical, especially under conditions of concentrated flow and fluctuating water levels, as they are highly susceptible to disaggregation

and slope instability. Water level fluctuations in riverine environments can disrupt soil aggregates, lead to the loss of organic matter, and trigger breakdown processes, increasing the vulnerability to erosion and bank failure (Chen *et al.*, 2021; X. Sun *et al.*, 2024).

Particle Size Distribution Analysis

The results of the particle size distribution analysis, conducted in accordance with ABNT NBR 7181:2016, indicate that the soil is predominantly sandy, comprising approximately 49.39% fine sand and 38.41% coarse sand—totaling about 87.8% sand fraction. The silt and clay content accounted for only 5.77%, while gravel particles represented 6.43% of the sample. The resulting grain size distribution curve (Figure 6) confirms that the soil is poorly graded, meaning it has a relatively uniform particle size distribution within a narrow granulometric range, lacking a smooth transition between particle sizes.



This poorly graded structure suggests limited interlocking between grains, reduced shear strength, and increased vulnerability to erosion and slope instability under hydrodynamic stresses.

This type of particle size distribution results in high permeability, but also in low cohesion and poor compactability—features that compromise soil stability in environments exposed to water action. The absence of fine fractions,

which are essential for interparticle bonding, significantly increases the soil's susceptibility to fluvial erosion, particularly on marginal slopes subjected to river level fluctuations and surface runoff (Lima, 2011).

Specific Gravity Of Soil Grains

The test to determine the real specific gravity of soil particles was performed according to the DNER-ME 093/94 standard, using a pycnometer. The results indicated an average specific gravity of 2.70 g/cm^3 at 20°C , a typical value for mineral soils, particularly those rich in quartz, as is commonly observed in sandy soils. This parameter is essential for calculating void ratio, porosity, and other geotechnical indices used in assessing soil behavior under different mechanical and hydraulic conditions.

This value falls within the expected range for sandy soils, whose grains typically lack heavy minerals, carbonates, or high organic matter content. The specific gravity of soil particles is a key parameter for calculating dry density, degree of saturation, and other physical soil properties. It also plays a significant role in understanding soil behavior regarding compaction and shear strength. Experimental studies have demonstrated that bulk density has a direct influence on the lateral erosion rate of deposits along channel banks. Soils with higher density tend to exhibit greater resistance to erosion, as compaction enhances interparticle cohesion and reduces the likelihood of disaggregation under flowing water. Conversely, less compacted soils with lower density are more easily eroded and transported by fluvial processes (Duong Thi; Do Minh, 2019; Ge *et al.*, 2021; Smith *et al.*, 2022).

In the context of slope stability analysis under fluvial erosion conditions, the specific gravity of soil particles reinforces the classification of a lightweight, mineral-based, and low-cohesion soil, which is consistent with the other results obtained in this study.

Particle specific gravity is a critical input in bank stability prediction models, as it influences the soil's shear strength and its ability to resist water-induced detachment. Soils with higher specific gravity and greater compaction tend to be less erodible, whereas soils with lower density present greater vulnerability to lateral fluvial erosion (Mazumdar; Talukdar, 2018; Misra; Rose, 1995; Mostafa *et al.*, 2008).

Conclusion

This study presented the application of the tactile-visual characterization methodology on representative soil samples from the Parintins-AM region, aiming to assess its usefulness as a preliminary tool for identifying geotechnical properties associated with fluvial erosion susceptibility. The field experience, complemented by laboratory tests, demonstrated that the tactile-visual approach is effective in identifying key soil features such as color, texture, structure, consistency, and the presence of indicative compounds.

The results revealed that the analyzed soil has a sandy texture, loosely aggregated granular structure, and low plasticity, with no significant presence of natural cementing agents. These factors directly contribute to the soil's vulnerability to water action, especially in riverbank environments subject to water level fluctuations and concentrated flow. Laboratory analyses confirmed this interpretation, showing low cohesion and poor gradation of the material.

Therefore, it is concluded that the tactile-visual characterization method, despite being simple and low-cost, provides valuable information for preliminary diagnoses in areas vulnerable to fluvial erosion. Its application is particularly relevant in the Amazon region, where logistical challenges and limited resources make practical and accessible solutions essential for effective monitoring and technical planning in unstable areas.

Acknowledgments

The authors would like to thank the students at the University of the State of Amazonas (UEA) involved in the Research Initiation Program of the RHASA Research Team, as well as the Graduate Program in Water Resources Management and Regulation – ProfÁgua. We are also grateful to the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES) – Funding Code 001, and to the National Water and Sanitation Agency (ANA), through the CAPES/UNESP Agreement N°. 951420/2023. Finally, we acknowledge the Funding Authority for Studies and Projects (FINEP) for their financial support of this research through the PARHINTINS and GRHAMA projects.

References

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6457:2016*. Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6458:2016*. Solo – Determinação da massa específica dos grãos. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6459:2017*. Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7180:2016*. Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7181:2016*. Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6502:2020*. Rochas e solos – Terminologia. Rio de Janeiro, 2020.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM D2488-17e1*: Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure). West Conshohocken, PA, 2017. Available at: <https://store.astm.org/d2488-17e01.html>. Accessed: 30 jun. 2025.
- ANDRADE, F. A.; AL-QURESHI, H. A.; HOTZA, D. Measuring the plasticity of clays: A review. *Applied Clay Science*, v. 51, n. 1, p. 1-7, 2011. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.clay.2010.10.028>. Accessed: 30 jun. 2025.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. *The nature and properties of soils*. 1996.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. *The Nature and Properties of Soils*. (15th edition, Ed.). Pearson. 2016.
- BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, v. 124, n. 1, p. 3-22, 2005. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.03.005>. Accessed: 30 jun. 2025.
- BRUAND, A.; HARTMANN, C.; Lesturgez, G. *Physical properties of tropical sandy soils: A large range of behaviours. Management of Tropical Sandy Soils for Sustainable Agriculture. A Holistic Approach for Sustainable Development of Problem Soils in the Tropics*. 2005.
- CARVALHO FILHO, A. *et al.* Óxidos de manganês em solos do Quadrilátero Ferrífero (MG). *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, v. 35, p. 793-804, 2011.
- CHEN, S. *et al.* Soil erodibility indicators as affected by water level fluctuations in the Three Gorges Reservoir area, China. *CATENA*, v. 207, 105692, 2021. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105692>. Accessed: 30 jun. 2025.

- DNER. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. ME 093/94. Solo – Determinação da massa específica dos grãos por meio do frasco de Chapman (picnômetro). Rio de Janeiro, 1994.
- DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. *Manual de campo para levantamentos geotécnicos*. 2006.
- EMBRAPA. *Manual de técnicas de caracterização de solos* (2. ed., Ed.). Embrapa Solos. 1997.
- EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solo* (2. ed. rev. atual., Ed.). Embrapa Solos. 2009.
- FREDLUND, D. G.; RAHARDJO, H. *Soil mechanics for unsaturated soils*. John Wiley & Sons. 1993.
- GE, Y.; GUO, X.; ZHAN, M.; YAN, H. Erosion Rate of Lateral Slope Deposit Under the Effects of Different Influencing Factors. *Frontiers in Earth Science*, v. 9, 2021. Available at: <https://www.frontiersin.org/journals/earth-science/articles/10.3389/feart.2021.670087>. Accessed: 30 jun. 2025.
- GREGORY, K. J. The fluvial system, S. A. Schumm, New York, Wiley, 1977. No. of Pages: 338. price: £16.50. *Earth Surface Processes*, v. 4, n. 1, p. 97-98, 1979. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/esp.3290040121>. Accessed: 30 jun. 2025.
- GUO, G. *et al.* Soil organic matter components and sesquioxides integrally regulate aggregate stability and size distribution under erosion and deposition conditions in southern China. *Journal of Hydrology*, v. 639, 131588, 2024. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.131588>. Accessed: 30 jun. 2025.
- HAMADA, J.; CALÇAS, D. A. N. Q. P.; GIACHETI, H. L. Influência da compactação de um solo arenoso na infiltração e retenção de carga orgânica de chorume. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 9, n. 3, p. 180-186, 2004. Available at: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522004000300002>. Accessed: 30 jun. 2025.
- HILLEL, D. *Introduction to environmental soil physics*. Elsevier. 2003.
- HOLANDA, F. S. R. *et al.* Soil bioengineering in northeastern Brazil: An Overview. *Revista Ambiente & Água*, v. 16, 2021.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 17892-4:2014. Geotechnical investigation and testing – Laboratory testing of soil – Part 4: Determination of particle density. Geneva, 2014.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 17892-12:2018. Geotechnical investigation and testing – Laboratory testing of soil – Part 12: Determination of Atterberg limits. Geneva, 2018.
- LAL, R. Soil degradation by erosion. *Land Degradation & Development*, v. 12, n. 6, p. 519-539, 2001. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ldr.472>. Accessed: 30 jun. 2025.

- LI, H.; XU, Y.; ZIADI, N.; PARENT, L. E. Contributions of mineral and organic cement agents to soil aggregation under potato production in Eastern Canada. *Applied Geochemistry*, v. 177, 106233, 2024. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2024.106233>. Accessed: 30 jun. 2025.
- LIMA, E. R. V. Erosão do solo: Fatores condicionantes e modelagem matemática. *Revista Cadernos Do LOGEPA–Série Pesquisa*, Ano 1, p. 1-43, 2011.
- MAZUMDAR, N.; TALUKDAR, B. Role of physical properties of soil in river bank erosion assessment: a case study in lower Assam Region of River Brahmaputra of India. *Am. J. Eng. Res*, v. 7, n. 9, p. 197-205, 2018.
- MELEU, D. *Caracterização geológica e geotécnica das argilas orgânicas moles do quaternário: estudo de caso Vila Barraginha*, Contagem/Minas Gerais. 2017.
- MISRA, R. K.; ROSE, C. W. An examination of the relationship between erodibility parameters and soil strength. *Soil Research*, v. 33, n. 4, p. 715-732, 1995. Available at: <https://doi.org/10.1071/SR9950715>. Accessed: 30 jun. 2025.
- MORGAN, R. P. C. *Soil Erosion and Conservation*. (3rd edition, Ed.). Blackwell Publishing. 2005.
- MORGAN, R. P. C. *Soil erosion and conservation*. John Wiley & Sons. 2009.
- MOSTAFA, T. S.; IMRAN, J.; CHAUDHRY, M. H.; Kahn, I. B. Erosion resistance of cohesive soils. *Journal of Hydraulic Research*, v. 46, n. 6, p. 777-787, 2008. Available at: <https://doi.org/10.1080/00221686.2008.9521922>. Accessed: 30 jun. 2025.
- OLIVATTO, T. F.; TOYAMA, D.; ARRUDA, N. S.; MENEZES, D. B. Characterization of technogenic grounds: a tactile-visual approach for classification and mapping at local scale. *Geociências*, v. 41, n. 3, p. 617-632, 2022.
- PARIZZI, M. G. *et al.* Processos de movimentos de massa em Belo Horizonte, MG. *Revista Geografias*, v. 7, n. 1, p. 58-87, 2011.
- PINTO, G. H. S.; RESENDE, H. M.; RIGATTO, I. B.; FERREIRA, S. P. *Análise Comportamental de um Solo com Detritos Vegetais por Meio de Ensaio de Campo*. 2021.
- POESEN, J. Soil erosion in the Anthropocene: Research needs. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 43, n. 1, p. 64-84, 2018. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/esp.4250>. Accessed: 30 jun. 2025.
- PORTELLA, C. M. R. *et al.* Soil aggregation under different management systems. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, v. 36, 2012.
- SMITH, D. J.; SNEAD, M.; THOMPSON, T. M. Soil Amended With Organic Matter Increases Fluvial Erosion Resistance of Cohesive Streambank Soil. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, v. 127, n. 6, e2021JG006723, 2022. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2021JG006723>. Accessed: 30 jun. 2025.

- SUN, X. *et al.* Effects of Water-Level Fluctuation on Soil Aggregates and Aggregate-Associated Organic Carbon in the Water-Level Fluctuation Zone of the Three Gorges Reservoir, China. *Land*, v. 13, n. 3, 2024. Available at: <https://doi.org/10.3390/land13030313>. Accessed: 30 jun. 2025.
- SUN, Z. *et al.* Long-term effects of soft rock amendment on changes of soil aggregate cementing agents of sandy soil by SEM-EDS. *Frontiers in Environmental Science*, v. 11, 2023. Available at: <https://www.frontiersin.org/journals/environmental-science/articles/10.3389/fenvs.2023.1207781>. Accessed: 30 jun. 2025.
- THI, D. T.; MINH, D. D. Riverbank Stability Assessment under River Water Level Changes and Hydraulic Erosion. *Water*, v. 11, n. 12, 2019. Available at: <https://doi.org/10.3390/w11122598>. Accessed: 30 jun. 2025.
- TOYAMA, D.; ARRUDA, N. S.; MENEZES, D. B. *Characterization Of Technogenic Grounds: A Tactile-Visual Approach For Classification And Mapping At Local Scale* (Issue 3). 2022.
- VLADIMÍR, Š.; MAREK, K.; L'UBICA, P. Effect of Carbonates and Bivalent Cations and Their Relationships with Soil Organic Matter from the View Point of Aggregate Formation. *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*, v. 60, n. 3, p. 77-86, 2014. Available at: <https://doi.org/10.2478/agri-2014-0009>. Accessed: 30 jun. 2025.

Vegetação ripária da bacia hidrográfica do rio Tarumã-Açu: conservação e sustentabilidade

Maria da Glória Gonçalves de Melo
Maria Astrid Rocha Liberato
Angela Maria Imakawa
Fernanda Siza Amaral
Marta Regina Silva Pereira
Ieda Hortêncio Batista
Flávio Wachholz
Carlossandro Carvalho de Albuquerque

Introdução

A Amazônia é uma região estratégica tanto para o Brasil quanto para o planeta, devido a sua vasta e complexa biodiversidade, que desempenha papel primordial na provisão de produtos e serviços ambientais. Sua rica diversidade de espécies vegetais tem significativa importância, tanto do ponto de vista econômico quanto ecológico, contribuindo para a restauração de áreas degradadas e para a prestação de serviços ecossistêmicos essenciais, como o sequestro de carbono, ciclo hidrológico e a regulação do clima global (Artaxo *et al.*, 2022; Fearnside, 2018; Scudeller; Vegas-Vilarrúbia, 2018). Apesar de essencial para o equilíbrio do clima, a Amazônia tem enfrentado desafios críticos devido às mudanças climáticas, manifestadas por eventos extremos cada vez mais frequentes e intensos, como secas severas. Esses eventos afetam particularmente a economia local, impactando a produção agropecuária, especialmente a de agricultores familiares e a agricultura de subsistência das populações que dependem dos recursos hídricos da região.

Conforme Albert *et al.* (2023), os processos antropogênicos que impactam os ecossistemas amazônicos ocorrem em uma taxa de centenas a milhares de vezes mais rápidos do que os fenômenos climáticos e geológicos naturais. Essa rápida destruição dos ambientes amazônicos está ultrapassando, de forma alarmante, a capacidade de adaptação das espécies, e a resposta das interações ecológicas e dos ecossistemas como um todo (Mottl *et al.*, 2021).

As áreas úmidas da Amazônia correspondem a 20% do território brasileiro, e são caracterizadas por diferentes tipologias de vegetação inundável, abrigando espécies altamente adaptadas ao ciclo de inundações, que inclui alagamentos prolongados e períodos de estiagem (Cunha; Piedade; Junk, 2014; Piedade *et al.*, 2012). Apesar de sua indiscutível importância, esses ecossistemas apresentam uma menor diversidade de espécies em comparação às florestas de terra-firme, e essa percepção tem levado à subvalorização econômica, ecológica e social das áreas úmidas por parte dos tomadores de decisão, uma realidade que se reflete no Novo Código Florestal Brasileiro de 2012.

As florestas ripárias e os fragmentos florestais em bacias hidrográficas são componentes fundamentais dos ciclos hidrológicos e hidrogeoquímicos. Funcionalmente, essas áreas são essenciais para a renovação da qualidade da água, reposição hídrica por meio da evapotranspiração, controle da sedimentação e erosão (Rieger *et al.*, 2014) e fornecimento de alimentos e abrigo para a fauna local (Anschau *et al.*, 2017; Bueno *et al.*, 2012; Lees; Peres, 2008).

O desmatamento e a degradação das florestas ripárias na Amazônia têm avançado significativamente nos últimos anos, evidenciando a necessidade urgente de alertar as populações locais e a sociedade em geral para a sua proteção. A rápida expansão urbana, a extração ilegal de madeira, a agricultura, a pecuária e outras atividades antrópicas têm contribuído para a degradação dessas áreas (Junk *et al.*, 2000, 2024). Nesse contexto, a recuperação da cobertura de vegetação ripária tem ganhado destaque nas discussões sobre a preservação ambiental de áreas úmidas.

Em escala macro, as bacias amazônicas apresentam altos percentuais de cobertura vegetal. No entanto, esse cenário se torna menos favorável quando a análise é reduzida para sub-bacias ou para corpos d'água localizados em áreas urbanas, como a Bacia Hidrográfica do Rio Tarumã-Açu (Costa *et al.*, 2021). O Tarumã-Açu é um rio de água preta e um dos principais afluentes do rio Negro, abrange as zonas norte e oeste da cidade de Manaus, e é caracterizado por fragmentos de mata ciliar, que sofrem os impactos da crescente urbanização da cidade (Costa; Silva; Silva, 2013; Lees; Peres, 2008; Vasconcelos *et al.*, 2019). Na zona rural, a Bacia Hidrográfica do Rio Tarumã-Açu (BHTA) apresenta grande potencial ecoturístico, mas, também enfrenta uma série de conflitos ambientais resultantes dos múltiplos usos de suas águas e do processo desordenado de expansão agropecuária, abertura de ramais e desenvolvimento socioeconômico.

O desenvolvimento socioeconômico baseado em atividades sustentáveis relacionadas aos recursos hídricos e a conservação das florestas, aliado à adaptação às mudanças climáticas, só será possível por meio da coleta de dados e informações que subsidiem a gestão e o planejamento das áreas protegidas, especialmente no que se refere à vegetação ripária.

Nesse contexto, este artigo tem como objetivo analisar a importância da vegetação ripária, destacando as ameaças que comprometem sua preservação em áreas periurbanas. Além disso, busca discutir o impacto das mudanças climáticas nas florestas ripárias da Bacia Hidrográfica do Rio Tarumã-Açu, um importante afluente da margem esquerda do rio Negro, que sofre influência direta da urbanização de Manaus.

Material e métodos

Este trabalho foi realizado por meio de pesquisa bibliográfica de artigos científicos e artigos acadêmicos de periódicos revisados, indexadas nas principais bases de dados e bibliotecas virtuais de revistas científicas: Scopus®, Web of Science®, SciELO - Scientific Electronic Library Online, Plataforma de Periódicos da CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, bancos de teses e dissertações de Universidades e Google Acadêmico, além de consultas sobre legislação ambiental em base de dados institucionais e governamentais, site do sistema de informação sobre espécies da flora brasileira - REFLORA, utilizando palavras-chave relacionadas à cada tópico do artigo, como por exemplo: Tarumã-Açu, espécies florestais de áreas úmidas, espécies florestais nativas da Amazônia, vegetação ripária, floresta ripária, recuperação de áreas degradadas, Áreas de Preservação Permanente, legislação, uso e ocupação do solo, mudanças climáticas, conservação, código florestal.

Os artigos levantados passaram por uma prévia leitura e foram selecionados conforme o enquadramento referente aos tópicos centrais do tema da revisão, sendo os artigos selecionados salvos em pastas criadas no Google Drive e compartilhadas entre os autores para elaboração deste artigo.

Resultados e discussão

Áreas de Preservação Permanente (APP) da bacia hidrográfica do rio Tarumã-Açu

As Áreas de Preservação Permanente (APP) são definidas pelo novo Código Florestal Brasileiro (Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012), como “área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, além de facilitar o fluxo gênico da fauna e da flora, protegendo o solo e garantindo o bem-estar das populações humanas”.

As APP nas áreas rurais e urbanas, são identificadas como áreas sensíveis e como faixas que margeiam os cursos de água naturais perenes e intermitentes; áreas ao redor de lagos e lagoas naturais; áreas em margem de corpos d’água artificiais; áreas ao redor de nascentes; o topo de colinas; declives superiores a 45°; vegetação rasteira e as dunas, além dos manguezais e as margens do platô e bancos de areia de um rio (Lei nº 12.651/2012).

Manaus tem expandido de forma desordenada suas áreas de ocupação urbana, incluindo APPs, em consequência do crescimento desordenado e expansão imobiliária, marcada pelo estabelecimento de diversos condomínios que ultrapassam a distância permitida dos cursos d’água, como os igarapés. Esse processo tem gerado uma série de problemas socioambientais, como a falta de tratamento de efluentes de resíduos sólidos e líquidos que atingem as águas da bacia hidrográfica.

Segundo Costa *et al.* (2020, 2021), o baixo curso apresenta a menor área florestal em comparação com os demais cursos (43,49%) e concentra praticamente a totalidade da área urbanizada (5.408 ha) e mais de 70% das áreas de mineração da bacia. Grande parte da massa d’água está localizada nessa seção, totalizando uma área de 3.527 ha. Segundo os mesmos autores, no médio curso, o cenário se assemelha às condições gerais de cobertura da bacia, com 64,48% de área florestal, 17,40% campestre e 15,45% sem cobertura. Por se tratar de uma área de transição entre o ambiente urbano e rural, onde há uma intensa atividade de balneários e atividades agrícolas, a perda de área florestal está associada às vias de acesso como rodovias e ramais. O alto curso é classificado como pouco degradado, possuindo uma matriz florestal de 86,94%,

com alterações na paisagem próximas à BR-174 e a presença de processos erosivos. Teixeira (2021), avaliou cinco nascentes no alto curso e constatou que o grau de preservação destas, apresentou-se de aceitável a ótimo, corroborando com os dados avaliados por Costa *et al.* (2020, 2021).

De acordo com Costa *et al.* (2021), as estratégias de planejamento e gestão da BHTA devem levar em consideração a dinâmica de transformação da paisagem em direção às cabeceiras, dado o importante papel dessas áreas na sustentabilidade do sistema eco-hidrológico da bacia, especialmente devido ao grande número de nascentes e ao estado de degradação de outros segmentos. Diante desse cenário, a legislação vigente, especialmente no que se refere à APP, torna-se fundamental para garantir a proteção desses ecossistemas sensíveis, tema que será abordado na próxima seção.

Estudos demonstraram que rios adjacentes a paisagens fragmentadas frequentemente apresentam concentrações elevadas de nitrogênio (N) e fósforo (P), o que pode levar à eutrofização, processo que ocorre com a elevada concentração de nutrientes, geralmente N e P, que alimenta a proliferação de algas, esgota os níveis de oxigênio e afeta negativamente a vida aquática (Conley *et al.*, 2009; Santos; Medeiros, 2023; Sasabuchi *et al.*, 2023). Na margem esquerda da Bacia do Rio Tarumã Açu se observa uma proliferação de macrófitas aquáticas, que podem ser bioindicadoras das alterações da qualidade da água (Moraes; Melo; Liberato, 2024). As macrófitas, são amplamente conhecidas como bioindicadores da qualidade da água, devido à sua sensibilidade a alterações nas condições ambientais, como oxigênio dissolvido, temperatura, turbidez, pH da água e sólidos totais dissolvidos (Lombardi; Michelan, 2016).

Legislação e áreas de preservação permanente

A Lei Florestal Brasileira indica a necessidade de preservação e conservação de Áreas de Preservação Permanente, e para atender tal demanda, a legislação brasileira que reage às leis ambientais tem sofrido modificações ao longo do tempo. Todavia, ocorreram importantes modificações no Código Florestal, que levaram à redução na extensão de vegetação nativa a ser conservada, o que enfraquece a proteção das florestas ripárias. A mudança ocorrida de maior impacto é a delimitação da faixa marginal dos cursos d'água, pois no atual Código Florestal a APP é delimitada a partir do leito regular do

rio, isso pode acarretar redução da faixa de proteção da vegetação ripária. Essa modificação impacta principalmente a várzea, que é um ecossistema importante para dissipar as forças erosivas do escoamento superficial de águas pluviais, controlando as enchentes (Junk *et al.*, 2024; Tambosi *et al.*, 2015).

A partir da implementação do Cadastro Ambiental Rural (CAR) e do Programa de Regularização Ambiental (PRA) que foram as principais inovações do Novo Código Florestal, todos os proprietários de terra que tiverem infringido a lei, com ações de desmatamento ilegal em APP, por exemplo, serão obrigados a recuperar essas áreas. Essa necessidade elevará a demanda por sementes e mudas de espécies nativas com características de adaptação a esses ecossistemas. A eficiência de projetos de reflorestamento com espécies nativas envolve legislação, planejamento e estabelecimento de parâmetros ambientais, capazes de produzir mudas de qualidade que possam resistir às condições adversas de campo, e garantir a conservação da biodiversidade e a sustentabilidade das florestas implantadas.

Outra inovação positiva do Novo Código Florestal, é que atualmente a lei permite que as áreas de APP já com uso consolidado, mantenham a continuidade dessas atividades, desde que se utilize de boas práticas de conservação do solo. Anteriormente, era obrigatório recuperar a vegetação original com espécies nativas, mas agora essa recuperação pode ser feita por exemplo, com Sistemas Agroflorestais, SAFs, intercalando o plantio de espécies madeireiras e não madeireiras, frutíferas, e anuais, como por exemplo, mogno, cumaru, açaí, copaíba, mandioca e outras culturas que tragam retorno econômico ao longo do tempo aos produtores.

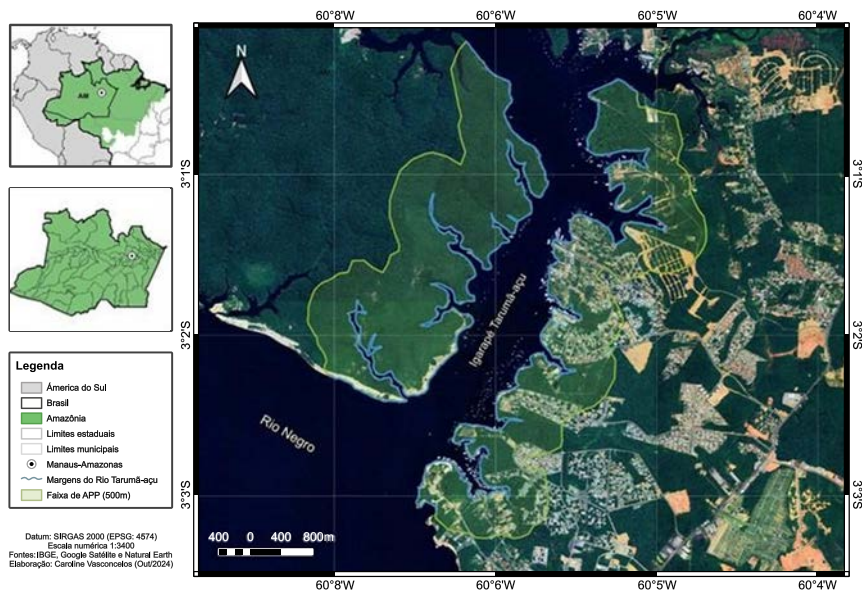
Processo de ocupação da bacia hidrográfica do rio Tarumã-Açu: impactos na vegetação ripária

A abertura da rodovia Transamazônica alterou significativamente a dinâmica do desmatamento em larga escala na região, facilitando o acesso e contribuindo para a formação do “arco do desmatamento”, que se intensificou na década de 1990, principalmente devido à pressão das atividades pecuárias (Oshiro; Andrade; Levyman, 2024). Nas últimas décadas, a degradação da região Amazônica vem avançando rapidamente, com o desmatamento atingindo níveis exponenciais em 2019 e 2020 (Marcovitch; Pinski, 2020).

Desde 1980, Manaus é marcada pela ocupação de APP, e os arredores da Bacia Hidrográfica do Rio Tarumã-Açu até hoje vêm sendo afetados pela abertura de rodovias, como a BR-174 e a AM-010 que contribuem para o processo de ocupação na região e estabelecimento de atividades, que levam ao processo de degradação dos recursos naturais ao longo dessas rodovias (Bühning, 2010; Lima, 2023). Nesse contexto, a criação de estradas para a facilitação do escoamento da produção para os centros urbanos provoca o desmatamento, tanto pela retirada de árvores, como por ações indiretas, com o surgimento de áreas de pastagem (Diniz, 2017). Essas atividades desenvolvidas na região impactam a vegetação ripária ainda preservada, que tem funções essenciais nos processos hidrológicos e hidrogeoquímicos (Figura 1 e 2A).

Marinho *et al.* (2022), relataram que as alterações na qualidade da água do Rio Tarumã-Açu estão diretamente relacionadas ao lançamento de material particulado e dissolvido, principalmente provenientes da área urbana de Manaus. Além disso, o uso intensivo de suas águas, como a presença de mais de 300 flutuantes e marinas, assim como o aumento do fluxo de embarcações, tem agravado a situação (Figura 1 e 2B). Os autores sugerem que o poder público deve implementar e manter um sistema contínuo de monitoramento da qualidade da água, combinando dados de estações pontuais com tecnologias de sensoriamento remoto. Esses dados também poderiam contribuir para estudos associados à perda de cobertura vegetal, que acelera os processos erosivos e contribuem para o aumento da sedimentação nos corpos hídricos. Diante dessas pressões sobre o ecossistema local, é essencial também considerar os impactos das mudanças climáticas.

Figura 1 - Área de Preservação Permanente da Bacia Hidrográfica do Rio Tarumã-Açu (BHTA), Manaus, Amazonas



Fonte: Os autores (2024)

Figura 2 - Área de vegetação ripária preservada (A) e antropizada (B) na Bacia Hidrográfica do Rio Tarumã-Açu (BHTA), Manaus, Amazonas



Fonte: Os autores (2024)

Mudanças climáticas e seus impactos

As mudanças do clima causadas por ações antrópicas, de acordo com o INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC, 2023) tornam-se evidentes nas alterações extremas observadas como, ondas de calor, precipitações intensas, secas e ciclones tropicais em diferentes

regiões do mundo. Os impactos em alguns ecossistemas estão próximos da irreversibilidade, tais como os impactos das mudanças hidrológicas dos ecossistemas de água doce. Ainda, segundo o IPCC (2023), mudanças no ecossistema de água doce, e a confiabilidade atribuída à mudança do clima são consideradas altas ou muito altas, assim como a vulnerabilidade das populações que vivem em áreas remotas nas diferentes regiões do mundo.

Variações climáticas globais podem ser decorrentes de causas naturais, como por exemplo El Niño e La Niña, porém também podem ser causadas por influência do homem no equilíbrio natural do planeta (Nobre; Sampaio; Salazar, 2007). Alteração do uso da terra, decorrente do desmatamento da cobertura vegetal para atividades agropecuárias, que implica na transferência de carbono da biosfera para a atmosfera, é um fato que contribui para o aquecimento global, que afeta a região amazônica.

Os cenários de mudanças climáticas para a Amazônia, apontam para um aumento na temperatura média do ar projetado até o final do século XXI acima de 4°C e redução nas chuvas de até 40% na Amazônia (Marengo; Souza Junior, 2018). Essa mudança na temperatura tem potencial para gerar grandes desequilíbrios em ecossistemas vitais para a sobrevivência da humanidade. Segundo o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (Brasil, 2016), a América do Sul é o continente com maior risco de extinção de espécies.

As mudanças antropogênicas nos ambientes amazônicos estão associadas a processos mundiais, avançando muito mais rápido do que os processos naturais de contrabalanço no sistema terrestre (Sanderson *et al.*, 2022). Entre os desequilíbrios mais importantes em andamento, estão as taxas aceleradas de mudança climática, elevação do nível do mar, substituição da vegetação terrestre (Mottl *et al.*, 2021), extinção de espécies (Thomas *et al.*, 2004), erosão do solo e sedimentação de cursos d'água.

A redução das chuvas devido às mudanças climáticas globais e o desmatamento, tornam a floresta suscetível a queimadas, causando a redução das espécies que são menos tolerantes à seca, que pode acarretar um processo de savanização (Nobre; Sellers; Shukla, 1991; Salazar; Nobre; Oyama, 2007). Dados do 40º Boletim de Alerta Hidrológico da Bacia do Amazonas de 01.10.2024 (SGB, 2024), registraram que o nível da água do rio Negro registrou níveis muito baixos com variações em média de 17 cm, o segundo menor registro da série de dados, desde 1902, como pode ser observado na Figura 3.

Lovejoy e Nobre (2018) ressaltam a importância de restringir as ações de desmatamento, reduzindo a área para menos de 20% para que a Amazônia não chegue a um ponto de inflexão, onde não haveria mais alternativas ou soluções para recuperar a floresta (Boulton; Lenton; Boers, 2022; Lapola *et al.*, 2023).

As mudanças climáticas também reduzirão a produtividade agrícola, levando a uma perda gradual da capacidade de planejamento da produção. Cerca de 30% da produtividade dos alimentos está diretamente ligada à variação climática, enquanto os outros 70% são atribuídos a insumos, fertilizantes, genética e práticas agrícolas. Isso significa que, quando há imprevisibilidade climática, a produtividade cai, independentemente do investimento em tecnologia. As secas prolongadas, especialmente na região Norte, onde a agricultura familiar é predominante, podem ter consequências drásticas para os meios de subsistência dos pequenos agricultores (Viola; Mendes, 2022). Diante desse cenário, torna-se urgente discutir e implementar medidas de conservação voltadas à preservação da vegetação, tema que será abordado na próxima seção.

Figura 3 - Impactos da seca na Bacia Hidrográfica do Rio Tarumã-Açu



Fonte: Os autores (2024)

Medidas de conservação para a vegetação

O Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (PLANAVEG) (Brasil, 2017), tem como objetivo ampliar e fortalecer políticas públicas, incentivos financeiros, mercados privados e práticas agrícolas. Essas medidas irão determinar as bases para alcançar a recuperação em uma escala maior, com a possibilidade de agregar áreas adicionais àquelas exigidas pela Lei 12.651/2012. O plano visa atingir oito iniciativas para motivar, facilitar e implementar a recuperação da vegetação nativa.

1. A criação de um movimento de comunicação voltado para os agricultores, cidadãos urbanos e formadores de opinião, com o objetivo de promover a sensibilização para a importância da recuperação de áreas degradadas, através do conhecimento dos benefícios socioambientais.
2. Promover a cadeia produtiva da recuperação da vegetação nativa por meio do aumento da capacidade de viveiros e demais estruturas para produção de espécies nativas, e racionalizar as políticas para melhorar a quantidade, a qualidade e a acessibilidade de sementes e mudas de espécies nativas.
3. Incentivar os proprietários de terras a gerar receita com produtos não madeireiros, a proteção de bacias hidrográficas, entre outros serviços impulsionados pela recuperação da vegetação nativa.
4. Desenvolver mecanismos financeiros inovadores para incentivar a recuperação da vegetação nativa, como empréstimos bancários preferenciais, subsídios, compensação ambiental e isenções fiscais específicas.
5. Definir as responsabilidades entre os órgãos competentes do governo, empresas e a sociedade civil, alinhando as políticas públicas para a recuperação da vegetação.
6. Contribuir com o treinamento dos proprietários de terras, levando em consideração métodos de recuperação com baixo custo.

7. Implementar um sistema nacional de planejamento espacial e de monitoramento para apoiar o processo de tomada de decisão para a recuperação da vegetação nativa.
8. Pesquisa, desenvolvimento e inovação.

Uma das medidas de conservação e auxílio no processo de recuperação de áreas degradadas na Amazônia, será o uso de tecnologias de informação, como ferramentas digitais, imagens de satélites e biossensores que podem ser usados no monitoramento da habilidade das plantas para absorver nutrientes e para avaliar a eficiência na aplicação de fertilizantes. Além disso, pode-se aliar a biotecnologia com a nanotecnologia em sensores para criar um dispositivo de sensibilidade maior permitindo uma resposta mais rápida às alterações ambientais, como a detecção precoce de estresses bióticos e abióticos.

Políticas para mitigar os efeitos da degradação dos ecossistemas são conhecidas e devem ser implementadas imediatamente. No entanto, precisamos de vontade política e liderança, envolvimento do poder público e da sociedade em geral, para agir com base nessas informações, pois a preservação do bioma Amazônia é fundamental para a sustentabilidade do planeta.

Considerações finais

A vegetação ripária da Bacia Hidrográfica do Rio Tarumã-Açu vem enfrentando os efeitos negativos decorrentes da expansão urbana da cidade de Manaus, atividades de mineração, turismo e desmatamento para práticas agrícolas.

A proteção dessas áreas está pautada no Novo Código Florestal Brasileiro, a Lei 12.651, de 25 de maio de 2012, e é importante para a manutenção dos recursos hídricos, da biodiversidade, e para a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, buscando assim, minimizar os impactos ambientais e promover o uso sustentável dos recursos naturais.

A implementação do Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa, com ações coordenadas entre o governo, sociedade, academia e setor privado, é de fundamental importância para reverter o processo de degradação dessas áreas e garantir a conservação e a sustentabilidade das florestas ripárias.

O uso de tecnologias da informação geográfica e ferramentas de inteligência artificial, também podem desempenhar um papel fundamental no monitoramento das Áreas de Preservação Permanente (APP) e na recuperação de áreas degradadas na Amazônia.

Referências

- ALBERT, J. *et al.* Human impacts outpace natural processes in the Amazon. *Science*, v. 379, n. 6630, p. eabo5003, 2023. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abo5003>. Acesso em: 15 out. 2024.
- ANSCHAU, S. A. *et al.* Vegetação ripária e métodos de estudo. *Natural Resources*, v. 7, n. 1, p. 19-32, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.6008/SPC2237-9290.2017.001.0003>. Acesso em: 10 out. 2024.
- ARTAXO, P.; HANSSON, H. C.; MACHADO, L. A. T.; RIZZO, L. V. Tropical forests are crucial in regulating the climate on Earth. *PLOS Climate*, v. 1, n. 8, p. e0000054, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000054>. Acesso em: 9 out. 2024.
- BOULTON, C. A.; LENTON, T. M.; BOERS, N. Pronounced loss of Amazon rainforest resilience since the early 2000s. *Nature Climate Change*, v. 12, p. 271-278, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01287-8>. Acesso em: 9 out. 2024.
- BRASIL. *Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012*. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 28 maio 2012. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2012/lei-12651-25-maio-2012-613076-normaatualizada-pl.pdf>. Acesso em: 10 out. 2024.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. MMA. *Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima*. Brasília: MMA, 2016. Disponível em: <https://www.gov.br>. Acesso em: 15 out. 2024.
- BRASIL. PLANAVEG: *Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa*. Ministério do Meio Ambiente; Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; Ministério da Educação. Brasília, DF: MMA, 2017. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-biomas/biomas-e-ecossistemas/conservacao-1/politica-nacional-de-recuperacao-da-vegetacao-nativa/planaveg_plano_nacional_recuperacao_vegetacao_nativa.pdf. Acesso em: 10 out. 2024.
- BUENO, A. S. *et al.* The width of riparian habitats for understory birds in an Amazonian forest. *Ecological Applications*, v. 22, n. 2, p. 722-734. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1890/11-0789.1>. Acesso em: 13 out. 2024.
- BÜHRING, R. *Estudo da dinâmica de uso do solo e cobertura vegetal e elaboração de uma proposta de zoneamento para a Bacia Hidrográfica do Tarumã, Manaus, Amazonas*. 2010. Dissertação

- (Mestre em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2010. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/3007/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Ricardo%20B%C3%BChring.pdf>. Acesso em: 13 out. 2024.
- CONLEY, D. J. *et al.* Controlling eutrophication: nitrogen and phosphorus. *Science Magazine*, v. 323, p. 1014-1015, 2009. Disponível em: [10.1126/science.1167755](https://doi.org/10.1126/science.1167755). Acesso em: 17 out. 2024.
- COSTA, E. B. S.; SILVA, C. L.; SILVA, M. L. Caracterização física de bacias hidrográficas na região de Manaus-AM. *Caminhos de Geografia*, v. 14, p. 93-100, 2013. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/19846>. Acesso em: 9 out. 2024.
- COSTA, J. S. *Relatório de situação bacia hidrográfica do Tarumã-Açu: transformações antrópicas e qualidade da água*. Universidade do Estado do Amazonas, Prof. Água. v. 1, n. 1, 2020. Disponível em: <https://pos.uea.edu.br/data/area/dissertacao/download/44-2.pdf>. Acesso em: 12 out. 2024.
- COSTA, J. S. *et al.* Estado de conservação e qualidade da água em uma bacia hidrográfica periurbana na Amazônia Central. *Scientia Plena*, v. 17, n. 9, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2021.091701>. Acesso em: 12 out. 2024.
- CUNHA, C. N.; PIEDADE, M. T. F.; JUNK, W. J. (Eds.). *Classificação e delineamento das áreas úmidas brasileiras e de seus macrohabitats*. EdUFMT, 2014. Disponível em: https://observatoriopantanal.org/wp-content/uploads/crm_perks_uploads/5cb0f734750a11456042675850236/2020/09/2015_Classificao_e_Delineamentodas_Areas_Umidas_Brasileiras_e_Seus_Macrohabitats.pdf. Acesso em: 17 out. 2024.
- DINIZ, M. B. *Desmatamento e Ausência de Riqueza na Amazônia*. 1. ed. Belém: Editora Paka-Tu, 2017.
- FEARNSIDE, P. M. Brazil's Amazonian forest carbon: the key to Southern Amazonia's significance for global climate. *Regional Environmental Change*, v. 18, p. 47-61, 2018. Disponível em: <https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/15662>. Acesso em: 14 out. 2024.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. IPCC. *Climate Change 2023: Synthesis report summary for policymakers*. Sixth assessment report (AR6) of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, 2023. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>. Acesso em: 16 out. 2024.
- JUNK, W. J. *et al.* *The Central Amazon Floodplain: Actual Use and Options for a Sustainable Management*. Backhuys Publishers, 2000. Disponível em: <https://hdl.handle.net/11858/00-001M-0000-000F-E03F-F>. Acesso em: 16 out. 2024.

- JUNK, W. J. *et al.* Riachos e áreas úmidas ripárias no Brasil: Situação do conhecimento científico e recomendações para sua proteção. 2024. In: JUNK, W. J.; CUNHA, C. N. (orgs.). *Inventário das áreas úmidas brasileiras*: Distribuição, ecologia, manejo, ameaças e lacunas de conhecimento, (recurso digital) Cuiabá-MT: Carlini & Cariato Editorial. Cap. 15, p. 425-463, 2024. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/385067936>. Acesso em: 16 out. 2024.
- LAPOLA, D. M. *et al.* The drivers and impacts of Amazon forest degradation. *Science*, v. 379, n. 6630, p. abp8622, 2023. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abp8622>. Acesso em: 16 out. 2024.
- LEES, A. C.; PERES, C. A. Conservation value of remnant riparian forest corridors of varying quality for amazonian birds and mammals. *Conservation Biology*, v. 22, n. 2, p. 439-449. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00870.x>. Acesso em: 16 out. 2024.
- LIMA, A. V. *Avaliação da área de preservação permanente da calha do baixo curso da Bacia Hidrográfica do Rio Tarumã-Açu, Manaus, AM.* 2023. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) - Universidade do Estado do Amazonas. Manaus, 2023. Disponível em: <https://pos.uea.edu.br/data/area/dissertacao/download/61-28.pdf>. Acesso em: 13 out. 2024.
- LOMBARDI, A. T.; MICHELAN, T. S. The importance of aquatic macrophytes in the aquatic environment. *Bioscience Journal*, v. 32, p. 1-13, 2016. Disponível em: <http://ser.ufu.br/index.php/biosciencejournal/index>. Acesso em: 15 out. 2024.
- LOVEJOY, T. E.; NOBRE, C. Amazon tipping point. *Science Advances*, v. 4, n. 2, p. eaat2340, 2018. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aat2340>. Acesso em: 15 out. 2024.
- MARCOVITCH, J.; PINSKY, V. Bioma Amazônia: atos e fatos. *Estudos Avançados*, v. 34, p. 83-106, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/zfDBMZxZSdH4pmWQ3KpgSPk/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 13 out. 2024.
- MARENGO, J. A.; SOUZA JUNIOR, C. *Mudanças Climáticas: impactos e cenários para a Amazônia.* São Paulo: ALANA, 2018. Disponível em: <https://sinapse.gife.org.br/download/mudancas-climaticas-impactos-e-cenarios-para-a-amazonia>. Acesso em: 16 out. 2024.
- MARINHO, R. R. *et al.* Monitoramento do sedimento suspenso por sensoriamento remoto no Rio Tarumã-Açu (Manaus – AM). In: SILVA NETO, J. C. A.; WACHHOLZ, F. (orgs.). *Geotecnologias e análise da paisagem na Amazônia*, Alexa Cultural, Manaus: EDUA, 2022. p. 137-15. Disponível em: <https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/12984>. Acesso em: 16 out. 2024.

- MORAES, P. C. F.; MELO, M. G. G.; LIBERATO, M. A. R. *Guia ilustrado de macrófitas aquáticas do baixo curso do rio Tarumã-Açu*. v. 1, n. 1, p. 1-26, Universidade do Estado do Amazonas, UEA, Manaus, AM, 2024.
- MOTTL, O. *et al.* Global acceleration in rates of vegetation change over the past 18,000 years. *Science*, v. 372, n. 6544, p. 860-864, 2021. Disponível em: <https://www.science.org/doi/full/10.1126/science.abg1685>. Acesso em: 15 out. 2024
- NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. Mudanças climáticas e Amazônia. *Ciência e Cultura*, v. 59, n. 3, p. 22-27, 2007. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252007000300012&script=sci_arttext&tlng=en. Acesso em: 14 out. 2024.
- NOBRE, C. A.; SELLERS, P. J.; SHUKLA, J. Amazonian deforestation and regional climate change. *Journal of Climate*, v. 4, n. 10, p. 957-988, 1991. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1991\)004<0957:ADARCC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1991)004<0957:ADARCC>2.0.CO;2). Acesso em: 14 out. 2024.
- OSHIRO, O. T.; ANDRADE, R. V.; LEVYMAN, L. A. Monitoramento do desmatamento no bioma amazônico com o satélite Amazonia-1. 2024. In: SILVA, L. F.; OLIVEIRA, V. C. *Cultivando o futuro: tendências e desafios nas ciências agrárias*. 2. ed. Ponta Grossa, PR: Atena, 2024. p. 22-31. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1160599/1/6195.pdf>. Acesso em: 10 out. 2024.
- PIEIDADE, M. T. F. *et al.* As áreas úmidas no âmbito do Código Florestal Brasileiro. Código Florestal e a Ciência: o que nossos legisladores ainda precisam saber. Sumários executivos de estudos científicos sobre impactos do projeto de Código Florestal. 2012. p. 9-17. Disponível em: <https://agroecologia.org.br/wp-content/uploads/2012/03/codigo-florestal.pdf#page=9>. Acesso em: 14 out. 2024.
- RIEGER, I. *et al.* The interplay of sedimentation and carbon accretion in riparian forests. *Geomorphology*, v. 214, p. 157-167, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.01.023>. Acesso em: 14 out. 2024.
- SALAZAR, L. F.; NOBRE, C. A.; OYAMA, M. D. Climatic change consequences on the biome distribution in tropical South America. *Geophysical Research Letters*, v. 34, p. 1-6, 2007. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2007GL029695>. Acesso em: 17 out. 2024.
- SANDERSON, S. *et al.* The pace of modern life, revisited. *Molecular Ecology*, v. 31, n. 4, p. 1028-1043, 2022. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/mec.16299>. Acesso em: 17 out. 2024.
- SANTOS, E. O.; MEDEIROS, P. R. P. A ação antrópica e o processo de eutrofização no Rio Paraíba do Meio. *Sociedade e Natureza*, v. 35, p. 1-13, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/SN-v35-2023-66441>. Acesso em: 17 out. 2024.

- SASABUCHI, I. T. M. *et al.* Sustentabilidade no uso de fósforo: uma revisão bibliográfica com foco na situação atual do estado de São Paulo, Brasil. *Química Nova*, v. 46, n. 2, p. 185-198, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170967>. Acesso em: 17 out. 2024.
- SCUDELLER, V. V.; VEGAS-VILARRÚBIA, T. Distribution and β -diversity of tree species in igapó forests (Negro River basin, Brazilian Amazon). *Journal of Vegetation Science*, v. 29, n. 6, p. 1052-1064, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jvs.12680>. Acesso em: 17 out. 2024.
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. SGB. *Boletim de Alerta Hidrológico da Bacia do Amazonas*. n° 40. Brasília: SGB, 2024. Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/sace/amazonas>. Acesso em: 16 out. 2024.
- TAMBOSI, L. R. *et al.* Funções eco-hidrológicas das florestas nativas e o Código Florestal. *Estudos Avançados*, v. 29, n. 84, p. 151-162, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142015000200010>. Acesso em: 15 out. 2024.
- TEIXEIRA, J. P. *Diagnóstico das nascentes da bacia hidrográfica do Rio Tarumã-Açu (AM): subsídios à gestão dos recursos hídricos*. 2021. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) - Universidade do Estado do Amazonas. Manaus, AM, p. 137. 2021. Disponível em: <https://pos.uea.edu.br/data/area/dissertacao/download/44-16.pdf>. Acesso em: 16 out. 2024.
- THOMAS, C. D. *et al.* Extinction risk from climate change. *Nature*, v. 427, n. 6970, p. 145-148, 2004. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nature02121>. Acesso em: 15 out. 2024.
- VASCONCELOS, M. A. *et al.* Análise do uso e da cobertura da terra da Bacia do Tarumã-Açu: um olhar para a sustentabilidade. *Terceira Margem Amazônia*, v. 5, n. 13, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.36882/2525-4812.2019v5i13p%25p>. Acesso em: 10 out. 2024.
- VIOLA, E.; MENDES, V. Agricultura 4.0 e mudanças climáticas no Brasil. *Ambiente & Sociedade*, v. 25, p. e02462, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20200246r2vu2022L3OA>. Acesso em: 17 out. 2024.

Macrófitas aquáticas como indicadoras da qualidade da água no igarapé do Mindu em Manaus – AM

Matheus da Rocha Uchôa de Paula

Ieda Hortêncio Batista

Maria da Glória Gonçalves de Melo

Maria Astrid Rocha Liberato

Introdução

Atualmente, todos os municípios e comunidades ribeirinhas da região Norte brasileira despejam seus efluentes nos rios e igarapés, resultando em eutrofização e alterações nos ecossistemas aquáticos (Santos *et al.*, 2020; Souza, 2020). Manaus, a capital do Amazonas, destaca-se como uma das principais poluidoras da região, com sua população e indústrias lançando efluentes sem tratamento diretamente nos igarapés, como o Igarapé do Mindu. Esse igarapé, pertencente à microbacia do São Raimundo, deságua no rio Negro, causando um impacto ambiental em cadeia que se estende até o Oceano Atlântico (Souza, 2020).

O Igarapé do Mindu é classificado como corpo hídrico dulcícola de classe 2 pela Resolução CONAMA 357/2005, que determina a aplicação da classe mais rigorosa correspondente se a qualidade da água for superior à estipulada para sua classe (Souza Filho, *et al.*, 2019). A classificação das águas, conforme estabelecido pela Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), é fundamental para preservar as características físico-químicas dos corpos d'água e garantir recursos hídricos para atividades humanas. Este enquadramento segue três perspectivas: a realidade atual, a visão desejada pela sociedade e a situação possível de ser alcançada (ANA, 2019).

A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece padrões de lançamento de efluentes e diretrizes para enquadramento das águas em diferentes classes, sendo a classe especial a mais rigorosa. Estudos indicam que o Igarapé do Mindu está descaracterizado, apresentando parâmetros de água que sugerem um avançado estado de eutrofização, como pH elevado, baixos teores de oxigênio

dissolvido e alta concentração de amônia, em desacordo com sua classificação de classe 2 (Souza Filho *et al.*, 2020).

Diante da importância da classificação das águas para sua destinação e manutenção, o processo de enquadramento é essencial para a preservação das características físico-químicas e para garantir recursos hídricos para diversas atividades humanas (Flexa *et al.*, 2021). Nesse contexto, o monitoramento dos efeitos da eutrofização pode ser realizado por meio da observação da presença de macrófitas aquáticas, que absorvem nutrientes em excesso e servem como bioindicadores da qualidade da água. Essas plantas oferecem uma alternativa de baixo custo para o monitoramento e recuperação de ambientes aquáticos (Vasconcelos, 2018).

Além disso, certas espécies de macrófitas realizam fitorremediação, removendo resíduos tóxicos da água e acumulando-os em suas raízes, apresentando uma alternativa sustentável para a recuperação de ambientes aquáticos poluídos (Santos, 2020). Estudos sobre a presença de macrófitas em corpos d'água poluídos permitem avaliar a contaminação através da quantificação de poluentes e seus efeitos, oferecendo evidências claras da poluição.

Portanto, o uso dessas espécies vegetais, como uma alternativa viável e de baixo custo para a fitorremediação, é promissor e pode ser empregado no processo de enquadramento de corpos hídricos, durante as etapas de diagnóstico e implementação de programas de despoluição e monitoramento. O objetivo deste trabalho é analisar o Igarapé do Mindu, em Manaus-AM, identificando a presença de macrófitas em nove pontos ao longo de seu curso e caracterizando o estado de conservação de cada ponto.

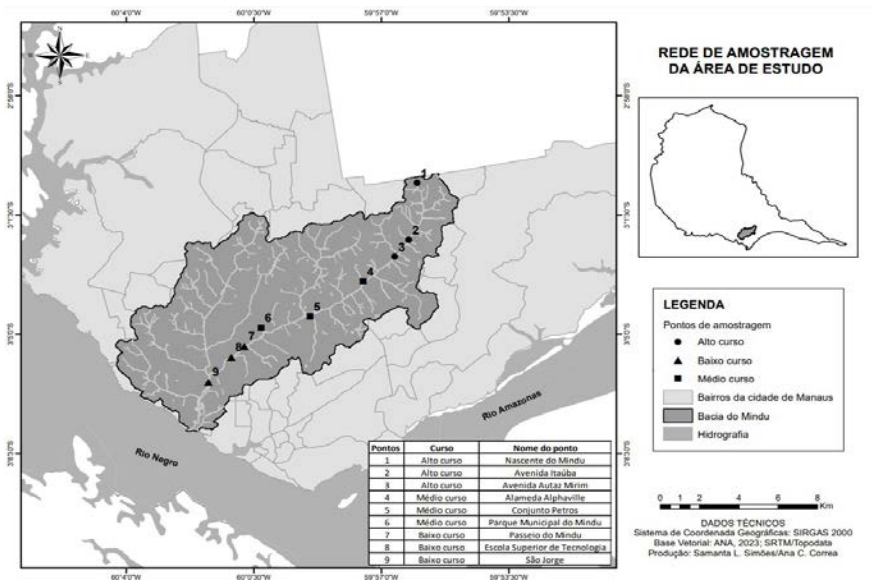
Material e métodos

Área de estudo e delimitação dos pontos de coleta

O presente estudo foi realizado no igarapé do Mindu, um dos corpos hídricos mais conhecidos da cidade de Manaus, capital do Estado do Amazonas, (localizada entre os meridianos de 59°50' e 60°10' oeste e os paralelos de 02°57' e 03°10' sul, assentada sobre um planalto de baixa altitude na margem esquerda do Rio Negro), cujo curso d'água é o mais extenso do sítio urbano, cerca de 22 quilômetros, possui três nascentes situadas no interior do Parque Nascentes do Mindu.

Na Figura 1 estão determinados no mapa da bacia do Igarapé do Mindu os pontos de coleta, três pontos em cada seguimento do igarapé (alto, médio e baixo curso do igarapé), onde as atividades foram realizadas em dois períodos distintos, uma coleta ocorreu durante a cheia do rio no mês de junho de 2022 e a segunda durante a vazante do rio no mês de janeiro de 2023.

Figura 1 - Pontos de coleta no igarapé do Mindu



Fonte: Samanta L. S.; Ana C. C. (2023)

Ambas as coletas foram realizadas de acordo com a metodologia proposta pelo Guia Nacional de Coletas e Preservação de Amostras (CETESB, 2011). Foram, ao todo, definidos 9 pontos de coletas de dados, cujas coordenadas geográficas de cada ponto estão descritas no Quadro 1.

Quadro 1 - Coordenadas dos pontos de amostragem

PONTO	CURSO	NOME DO PONTO	LATITUDE	LONGITUDE
1	Alto	Nascente do Mindu	-3,00924	-59,93359
2	Alto	Avenida Itaúba	-3,03722	-59,93741
3	Alto	Avenida Autaz Mirim	-3,04517	-59,94391
4	Médio	Alameda Alphaville	-3,05756	-59,95822
5	Médio	Conjunto Petros	-3,07468	-59,98263
6	Médio	Parque Municipal do Mindu	-3,08007	-60,00495
7	Baixo	Passeio do Mindu	-3,08930	-60,01279
8	Baixo	Escola Superior de Tecnologia	-3,09461	-60,01865
9	Baixo	São Jorge	-3,10681	-60,02917

Fonte: Autoria própria (2022)

Análises físico-químicas

As análises físico-químicas de oxigênio dissolvido, temperatura, pH, condutividade e sólidos dissolvidos foram realizadas em campo, no ato da coleta, com auxílio da sonda Hanna multiparâmetros (modelo HI9829), enquanto a turbidez foi aferida com auxílio do turbidímetro Hanna (modelo HI98703- 02).

Coletas das amostras e análise de fósforo e nitrogênio totais

Foram coletadas amostras de água de cada um dos pontos selecionados, em frascos âmbar com auxílio de balde metálico e acondicionadas em isopor isolante, posteriormente submetidas a análises laboratoriais para nitrogênio e fósforo total com auxílio de kits de reagentes para Fósforo/Nitrogênio Total - Faixa Baixa - Hanna Instruments Brasil (HI93758C- 50 e HI93767A-50, respectivamente). As amostras foram aquecidas com auxílio do reator para DQO (modelo HI839800-02) e depois aferidas com auxílio do fotômetro multiparâmetro para análise de água e efluentes (modelo HI83399-02).

Os ensaios, tanto em campo quanto em laboratório, foram executados em conformidade com as metodologias descritas na Resolução ANA nº 724/2011, na qual defini e indica, como referência técnica, o “Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras de Água, Sedimentos, Comunidades aquáticas e Efluentes líquidos”, documento que norteia e disciplina os procedimentos de coleta e preservação de amostras de águas superficiais em todo o território brasileiro.

Caracterização do estado de conservação dos pontos de coleta e observação da presença de macrófitas aquáticas

A caracterização do estado de conservação dos pontos de coleta no igarapé do Mindu se deu pela observação visual e aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida de Rios (PAR), adaptado do protocolo da Agência de Proteção Ambiental de Ohio (EUA), onde são avaliadas as características de trechos da drenagem e nível de impactos ambientais decorrentes de atividades antrópicas, dando maior ênfase à qualidade da água e do substrato, e atribuindo menor peso à erosão e à cobertura vegetal das margens, e do protocolo de Hannaford; Barbour; Resh (1997), que se concentra na complexidade do habitat e o seu nível de conservação, atribuindo maior importância às características do fluxo d'água e ao tipo de substrato para o estabelecimento de comunidades aquáticas, e menor pontuação à estabilidade das margens e à presença da mata ciliar e plantas aquáticas.

A pontuação de 0 a 40 representa áreas consideradas “impactadas”, de 41 a 60 áreas “alteradas” e de 61 a 100 áreas “naturais” (Bizzo; Menezes; Andrade,

2014). Foram realizadas fotografias, com auxílio de câmera fotográfica, para o registro da observação visual da presença/ausência de espécies de macrófitas aquáticas nos nove pontos de coleta do igarapé do Mindu.

Laboratórios e Permissões

Os ensaios laboratoriais para as análises químicas de fósforo e nitrogênio totais das amostras coletadas nos pontos de coleta foram realizados no Laboratório ILUM, do HUB de Tecnologia e Inovação da Escola Superior de Tecnologia - EST/UEA. Para coleta dentro das Unidades de Conservação e Parques Municipais no município de Manaus, que perfazem 2 dos 9 pontos de coletas, foi solicitada junto à Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade – SEMMAS acesso ao Parque Municipal Nascentes do Mindu e ao Parque Municipal do Mindu, através de 30 uma carta de solicitação, tendo como retorno a autorização nº 03/2022 – DMCAP/SEMMAS.

Resultados e discussão

Macrófitas aquáticas no igarapé do Mindu

Não se observou a presença de macrófitas aquáticas em nenhum dos nove pontos escolhidos no alto, médio e baixo curso do igarapé do Mindu, na primeira coleta, em junho de 2022, durante o período da cheia onde o maior aporte de água, em teoria, deveria favorecer o crescimento e proliferação de macrófitas aquáticas flutuantes. Esse resultado se repetiu durante a segunda coleta em janeiro de 2023, período de vazante do igarapé.

A ausência de macrófitas aquáticas, serve como indicador da qualidade da água, sugerindo a presença de diversos poluentes, incluindo efluentes domésticos, micro e nanoplásticos, e metais pesados como Bário, Manganês, Alumínio e Ferro (Souza, 2020; Loiola, 2022). Além disso, a dragagem e a remoção acidental de vegetação pelas ações de limpeza da prefeitura de Manaus contribuem para essa situação.

Qualidade da água

Os resultados dos parâmetros de qualidade da água são apresentados na Tabela 1. A turbidez apresenta-se mais elevada nos pontos mais distantes da nascente durante o período da cheia do igarapé onde há um acúmulo gradativo de solutos na água à medida que ela se movimenta em direção a foz. O resultado se inverte (Tabela 2) durante o período da vazante, onde há um menor aporte de água e os solutos se concentram nos pontos do alto curso do igarapé do Mindu. Quanto ao oxigênio dissolvido, apenas o Ponto 1, na segunda coleta, apresentou valor superior a 5 mg/L, valor mínimo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para corpos hídricos de água doce de classe 2 (Tabela 2), indicando um estado de anoxia do rio com possível proliferação de microrganismos anaeróbicos.

Tabela 1 - Resultado das análises físico-químicas utilizando a Sonda Hanna multiparâmetros e o turbidímetro nos nove pontos do igarapé do Mindu, durante a primeira coleta

PONTOS	TURBIDEZ	OD (PPM)	TEMPERATURA (°C)	PH	CONDUTIVIDADE (MS/CM-1)	SÓLIDOS DISSOLVIDOS (MG/L)
1	8,53	3,85	26,00	5,72	98	49
2	12,80	0,86	30,00	6,84	430	216
3	13,47	1,30	29,97	6,90	453	227
4	18,60	0,00	28,40	6,39	359	179
5	12,80	0,40	28,15	7,45	342	171
6	13,20	0,00	28,08	6,35	354	172
7	26,97	0,56	30,45	7,02	394	197
8	35,87	0,90	30,20	7,00	394	198
9	36,83	0,00	31,95	6,92	386	193

Tabela 2 - Resultado das análises físico-químicas utilizando a Sonda Hanna multiparâmetros e o turbidímetro nos nove pontos do igarapé do Mindu, durante a segunda coleta

PONTOS	TURBIDEZ	OD (PPM)	TEMPERATURA (°C)	PH	CONDUTIVIDADE (MS/CM)	SÓLIDOS DISSOLVIDOS (MG/L)
1	8,51	5,14	25,64	6,56	57	28
2	30,30	0,68	28,61	7,30	373	187
3	37,3	0,46	28,61	7,41	380	190
4	24,10	0,28	29,15	7,34	362	131
5	17,20	0,20	28,93	7,24	317	159
6	13,70	0,80	27,79	7,23	284	142
7	14,70	1,58	27,90	7,10	287	143
8	12,70	2,63	28,15	7,43	302	151
9	12,50	1,10	28,46	7,26	292	146

Atualmente não há, na legislação brasileira, um padrão para os parâmetros de condutividade e sólidos dissolvidos, entretanto segundo Von Sperling (2007), as águas naturais normalmente apresentam valores de condutividade dentro da faixa entre 10 38 e 100 $\mu\text{S cm}^{-1}$, enquanto ambientes poluídos por esgotos, industriais ou domésticos, esses os valores podem chegar até 1000 $\mu\text{S cm}^{-1}$, e, como é possível observar nas Tabelas 1 e 2, os valores encontrados em todos os pontos, com exceção do Ponto 1 (alto curso), durante as duas coletas são superiores a 100 $\mu\text{S cm}^{-1}$, indicando em concordância com literatura o avançado processo de eutrofização das águas do igarapé do Mindu.

A temperatura média variou entre 29,24°C e 28,14°C e de acordo com o estudo realizado por Melo; Silva; Miranda (2005), que obtiveram valores variando de 26,0 a 29,3°C em trechos do igarapé do Mindu, há uma relação entre esses altos valores de temperatura com a ausência ou escarço crescimento de mata ciliar nas margens do igarapé, a oxidação biológica da matéria orgânica dissolvida e a descarga de efluentes de origem doméstico e industrial direto nas águas do Mindu. Quanto aos valores de pH apenas o Ponto 1, durante a primeira coleta (Tabela 1), apresentou a acidez característica de rios de águas húmicas ou pretas (< 6,0) sugerindo uma descaracterização do corpo hídrico, resultado similar aos obtidos por Souza Filho *et al.* (2020).

Análises de fósforo e nitrogênio total

Quanto às análises de fósforo total apenas o Ponto 1, na segunda coleta (Tabela 3), apresentou um valor inferior ao máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 (0,1 mg/L) para corpos hídricos de água doce de classe 2, os demais pontos, incluindo o próprio ponto 1 durante a primeira coleta (Tabela 3), apresentaram valores superiores a 0,2 mg/L.

Tabela 3 - Resultado das análises químicas de fósforo total e nitrogênio total nas amostras da primeira e da segunda coleta, respectivamente

PONTOS	1º FÓSFORO TOTAL (MG/L)	2º FÓSFORO TOTAL (MG/L)	1º NITROGÊNIO TOTAL (MG/L)	2º NITROGÊNIO TOTAL (MG/L)
1	0,26	0,06	2,60	2,50
2	2,64	1,15	7,60	11,14
3	2,55	1,15	8,80	12,00
4	1,93	1,05	8,20	12,10
5	1,94	1,01	7,10	11,20
6	2,09	0,87	6,70	9,40
7	1,94	0,84	5,70	8,90
8	1,94	0,81	4,90	8,60
9	1,93	0,74	4,40	9,10

O valor máximo para nitrogênio total estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para corpos hídricos lóticos de água doce na classe 2 é de 2,18 mg/L, todos os pontos de coleta analisados no igarapé do Mindu apresentaram valores superiores ao padrão estabelecido pela legislação brasileira (Tabela 3), não só e evidenciado uma possível contaminação da nascente e do igarapé como um todo, como também 40 o excesso de nutrientes na água, fator que, em teoria, viabilizaria o rápido crescimento das macrófitas aquáticas, em discordância com os resultados obtidos pelos registros fotográficos dos pontos que se encontram desprovidos de macrófitas flutuantes de qualquer espécie.

Protocolo de Avaliação Rápida de Rios (PAR)

Os resultados do PAR aplicado durante a primeira coleta evidenciaram que apenas o ponto da nascente se encontra em estado “Natural”, os Pontos 5, 6 e 9 em estado “Alterado”, enquanto os demais pontos mostraram-se “Impactados” (Tabela 4). Os Pontos 5 e 6 estão dentro de um parque municipal, o que explica a menor ação antrópica nesses dois pontos, enquanto o Ponto 9 é a foz do igarapé onde há contato direto com as águas do rio Negro, bem como a diluição dos poluentes à medida que o volume de água aumenta.

Tabela 4 - Resultado do Protocolo de Avaliação Rápida de Rios (PAR) aplicado na primeira e na segunda coleta, respectivamente. A pontuação de 0 a 40 representa áreas consideradas “impactadas”, de 41 a 60 áreas “alteradas” e de 61 a 100 áreas

PONTOS	1ª SOMATÓRIA	1º RESULTADO	2ª SOMATÓRIA	2º RESULTADO
1	89	Natural	89	Natural
2	38	Impactada	38	Impactada
3	26	Impactada	26	Impactada
4	40	Impactada	40	Impactada
5	42	Alterada	65	Natural
6	54	Alterada	54	Alterada
7	40	Impactada	40	Impactada
8	33	Impactada	33	Impactada
9	42	Alterada	42	Alterada

Quanto aos resultados da somatória de pontos do PAR aplicado durante a segunda coleta (Tabela 4), houve diferença apenas no resultado do Ponto 5 em comparação com o PAR da coleta anterior. Essa diferença nas condições ambientais, 41 observadas no Ponto 5, se deveu pela observação da presença de vida animal (*Caiman* sp) na margem direita do rio durante a realização da segunda coleta, que não fora observada na primeira. A nascente do igarapé do Mindu (Ponto 1) foi o único dos 9 pontos onde as condições para a ocorrência do supercrescimento de macrófitas aquáticas não são ideais, entretanto, os pontos onde essas plantas deveriam ser encontradas, com acúmulo de nutrientes e perturbações ambientais, estão atualmente desprovidos destas espécies vegetais.

Fatores estressantes para o crescimento das macrófitas

As macrófitas aquáticas possuem uma eficiente plasticidade genética, permitindo-lhes colonizar diversos habitats e adaptarem-se a fatores adversos, como estressores químicos e físico-químicos (Wanderley, 2020). Por isso, o estado eutrofizado do igarapé do Mindu, caracterizado pelo excesso de nutrientes, sugere que deveria haver bancos de macrófitas ao longo de seu leito, o que não foi constatado em nenhuma das duas visitas ao igarapé.

Análises realizadas por Loiola (2022), revelaram a presença de 10 elementos metálicos nas amostras de água do igarapé, com concentrações de Ferro e Alumínio superiores aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces de classe II. Estudos adicionais de Souza (2020) identificaram a contaminação por micro e nanoplásticos, exceto na nascente do igarapé, com concentrações máximas de 0,40 g/L de microplásticos e 0,70 g/L de nanoplásticos, representando um perigo significativo para a saúde pública.

Segundo Wanderley (2020), enquanto substâncias estressoras isoladas não interferem significativamente no crescimento das macrófitas, a presença combinada de surfactantes, metais pesados, microplásticos e altas temperaturas pode limitar e até eliminar essas plantas a longo prazo. Isso explica a ausência de macrófitas no igarapé Mindu, mesmo em condições eutrofizadas e contaminadas.

Segundo Queiroz *et al.* (2020), a prefeitura de Manaus realiza periodicamente a dragagem dos igarapés para remover particulados sólidos suspensos, aprofundar e alargar os canais, e diminuir os riscos de inundação.

No entanto, esse processo resulta na deposição dos sedimentos nas margens dos igarapés, removendo a cobertura vegetal e macrófitas aquáticas e promovendo o assoreamento dos taludes, o que prejudica o crescimento das macrófitas flutuantes. O estudo não especifica a frequência das dragagens nem se são realizadas em todo o igarapé Mindu, recomendando futuras pesquisas para avaliar a periodicidade, localização e impacto dessas dragagens no desenvolvimento das macrófitas aquáticas.

Os dados levantados, tanto pelo estudo quanto pela literatura, sugerem que alta concentração de nutrientes, contaminantes plásticos e metálicos de origem urbana juntos com a elevada temperatura e dragagem do leito, nos pontos analisados, podem estar impossibilitando o crescimento das macrófitas aquáticas no Mindu.

Conclusão

O presente estudo constatou a ausência de macrófitas aquáticas no igarapé do Mindu durante os períodos de cheia e vazante, refletindo uma significativa perda de biodiversidade vegetal.

Dos nove pontos estudados, apenas a nascente (Ponto 1) foi classificada consistentemente como natural. Os demais pontos apresentaram níveis de oxigênio dissolvido abaixo do mínimo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces, além de pH, nitrogênio e fósforo totais acima dos limites permitidos, indicando um avançado processo de eutrofização.

São necessárias análises adicionais e de longo prazo para confirmar a ausência de macrófitas e determinar se essa é causada por múltiplos poluentes, remoção mecânica não intencional durante a dragagem, ou uma combinação desses fatores.

Produto

Os resultados desta pesquisa foram disponibilizados em um Relatório de Impacto Ambiental, cujo conteúdo pode auxiliar na tomada de decisões quanto à gestão de recursos hídricos da cidade de Manaus, bem como para a restauração das condições ambientais do igarapé do Mindu, utilizando as macrófitas aquáticas como uma alternativa viável e de baixo custo para a fitorremediação e recuperação de corpos hídricos.

QR Code para baixar o Relatório de Impacto Ambiental: Avaliação sobre o Estado Trófico e Ausência de Macrófitas Aquáticas no Igarapé do Mindu, Manaus – (AM)



Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Enquadramento dos Corpos D'água em Classes*. Conjuntura Recursos Hídricos Brasil 2019. Disponível em: [http:// www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/encarte_enquadramento_conjuntura2019.pdf](http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/encarte_enquadramento_conjuntura2019.pdf). Acesso em: 27 fev. 2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Resolução ANA n 724, de 3 de outubro de 2011*. Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e o enquadramento nas classes de uso preponderante. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 3 out. 2011.
- BRASIL. *Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997*. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 9 jan. 1997.
- CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. *Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidas*. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011. p. 325.
- CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução nº 357 de 2005*. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e as diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências. Diário Oficial da União, mar. 2005.
- BIZZO, M. R. O.; MENEZES, J.; ANDRADE, S. F. *Protocolos de avaliação rápida de rios (PAR)*. Caderno de Estudos Geoambientais-CADEGEO, 2014.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Protocolo da Agência de Proteção Ambiental de Ohio* (EPA, 1987). Ohio: Environmental Protection Agency, 1987.
- FLEXA, G. S. *et al.* Qualidade da água de rio na Amazônia: um estudo de caso sobre o rio Pará do Uruará. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 12, n. 7, p. 342-351, 2021.

- HANNAFORD, M. J.; BARBOUR, M. T.; RESH, V. H. *Assessing the biological condition of headwater streams: protocol for macroinvertebrate collection, processing, and analysis*. California: University of California Press, 1997.
- LOIOLA, S. K. S. *Avaliação dos Índices de Qualidade da Água e Concentrações de Metais no Igarapé do Mindu em Período de Cheia e Seca*. Dissertação (Mestrado em Clima e Ambiente) - Pós-Graduação em Clima e Ambiente do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, p. 116, 2022.
- MELO, E. G. F.; SILVA, M. S. R.; MIRANDA, S. A. F. Influência antrópica sobre águas de igarapés na cidade de Manaus-Amazonas. *Caminhos de geografia*, v. 5, n. 16, p. 40-47, 2005.
- QUEIROZ, M. S. *et al. Expedição Mindu: Análise Geográfica Do Igarapé Do Mindu*. VII Workshop Internacional sobre Planejamento e Desenvolvimento Sustentável em bacias hidrográficas. Manaus, 2020. p. 921-932.
- SANTOS, G. B. *et al.* Bioquímica ambiental: as macrófitas aquáticas como fitorremediadoras e bioindicadoras de poluentes. *Revista Macambira*, v. 4, n. 2, p. 42004-42004, 2020.
- SOUZA, G. R. *Avaliação da poluição por microplásticos nas águas do Igarapé do Mindu, no ambiente urbano de Manaus*. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2020. p. 112.
- SOUZA FILHO, E. A.; BATISTA, I. H.; DE ALBUQUERQUE, C. C. Levantamento de aspectos físico-químicos das águas da microbacia do mindu em Manaus-Amazonas. *Revista Geográfica da América Central*, v. 2, n. 63, p. 341-367, 2019.
- SOUZA FILHO, E. A. *et al.* Caracterização Físico-Química das Águas do Igarapé do Mindu nos Bairros Jorge Teixeira, Conjunto Petros e Parque Dez em Manaus-Amazonas. *GEOFRONTER*, v. 6, 2020.
- VASCONCELOS, V. M. *Avaliação do uso de macrófitas aquáticas flutuantes para tratamento de efluentes da aquicultura*. Dissertação (Mestrado em Ambiente, Tecnologia e Sociedade) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2018. p. 47.
- VON SPERLING, M. *Estudos e modelagem da qualidade da água de rios*. vol. 7. Belo Horizonte, DESA/UFGM: 2007. .
- WANDERLEY, E. L. *Efeito da temperatura, do grau de trofia e do surfactante Dodecil Sulfato de Sódio nos crescimentos de Egeria densa (Planch) e de Chara sp. (Linnaeus)*. Tese (Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020. p. 93.

Água da chuva: aproveitamento para a gestão de recursos pluviais em comunidades ribeirinhas do estado do Amazonas

Paulo Cabral Barboza Júnior
Maria da Glória Gonçalves de Melo

Introdução

O Brasil contempla 12% das reservas de água doce e algumas das maiores bacias hidrográficas do mundo entre elas a Bacia Amazônica que abriga 70% dos recursos hídricos do País (ANA, 2015), o que faz crer não ser possível a existência de problemas relacionados ao consumo de água potável em seu território (Neu *et al.*, 2016), onde está inserida a região Norte brasileira.

Ocorre que dos 20 piores municípios do Ranking do Saneamento de 2024, divulgado pelo Instituto Trata Brasil (2024), sete estão aí localizados. É o paradoxo da “escassez da qualidade na quantidade”, demonstrando as dificuldades enfrentadas por muitos moradores locais.

Observando a população interiorana, Azevedo (2006) afirma que:

As populações amazônicas que habitam as várzeas, invariavelmente fixam-se às margens dos cursos de águas. Na várzea, a vida se move com ciclo das águas, que sobem e descem, inundam e secam, abundam e escasseiam, chegando a ter variações entre os picos de cheia e seca superiores a dez metros. Na vazante dos rios, muitos mananciais superficiais secam completamente ou ficam com pouca lâmina de água, inviabilizando sua utilização, seja pela insuficiência, e/ou por condições impróprias para consumo humano (p. 313).

Ainda, segundo Oliveira, Rodrigues e Carneiro (2008), a maioria dos moradores desses povoamentos utiliza basicamente água dos rios e igarapés, não sendo empregado nenhum processo de tratamento e nem desinfecção da água antes do consumo.

A grande extensão do território do estado do Amazonas favorece a dispersão geográfica das pequenas comunidades interioranas e a ocupação do espaço de forma difusa, dificultando a implantação de soluções de tecnologias usuais de abastecimento de água, inviabilizando instalação de sistema público para o seu fornecimento. Assim, a resolução do modelo de abastecimento desses agrupamentos deve ser objeto de planejamento integrado comunidade- técnico-Estado (Souza Filho *et al.*, 2015).

Ademais, eventos hidrológicos extremos de seca dos rios têm sido recorrentes, levando muitas regiões a terem escassez de água, aumentando os riscos de doenças de veiculação hídrica, e mesmo no período de cheia a água disponível para consumo doméstico nem sempre é de boa qualidade.

Considerando que os índices pluviométricos locais são elevados e que a curva histórica de precipitação anual local demonstra que não há um mês sem a ocorrência de chuvas, o governo local iniciou, em 2007, o Programa de Melhorias Sanitárias Domiciliares, Aproveitamento e Armazenamento de Água da Chuva (PROCHUVA), voltado a promover melhores condições de saúde pública nas comunidades rurais instaladas em seu território a partir do aproveitamento desse bem natural, visto que na época da vazante os cursos d'água que abastecem alguns desses núcleos populacionais ficam reduzidos a fios, levando-os a viverem em condições de vulnerabilidade hídrica, e ainda que aproveitamento de águas pluviais ser uma prática comum da população amazonense (SDS, 2008). Nova iniciativa foi realizada em 2014, por meio do Programa Águas para Todos no Amazonas (APT/AM). No total foram investidos aproximadamente de 55 milhões de reais na implantação de tais projetos (SEMA, 2017).

Dado ao significativo volume de recursos destinados e o alcance social que eles se propõe, é fundamental que sejam construídos e operados dentro de técnicas recomendadas, sendo o propósito do presente trabalho analisa-los sob o ponto de vista técnico e gestão, buscando tornar-se uma oportunidade para o aprimoramento de futuras ações semelhantes, assegurando êxito na realização de tais medidas e contribuindo para: (i) a valorização e o aproveitamento deste bem natural; e (ii) na consolidação do aproveitamento de água da chuva como uma Política de Estado.

Esta pesquisa se apoiou nos dados apresentados pelo diagnóstico socioambiental realizado junto às comunidades onde foram implementados os projetos, assim como relatórios, cartilhas, apresentações, vídeos e laudo de potabilidade disponibilizados pela SDS.

Também serviram como fonte de informações: artigos publicados em revistas científicas; acervos de instituições de pesquisa abordando experiências sobre o aproveitamento de água da chuva; os dados climatológicos locais obtidos juntos aos órgãos oficiais, e as normativas brasileiras que versam sobre a matéria. Foram ainda apreciados os documentos produzidos pelas instituições de controle que auditaram os programas em questão, a exemplo do Tribunal de Contas do Estado do Amazonas (TCE/AM) e Tribunal de Contas da União (TCU), além dos relatórios emitidos pelos agentes financiadores dos projetos: Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) e Ministério da Integração Nacional (MI).

Referencial Teórico

Maior unidade federativa do Brasil em extensão territorial, o estado do Amazonas está localizado na região norte do País. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023), sua população é estimada em torno de 4,0 milhões de habitantes e uma densidade demográfica baixa, 2,23 hab/km², distribuídos em 62 municípios. De clima equatorial (quente e úmido) e com umidade relativa do ar variando de 76 a 89% e temperatura médias de 22,0 a 31,7 °C, possui duas estações climáticas bem definidas: o inverno (período da estação chuvosa), e o verão, que corresponde à vazante dos rios ou período menos chuvoso (Maia; Marmos, 2010).

Os números que envolvem o território do Amazonas são sempre superlativos: encontra-se inserido na maior floresta tropical do mundo - Floresta Amazônica; na maior bacia hidrográfica do mundo, com área de drenagem superior a 6.000.000 km², e banhado pelo maior rio do mundo, o Amazonas, conferindo-lhe índices pluviométricos elevados que variam de aproximadamente 1.700 a 3.200 mm, alcançando em determinados pontos de sua superfície valores superiores a 3.200 mm/ano (Maia; Marmos, 2010).

Honório (2007) comenta que contribui para essa ocorrência o fato do estado ter sua área contida na região Amazônica - com a maior extensão de floresta tropical úmida do mundo e mais ampla rede fluvial do planeta, e que a

evaporação de parte dessa água e a transpiração da floresta contribuem para as abundantes chuvas na região, cenário que se apresenta como uma alternativa para o abastecimento de água, especialmente em áreas com alto custo de extração de mananciais subterrâneos ou superficial (Soares *et al.*, 1999).

A proposta pioneira de aproveitamento desses recursos pluviométricos foi realizada pelo governo local no ano de 2006 através da SDS em comunidades localizadas na Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS) do Piranha, município de Manacapuru, ampliada por meio do PROCHUVA entre os anos de 2007 e 2010 com a instalação dos sistemas de captação de águas pluviais (Figura 1) em 77 comunidades pertencentes a 15 municípios, atendendo 1.839 moradias com a instalação de reservatórios domiciliares e coletivos de captação e armazenamento de água de chuva (SDS, 2008). A partir de 2014 até 2017 foram instalados novos sistemas agora no âmbito do APT/AM, resultando no atendimento de 9.586 moradias e cerca de 52.260 pessoas.

Cada sistema era constituído da superfície de captação, tubos, conexões e registros, hastes de sustentação e caixa d'água de fibra de vidro (PROCHUVA) ou polietileno (APT), plataforma de sustentação do reservatório e calhas, sendo montado em um dos lados do telhado da moradia/infraestrutura comunitária.

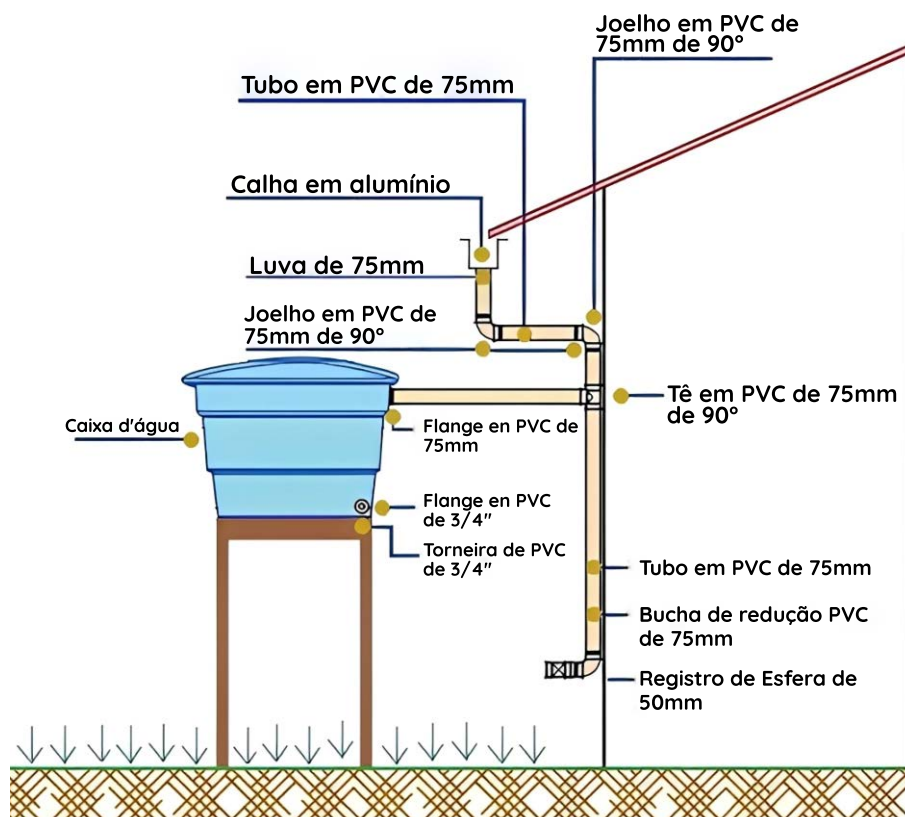
Uma ação destinada a melhorar a qualidade da água coletada foi a troca dos telhados com coberturas de palha por telhas de alumínio que, além de facilitar a queda da água, evita que insetos e folhas que ficam retidas pelas fibras da cobertura vegetal caiam em grande quantidade dentro do reservatório.

Esses sistemas eram de duas modalidades:

1. Sistema domiciliar, com a instalação em cada moradia de tanques de 1.000 litros no PROCHUVA, e de 2.000 litros no APT/AM, e 500 litros nos dois projetos quando a moradia era do tipo flutuante a fim de não prejudicar o equilíbrio da estrutura, e;
2. Sistema comunitário, com a instalação de reservatório de 5.000 litros em uma infraestrutura comunitária (igreja, posto de saúde, escola, centro comunitário) visando, numa eventual de escassez, suprir as necessidades local. Em comunidades com mais de 19 moradias foram instalados dois tanques com essa capacidade.

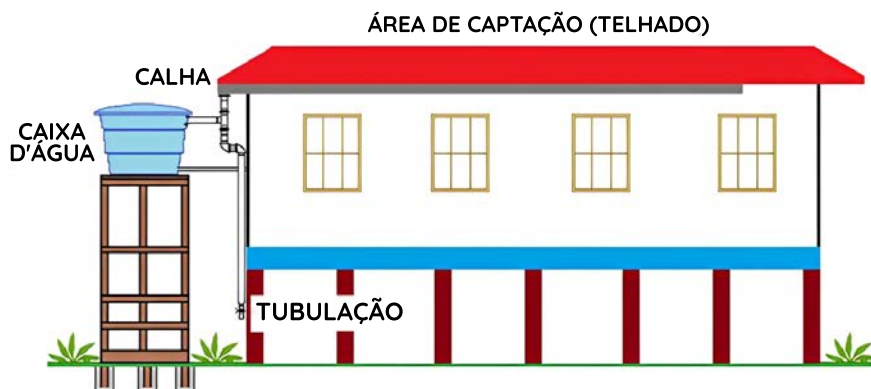
As plataformas da caixa d'água foram confeccionadas em madeira de lei e tratadas com produto anticupim. O fundo das cavas de fundação recebedoras dessas estruturas era apiloado manualmente com o auxílio de um soquete de aproximadamente 8 quilos até apresentar aspecto de terra firme e homogênea, de forma a evitar recalque quando as caixas estivessem cheias. Para as caixas de 5.000 litros (os sistemas comunitários), era lançado no fundo da cava uma camada de concreto magro de 5,0 cm para fins de regularização.

Figura 1 - Desenho esquemático dos sistemas instalados (PROCHUVA e APT/AM)



Fonte: SEMA (2017) - com adaptações

Figura 2 - Croqui de um sistema instalado e seus componentes (PROCHUVA e APT/AM)



Fonte: Autor (2018)

Andrade (2009) afirma que o:

[...] aproveitamento da água de chuva com qualidade deve ser compreendida em todas as fases, desde a precipitação atmosférica, à passagem da água pela área de captação até o seu armazenamento, estando associada a fatores ambientais, condição da área de captação, material do reservatório e aos aspectos de operacionais e de manutenção do sistema como um todo, sendo esses procedimentos imprescindíveis e necessários para a profícua qualidade da água (p. 12).

O mesmo pesquisador analisou a água captada pelos kits do PROCHUVA, buscando saber se a água consumida pelos moradores da comunidade Nossa Senhora de Fátima, beneficiada pelo programa e situada na localidade Costa do Jandira ($-3^{\circ}15'31''$ O e $-60^{\circ}26'34''$ S), município de Iranduba-AM, atendia aos padrões de potabilidade exigidos pela Portaria M.S nº 518/04, instrumento normativo em vigor à época da pesquisa, concluindo que:

- os parâmetros físico-químicos analisados não apresentaram concentrações de substâncias químicas de importância sanitária, atendendo os valores estabelecidos pela normativa;
- a presença de *Escherichia coli* ou coliformes termotolerantes e coliformes totais nas amostras analisadas, independentemente do

tipo de área de captação (telhado de telha de barro, fibrocimento ou alumínio), indicaram imprópria para o consumo humano.

Assim, os moradores das comunidades indicadas receberam orientações quanto ao manejo adequado dos sistemas, de forma a garantir qualidade a água coletada, ficando estabelecido que nos primeiros 5 minutos a água que lava o telhado e a calha, retirando as impurezas (poeiras, folhas, galhos, fezes de aves, etc.), seria descartada. Decorrido o período recomendado, com o fechamento do registro, a água subiria para dentro do reservatório. Cohim *et al.* (2015, p. 190) *apud* Thomas; Martison (2007) indicam que para cada mm de água descartada com esse procedimento, a carga de contaminantes é reduzida pela metade.

Adotou-se ainda mecanismos voltados à diminuição do risco de incidência de doenças por meio de outras barreiras físicas e químicas, com a utilização de filtros de barro, entregues a cada moradia e infraestrutura beneficiada acompanhados de um frasco de 100 ml de hipoclorito de sódio a 2,5 %, substância já regularmente distribuída pelos governos municipais. No momento da entrega dos filtros realizou-se Oficinas de Educação em Saúde com palestras versando sobre saneamento básico, ações de saúde e meio ambiente, distribuindo-se cartilhas e cartazes com informações e explicações sobre os cuidados que o comunitário devia ter com a água coletada pelos sistemas, o manuseio do filtro e do hipoclorito de sódio, com os cartazes sendo afixados e entregues nos locais de reunião dos comunitários (igreja, centro social, campo de futebol etc.), além dos barcos de linha que serviam às comunidades.

Os usuários do sistema foram instruídos ainda: (i) Manter a calha limpa; (ii) deixar a tampa do reservatório de água sempre fechada; (iii) e ao fim da chuva abrir mais uma vez o registro para escoar a água acumulada na tubulação.

Ao fim de 2017, pelos dois programas, foram instalados 11.425 sistemas domiciliares e 306 sistemas comunitários que atenderam aproximadamente 60 mil pessoas, e dos 27 municípios beneficiados pelas duas iniciativas, cinco destes receberam sistemas tanto pelo PROCHUVA quanto pelo APT.

O Programa PROCHUVA

A execução do PROCHUVA partiu da disponibilidade da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) em apoiar financeiramente a iniciativa e a definição dos critérios de elegibilidade das comunidades a serem beneficiadas com proposta, contemplando aquelas com as seguintes características:

- Comunidades rurais, isoladas e localizadas, prioritariamente, em Unidades de Conservação do Estado do Amazonas e/ou,
- Comunidades rurais, localizadas em áreas que historicamente estão sujeitas ao isolamento durante o período da seca sendo privada do acesso à água potável, levando à população local ao estado de vulnerabilidade hídrica.

Nas comunidades indicadas, que totalizaram 77 de 15 municípios localizados no Baixo Amazonas, Médio Solimões e calhas dos rios Purus, Juruá e Madeira, foram realizadas entrevistas com agentes de saúde, lideranças comunitárias e chefes de família, obtendo-se informações sobre condições de saúde, existência de processos de captação e tratamento de água, aspectos relacionados ao saneamento básico e doenças mais frequentes.

O PROCHUVA foi implementado com apoio da equipe de gestão composta por um gerente executivo e dois técnicos, estes responsáveis pela sistematização das informações coletadas, condução dos processos administrativos, atividades de campo - mobilização das comunidades, acompanhamento e monitoramento das ações executadas – assim como pela realização das oficinas de Educação em Saúde. Outra equipe, contratada por prazo determinado, realizou atividades de levantamento de campo, obtendo informações referente à comunidade (logística, lideranças, infraestruturas comunitárias etc.), identificando e realizando o cadastro das moradias com a aquisição de dados referentes à sua localização, condições de acessibilidade, registro fotográfico, georreferenciamento, tipologia, identificação do chefe da família e número de moradores entre outros, e pela Assinatura do Termo de Adesão, formalizando a participação no projeto das residências selecionadas.

O Programa APT/AM

Com apoio financeiro do Ministério da Integração Nacional (MI) e executado pela SDS, o APT/AM propunha a implantação de 10.504 reservatórios para captação e armazenamento de água de chuva para consumo, no âmbito do Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Água, beneficiando 10.100 famílias e 50.500 moradores de comunidades do interior do Estado (SDS, 2017), tendo sido implantado em 16 (dezesesseis) municípios das calhas dos rios Purus, Solimões, Negro e Amazonas.

Diferencial entre as duas propostas foi o atendimento aos povos indígenas não contemplados no PROCHUVA, e os critérios de elegibilidade dos beneficiários, fundamentados nas diretrizes norteadoras do Plano Nacional Brasil Sem Miséria, que à época da elaboração da proposta eram:

- Famílias sem renda e/ou com renda per capita inferior a R\$ 140,00 (cento e quarenta reais), em estado de vulnerabilidade social e/ou vivendo em pobreza extrema;
- Famílias rurais vivendo sem acesso à água potável ou com atendimento precário, comprometendo a quantidade e a qualidade necessárias à sua sobrevivência;
- Famílias que viviam em áreas que historicamente sujeitas ao isolamento durante o período da seca, fazendo com que a população ficasse privada do acesso à água potável;
- Famílias que não tenham sido atendidas por outro programa e com a mesma finalidade, tecnologia apoiada do APT/AM.

A execução do APT/AM foi realizada pela Agência Amazonense de Desenvolvimento Econômico e Social (AADES), instituição com experiência em gestão administrativa e financeira de projetos governamentais e recursos públicos, por meio do desenvolvimento de parcerias com os órgãos e entidades do estado Amazonas.

Outro aspecto presente apenas no APT/AM foi a identificação de famílias não participantes dos programas sociais do Governo Federal e sua inclusão no

Cadastro Único para Programas Sociais do Governo Federal (CadÚnico), oportunizando o acesso aos benefícios referentes a tais programas, bem como atualização dos dados cadastrais dos moradores já inseridos CadÚnico.

Destaca-se a instituição de instâncias colegiadas destinadas a promover a participação e controle social do APT/AM: o Comitê Gestor Interinstitucional do Programa Brasil Sem Miséria no Amazonas com finalidade, entre outras, de “propor, discutir e aprovar políticas, validar informações e ações objetivando promover a eficiente execução do APT/AM”; e o Comitê Gestor do Projeto Água Para Todos no Estado do Amazonas, com atribuição de acompanhar a implantação do Programa Nacional de Universalização de Acesso à Água, destinadas à execução do Projeto APT/AM.

Nos níveis municipais e comunitário, também foram criados semelhantes espaços deliberativos, com objetivo de, dentro do seu espaço geográfico, analisar e acompanhar a execução do projeto e efetuar sugestões para melhoria do desempenho das atividades, com expedição de pareceres técnicos e realização de ações de vistorias nas obras de instalação dos sistemas, orientar as equipes do trabalho social e técnico, mobilização comunitária entre outros, tendo como ponto focal Comitê Gestor Estadual.

As cisternas comunitárias instaladas pelo APT foram cadastradas no Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano do Ministério da Saúde (SISÁGUA), instrumento do Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (VIGIÁGUA), objetivando promover o monitoramento da qualidade da água coletada.

Discussão e Propostas

O provimento de água potável para comunidades rurais no Amazonas, mesmo com toda disponibilidade hídrica local, se apresenta como desafio em razão das características geográficas e da dispersão demográfica desses povoadamentos, dificultando a implantação de soluções convencionais de abastecimento de água, resultando em impacto direto sobre a qualidade de vida das famílias locais.

Uma tecnologia simples, baixo custo, ecologicamente correta e de uso corrente entre os ribeirinhos, o aproveitamento das águas pluviais, vem sendo objeto de iniciativas governamentais, visando garantir acesso e sustentabilidade de seu uso, que submetida a tratamento físico e químico, garantem sua sanitização.

Algumas recomendações sob o ponto de vista técnico e construtivos dos sistemas são oportunas: elegibilidade das comunidades; viabilidade relativa à saúde pública, gestão e sustentabilidade, objetivando o aprimoramento de futuras ações semelhantes, visando o atendimento das demandas de água com qualidade e quantidade. A abordagem se dará observando aspectos distintos.

Elegibilidade das Comunidades

A escolha precisa estar isenta de interesses políticos e vinculada ao atendimento das características locais relativas ao grau de vulnerabilidade hídrica do povoamento diante dos regimes de subida e descida dos rios, e das opções locais para o suprimento da demanda de água de qualidade. O estabelecimento de instâncias de governabilidade e gestão com a presença de representantes da sociedade civil organizada e os processos de mobilização social experimentados no APT/AM, se constituíram em ponto positivo, evidenciando um processo mais técnico que político e um controle social mais efetivo.

Levantamento Socioambiental

Estratégias semelhantes foram aplicadas pelos dois programas com realização do diagnóstico socioambiental. Entretanto, muitos dos dados que deveriam ter sido coletados com a aplicação dos questionários não foram adquiridos, atribuindo-se tal fato a ausência, na ocasião da pesquisa, do chefe da família a ser beneficiada, que, quando obtida, era através outrem: membro da família, morador próximo ou liderança comunitária.

Pesquisa mais apurada proporcionaria informações que resultariam em melhor conhecimento da realidade local, subsidiando, ainda, outras propostas de políticas públicas para as localidades a partir da identificação de demandas mais qualificadas, de tal forma que a pesquisa fosse a mais representativa quanto possível do cenário encontrado.

Aspectos Técnicos-Construtivos

A estrutura física de instalação dos sistemas é aquela apresentada na Figura 1, tanto para os dois programas, sendo composta pela caixa d'água, estrutura de sustentação das caixas d'água, tubos e conexões de PVC e calhas.

Sugere-se que a plataforma de sustentação seja instalada junto às cozinhas das residências, facilitando o acesso à água com menor esforço, evitando-se ainda a proximidade de árvores, guardando-se da queda e acúmulo de galhos e folhas sobre a área de captação e seu encaminhamento para o reservatório, que devem ficar o mais próximo possível da calha garantindo altura hidráulica e permitindo a instalação da tubulação que sirva diretamente à cozinha.

A construção e instalação dos sistemas deve ser de tecnologia simples possibilitando adaptações, devendo considerar que alguns comunitários que têm suas moradias instaladas em ecossistemas de várzea, transferem os sistemas para suas residências instaladas nas terras altas na época das cheias.

Qualidade da Água

O uso de águas pluviais deve ser acompanhado dos cuidados necessários visando garantir qualidade adequada para esse fim. A adoção de barreiras de proteção sanitárias físicas ou químicas permitem atenuar os riscos de contaminação da água coletada.

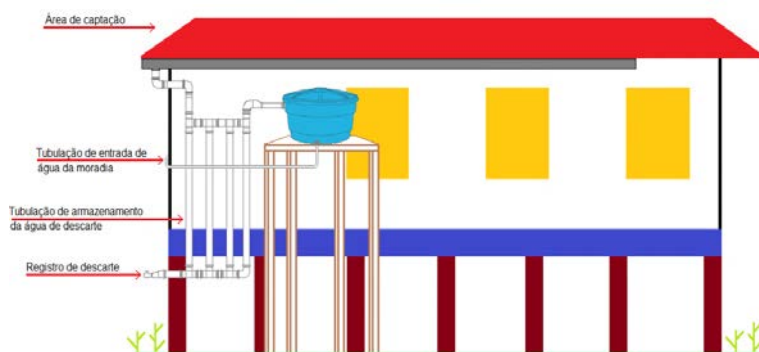
Segundo Pádua *et al.* (2013), ao comentar sobre o aproveitamento de águas pluviais, considera-se como “barreiras sanitárias”:

toda medida adotada com a finalidade de preservar ou melhorar a qualidade da água armazenada nas cisternas, incluindo medidas como desvio das primeiras águas de chuva, limpeza das cisternas, cuidado com a retirada da água, filtração e adoção de algum método de desinfecção (p. 97).

O descarte das primeiras águas foi uma prática pouco observada, pelo desconforto ao sujeitar o residente executar o procedimento recomendado durante a ocorrência da precipitação. Uma proposta para fazer frente esta situação é aquela desenvolvida pela UFPE com utilização de tubos de PVC para onde são desviados os primeiros volumes de água serem rejeitadas (Figura 3).

Orientações para a manutenção eficiente e adequada da vela filtro de barro torna-se necessária, assim como o uso correto do hipoclorito de sódio.

Figura 3 - Dispositivo de descarte automático das primeiras águas – modelo da UFPE



Fonte: Autor (2018)

Elaboração do Manual

A elaboração de Manual Técnico de Instalação de Sistemas de Captação de Água da Chuva se propôs a ter efeito demonstrativo e pedagógico, e buscou difundir essa tecnologia junto às associações, escolas, movimentos de trabalhadores rurais, instituições religiosas e outras formas de organização local, incentivando sua prática. Dispõe das peças gráficas (plantas/desenhos), memorial descritivo, orçamento, especificações e dimensionamento dos componentes e relação do material utilizado na instalação dos sistemas.

Figura 4 - Capa do Manual Técnico



Fonte: Autor (2018)

Considerações finais

O resultado desta pesquisa mostrou que iniciativas como PROCHUVA e APT/AM são capazes de ofertar água para o consumo humano em quantidade e qualidade suficiente por meio da implementação de tecnologia testada, de baixo custo e de comprovada eficiência, apoiando a meta de universalização do acesso à água em zonas rurais, mas que deve ser ajustada à realidade local com enfoque estratégico e não político, devendo o processo de escolha das comunidades e etapas posteriores contar com a participação de organizações, conselhos representativos e lideranças locais.

As demandas identificadas pelo diagnóstico socioambiental são oportunidades para que sejam adotadas ações em favor dessas comunidades pelo poder público e/ou sociedade civil organizada, devendo o instrumento de pesquisa ser qualificado para obtenção desses dados.

O local de instalação, os elementos construtivos e a utilização do dispositivo automático de desvio das primeiras águas representam praticidade, conforto na operação e manutenção dos sistemas.

A possibilidade de tratamento local mostra-se viável com o uso de barreiras físicas – filtro, descartes das primeiras águas, limpeza do telhado e do reservatório - e químicas, com a desinfecção através do hipoclorito de sódio, e o monitoramento da água coletada de forma periódica, que permitirá avaliar sua qualidade como indicado nas normativas legais, garantindo assim, um padrão desejado.

A participação social se torna primordial para que se efetive um modelo de operação que garanta a sustentabilidade da proposta, pois a partir do exercício de processos de gestão partilhada e participativa, tem-se a apropriação e compromisso com a proposta.

A utilização de material didático e de divulgação - cartazes, banners, cartilhas, vídeo – oportuniza o acesso às orientações necessárias para o bom funcionamento e manutenção dos sistemas.

As recomendações constantes neste trabalho são de caráter informativo, podendo vir a constituir em aprimoramento de proposta destinadas a superar o desafio de proporcionar às comunidades localizadas em zonas rurais, com fornecimento de água apropriada para o consumo, minimizando os efeitos da escassez de água potável e garantindo o acesso de forma regular.

Referências

- AGÊNCIA Nacional de Águas. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras*. Edição Especial. Brasília: ANA, 2015. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/regioeshidrograficas2014.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2017.
- AMAZONAS. (Estado). Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. *Proposta Técnica do Programa de Melhorias Sanitárias Domiciliares, Aproveitamento e Armazenamento de Água de Chuva*: PROCHUVA. Manaus: SDS, 2008.
- AMAZONAS. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. *Programa Águas para Todos no Amazonas – APT/AM*. Manaus: SEMA, 2017. Disponível em: <http://meioambiente.am.gov.br/projeto-agua-para-todos-no-amazonas/>. Acesso em: 05 dez. 2017.
- ANDRADE, A. L. M. Avaliação da potabilidade das águas pluviais utilizadas para o consumo humano na comunidade Nossa Senhora de Fátima do Jandira, Iranduba-AM. In: XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, Campo Grande. *Anais*. Disponível em: [//anais2.abrhidro.org.br/job.php?Job=10385](http://anais2.abrhidro.org.br/job.php?Job=10385). Acesso em: 05 dez. 2017
- AZEVEDO, R. P. Uso de água subterrânea em sistema de abastecimento público de comunidades na várzea da Amazônia Central. *Revista Acta Amazônica*. v. 36, n. 3, p. 313 – 320, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/aa/v36n3/v36n3a04.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2017.
- BRASIL. Casa Civil da Presidência da República. *Portaria MS nº 518/2004*. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/portaria_518_2004.pdf. Acesso em: 16 dez. 2017.
- COHIM, E. et al. (orgs.). *Captação, manejo e uso de água de chuva*. Campina Grande: Insa, 2015. Cap. 9. p. 190-210. Disponível em: https://www.academia.edu/75834185/Capta%C3%A7%C3%A3o_Manejo_e_Uso_de_%C3%81gua_de_Chuva. Acesso em: 11 jan. 2016.
- HONÓRIO, B. A. D. *Água da chuva na Amazônia Ocidental: química e composição isotópica*. 2007. 87 f. Dissertação (Mestrado) – Curso Mestrado em Geociências, Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2007. Disponível em: <http://ppggeo.ufam.edu.br/images/assets/Documentos/DissertacaoBenicia2007.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2017.
- MAIA, M. A. M.; MARMOS, J. L. (orgs.). Geodiversidade do Estado do Amazonas. In: *Recursos Hídricos Superficiais*. Manaus: CPRM, 2010. Cap 4. p. 46-57. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/16624>. Acesso em: 06 dez. 2023.

- NENHUM dos 20 piores municípios do Ranking do Saneamento tratam mais que 45% do esgoto gerado. *Instituto trata Brasil*. 2024. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/20-piores-ranking-do-saneamento-esgoto/>. Acesso em: 26 mar. 2024.
- NEU, V. *et al.* Água da Chuva: abastecimento descentralizado e qualidade de vida para comunidades ribeirinhas da região insular de Belém. In: NEU, V. *et al.* (org.). *Sustentabilidade e Sociodiversidade na Amazônia: integrando ensino, pesquisa e extensão na região insular de Belém*. Belém: EDUFRA, 2016. Cap. 4. p. 66-86.
- OLIVEIRA, T. C. S.; RODRIGUES, B. F.; CARNEIRO, E. F. Qualidade de vida de ribeirinhos na Amazônia em função do consumo de água. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, 4., 2008, Brasília. *Anais...* Brasília: Anppas, 2008. p. 1-10. Disponível em: <http://www.anppas.org.br/encontro4/cd/ARQUIVOS/GT12-951-759-20080510230538.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2016.
- PÁDUA, V. L. *et al.* Proteção sanitária das cisternas utilizadas na reservação de águas pluviais para uso domiciliar: aspectos técnicos e educacionais. 5º *Caderno de pesquisa de engenharia de saúde pública*. Fundação Nacional de Saúde. Brasília: FUNASA, 2013. Cap. 4. p. 97-127.
- SOARES, D. A. F. *et al.* Considerações a respeito da reutilização das águas residuárias e aproveitamento das águas pluviais em edificações. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12., Vitória, 1999. *Anais*. Vitória: ABRH, 1999. p.7. 1 CD – ROM.
- SOUZA FILHO, F. A. *et al.* Desafio da gestão integrada dos recursos hídricos: Reforma dos recursos hídricos e aproveitamento de água da chuva. In: SANTOS, D. B. *et al.* (org.). *Captação, manejo e uso de água de chuva*. Campina Grande: Insa, 2015. Cap. 2. p. 27-35. Disponível em: <file:///C:/Users/23919264215/Downloads/Livro- Luiza.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2016.

Parâmetros físicos-químico e estado trófico da água no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Puraquequara, Manaus-AM

Paulo Cezar Arce da Rocha

Flávio Wachholz

Ieda Hortêncio Batista

Introdução

A cidade de Manaus-AM, sede do Polo Industrial de Manaus (PIM), possui atrativo para instalação de indústrias de diversos segmentos, que são gerenciados e incentivados pela Superintendência da Zona Franca de Manaus (SUFRAMA). Com relação a outros estados da federação, o PIM leva vantagens pelos incentivos fiscais e tributários oferecidos, o que torna benéfica a operação de chão de fábrica de empresas nacionais ou estrangeiras.

Com a instalação dessas empresas em Manaus, a cidade experimentou um crescimento sem planejamento e, portanto, desordenado, sem uma infraestrutura de saneamento básico. Em busca de melhores condições de vida, como estudo e trabalho, mais da metade da população do Estado do Amazonas reside na capital.

O crescimento geral da cidade de Manaus acontece da direção Sul para o Norte, balizado pelos Rios Tarumã-Açu e Puraquequara, importantes delimitações geográficas naturais da cidade de Manaus-AM.

Reveste-se de importância ao fato do estabelecimento, por parte Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), dos Assentamentos familiares Água Branca, Puraquequara e Santo Antônio, na região Ocidental da bacia, próximos ou juntos a mananciais afluentes do Rio Puraquequara.

Outras propriedades de cunho particular que praticam agricultura familiar ou de subsistência, o barramento de igarapés e escavações de tanques destinados a criação de peixes, atividades antrópicas que prejudicam a qualidade dos recursos hídricos.

É notória que a instalação de empresas no bairro Distrito Industrial II, carece de infraestrutura adequada para o descarte correto de seus respectivos efluentes industriais.

Ainda, dentro da problemática, existem na bacia postos de combustíveis, estabelecimentos comerciais diversos e bares flutuantes sendo estes últimos com descarte de efluentes diretamente na água. Também, a presença de abatedouro de gado e indústrias de construção naval.

O relatório técnico objetivou tornar público o conhecimento acerca de análises de parâmetros Físicos-Químico, de Qualidade da Água e Índice de Estado Trófico verificados em pontos situados e analisados no Baixo Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Puraquequara (BHRP).

Justifica-se na extensa legislação vigente e integradora e visa alertar os entes responsáveis, do potencial degradação da qualidade ambiental e dos recursos hídricos da bacia hidrográfica, pela falta de ações há muito tempo previstas em arcabouço legislativo de todas as esferas da administração pública.

Desenvolvimento

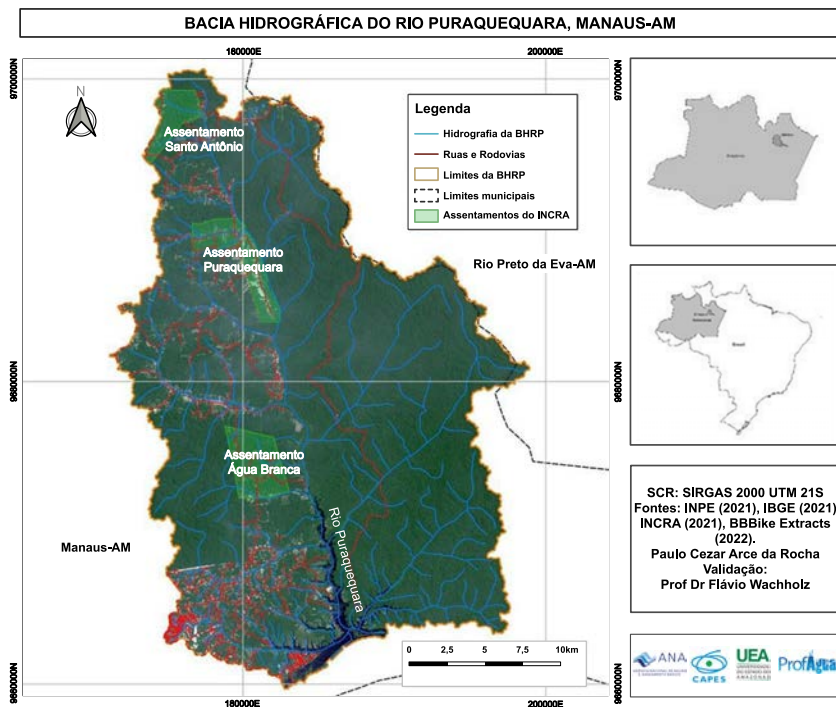
Para o desenvolvimento da pesquisa foi consultada extensa bibliografia acadêmica, bem como legislação dos âmbitos federal, estadual e municipal relacionadas com a Gestão e Regulação de Recursos Hídricos e, também, daquelas com previsão integradora de temas, como a Gestão de Resíduos Sólidos, Saneamento Básico, Código Florestal Brasileiro e Gestão Ambiental.

Material e métodos

Área do Estudo

A BHRP, de acordo com Costa, Silva e Silva (2013), possui uma área de drenagem de 684,834 km² e um perímetro de 151,731 km (Figura 1).

Figura 1 - Área do Estudo



Fonte: Rocha; Batista; Wachholz (2023)

A BHRP encontra-se localizada na região Leste do município de Manaus-AM, em área limítrofe da região Oeste do município de Rio Preto da Eva-AM. Em sua porção noroeste encontra-se assentamentos realizados pelo INCRA e igarapés importantes, como Água Branca, Matrinxã, Meada, Ipiranga, João Paulo e Boa Vista, afluentes da margem direita e, Candiru, Branquinho, Mainá e Mainzinho, afluentes da margem esquerda (Miranda, 2017, p. 79).

A região Centro-Oeste da bacia limita-se com a Reserva Florestal Adolpho Ducke (RFAD) de onde estão várias de suas nascentes e, a região Sudoeste contemplando os bairros do Distrito Industrial II, Jorge Teixeira e do Puraquequara. Ao Sul da bacia limita-se com a margem esquerda do Rio Amazonas, onde encontra-se o seu exutório; ao Norte limita-se com extensa região de floresta primária.

É uma bacia hidrográfica que possui um comprimento aproximado de 39 quilômetros, desde sua nascente mais remota, até o seu exutório, junto à margem esquerda do Rio Amazonas e, em sua cabeceira uma altura aproximada de 130 metros com relação ao Exutório.

A bacia hidrográfica encontra-se em uma área que apresenta índice pluviométrico médio anual de 2.286 mm/ano e uma temperatura média anual de 26,7 °C (Barbosa *et al.*, 2015, p. 101).

Segundo Álvares *et al.* (2013, p. 713), o clima é o “Af”, conforme classificação climática de Köppen-Geiger, que significa Clima Tropical Chuvoso de Floresta.

De acordo com estudos de Sioli (1950), a BHRP tem suas águas classificadas como pretas, em virtude da presença da ácidos húmicos e fúlvicos, consequência da degradação incompleta da vegetação.

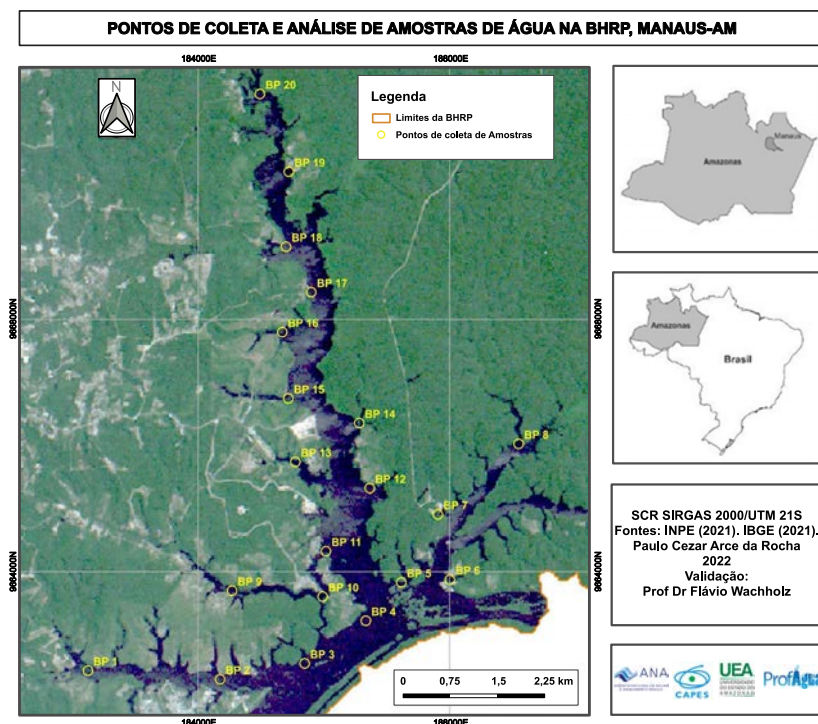
A BHRP teve seu Comitê de Bacia instituído pelo Decreto nº 37.412, de 25 de novembro de 2016, publicado no Diário Oficial do Estado do Amazonas, de 28 de novembro de 2016.

Pontos de Coleta e Análises de Amostras

Os pontos para coleta de amostras e análises de água foram escolhidos levando em consideração a possibilidade de alteração antrópica na qualidade da água resultante da observação das características das atividades desenvolvidas próximas aos referidos pontos e que se encontram destacados na Figura 2.

As coletas de água para análises in situ, como as coletas para análise laboratorial foram realizadas na manhã do dia 19 de maio de 2022, em uma época de pulso de inundação sazonal na Bacia Hidrográfica do Rio Puraquequara.

Figura 2 - Pontos de Coletas e Análises de Amostras de Água



Fonte: Rocha, *et al.* (2023)

Resultados

A pesquisa contemplou os temas de Usos Múltiplos dos Recursos Hídricos na BHRP, Uso e Cobertura da Terra, Áreas de Preservação Permanente (APP), coletas e análises in situ de amostras de água para medir parâmetros relacionados com a Qualidade da Água e, ainda, de coletas de amostras de água para análises laboratoriais.

Usos Múltiplos dos Recursos Hídricos na BHRP

A identificação dos Usos Múltiplos do Recursos Hídricos foi realizada de várias formas. A primeira forma foi realizada por meio de navegação fluvial na região do Baixo Curso da BHRP, onde foram realizados registros fotográficos com câmera fotográfica digital, observações e anotações em Ficha de Campo.

A segunda, visita nas imediações do bairro do Puraquequara, também com registros fotográficos foi outra forma de verificar a dinâmica do bairro no que diz respeito aos usos múltiplos dos recursos hídricos, particularmente, do não atendimento de normas ambientais conforme registrado na Figura 3.

Figura 3 - Rua Boa Vista, bairro Puraquequara



Legenda: (A) Escoamento superficial de efluentes com forte odor e destino ao porto, onde há acúmulo de (B) Resíduos Sólidos na margem do rio

Fonte: Rocha, *et al.* (2023)

A terceira foi após delimitação da bacia hidrográfica com a utilização de imagens de radar da missão SRTM/TOPODATA e do satélite CBERS4, originados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), de cenas orbitais obtidas da data de 21 de agosto de 2021, que possibilitaram a observação aérea dos locais com atividades de potencial degradação ambiental e hídrica, desenvolvidas no perímetro da bacia hidrográfica.

Foi identificado que os diversos segmentos sociais se utilizam de caixas de reservação de água para suprir suas necessidades, embora no bairro do Puraquequara não ocorra coleta, tratamento e distribuição pública de água potável para consumo da população.

Em um de igarapé afluente do curso principal do Rio Puraquequara encontra-se instalado um estaleiro com extensa área de solo exposto. Nas margens do Rio Puraquequara um estaleiro maior também com extensa área de solo exposto (Figura 4).

Registros na região ocidental da bacia, em parte dos bairros Jorge Teixeira, Distrito Industrial II e Puraquequara da existência de empresas industriais de diversos segmentos, o funcionamento de indústria naval, um

abatedouro e frigorífico de gado bovino instalado ao final do ramal do brasileiro [...] (Sufrema, 2018).

Figura 4 - Estaleiros na BHRP



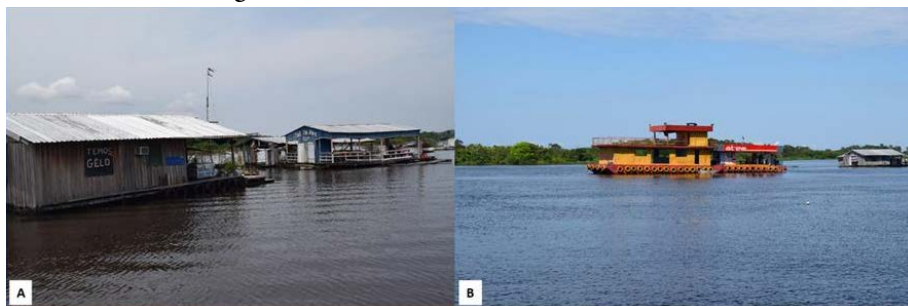
Legenda: (A) Estaleiro Socorro Carvalho; (B) DMN Estaleiro da Amazônia.

Fonte: Rocha, *et al.* (2023)

Foram identificadas, também, regiões de produção de hortifrutigranjeiros em geral, além de navegação, casas, bares e estabelecimentos comerciais flutuantes. Há, ainda, comunidades estabelecidas em terra com trapiches flutuantes destinados a lazer. Postos de abastecimento de combustíveis flutuantes também foram registrados em dois pontos da bacia.

Na Figura 5 é possível identificar um bar flutuante, comércio em geral de GLP, gelo e bebidas e um Posto de Abastecimento de Combustíveis flutuante.

Figura 5 - Estabelecimentos comerciais flutuantes



Legenda: (A) Comércio e bar flutuante; (B) Posto de Abastecimento de Combustíveis.

Fonte: Rocha, *et al.* (2023)

Em região de extenso movimento de embarcações fluviais e pessoas está situado o porto do bairro Puraquequara, constituído, também, de uma feira

e terminal pesqueiro e ponto de partida de turistas para os bares flutuantes e deslocamentos diversos dos habitantes da região.

Ainda, com relação aos Usos Múltiplos da Água, na região noroeste da bacia nota-se a presença de barramentos de mananciais e tanques escavados para o desenvolvimento de piscicultura, com alterações na qualidade das águas na porção montante da bacia, evidenciado pelo esverdeamento das águas dos tanques, onde as águas naturais são caracteristicamente pretas (Figura 6).

Figura 6 - Região Noroeste da BHRP



Fonte: Gosur (2022)⁷

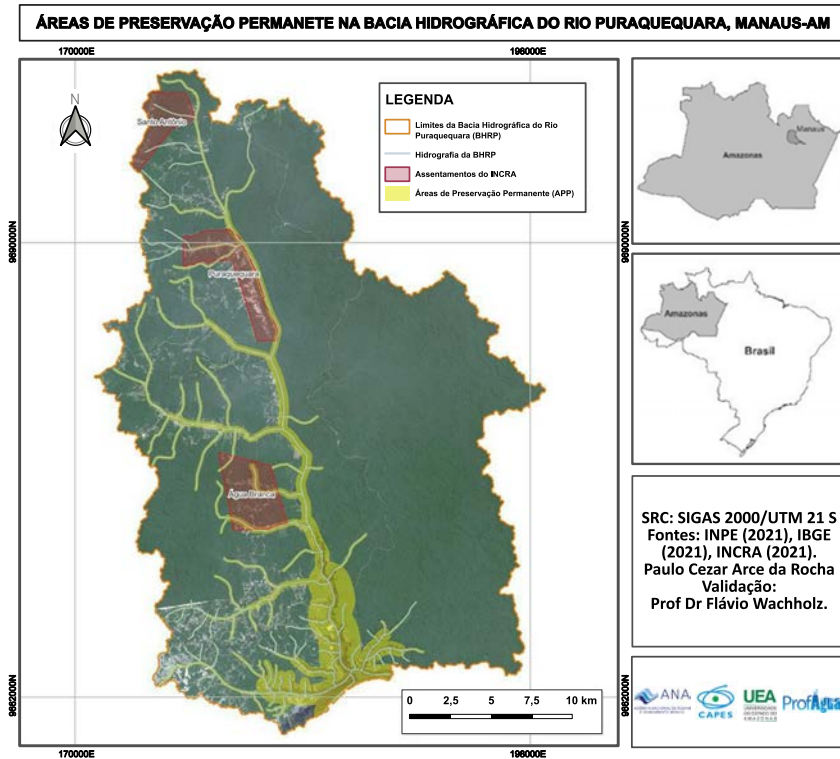
Uso e Cobertura da Terra na Bacia Hidrográfica do Rio Puraquequara Áreas de Preservação Permanente

No que se refere às Áreas de Preservação Permanente (APP), previstas no Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.651/2012), foi registrado que não há observância, em qualquer parte da bacia, do previsto ao que diz respeito à observância das distâncias das faixas de APP (Figura 7).

Pela observação da Figura 7, é notória a sobreposição nas APPs, dos assentamentos estabelecidos pelo INCRA e de diversas outras propriedades residenciais, cultivares e industriais inseridas nas faixas de APP, inclusive áreas de nascentes.

⁷ Disponível em: satellite-map.gosur.com

Figura 7 - APP na BHRP



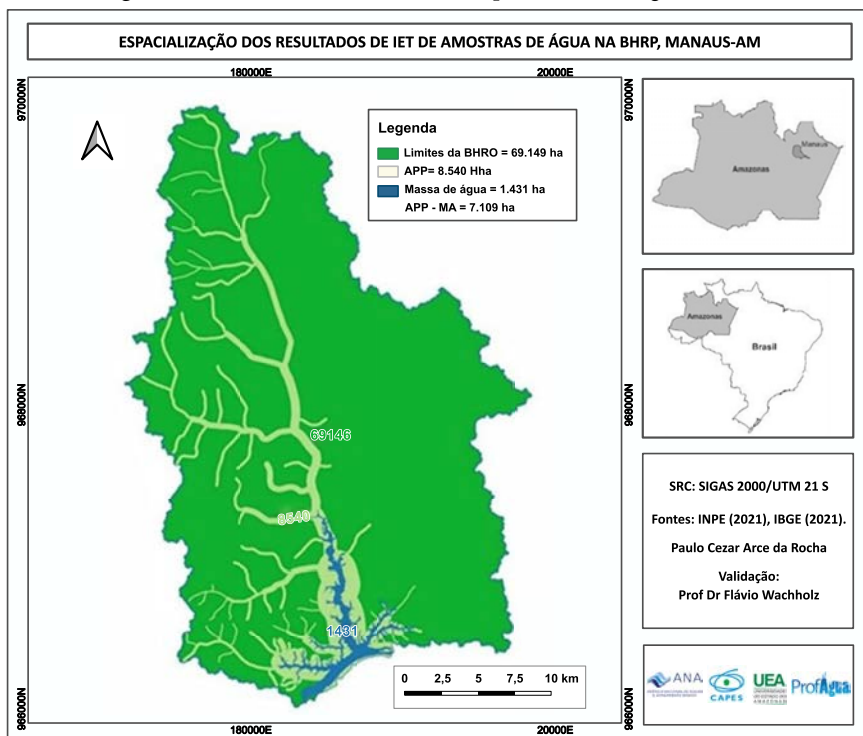
Fonte: Rocha, *et al.* (2023)

Na região de margem esquerda do igarapé Boa Vista existe uma grande área desmatada, com solo exposto e regiões de vegetação de pequeno porte e cultura de hortaliças e margens expostas, propensas a erosão e consequente aporte de nutrientes e sedimentos, diminuição da profundidade do manancial e aumento de pulsos de inundação.

As comunidades estabelecidas nas margens de todos os mananciais também não obedecem às faixas mínimas de APP estabelecidas pelo código florestal. Ressalta-se que a legislação determina que as faixas já ocupadas deverão ser restabelecidas.

O cálculo da APP da BHRP foi realizado utilizando o software QGIS 3.22 LTR com a utilização dos algoritmos destinados à criação de buffers calculados conforme a largura dos mananciais e o que prescreve o Código Florestal sobre o assunto, resultando no constante da Figura 8.

Figura 8 - Cálculo da APP da BHRP Espacializada Geograficamente



Fonte: Rocha, et al. (2023)

Do constante da Figura 8 foi apurado um resultado de 69.146 ha de área para a BHRP, uma massa de água de no mínimo 1.431 ha (na data de 21 de agosto de 2021) e uma APP na métrica de 8.540 ha.

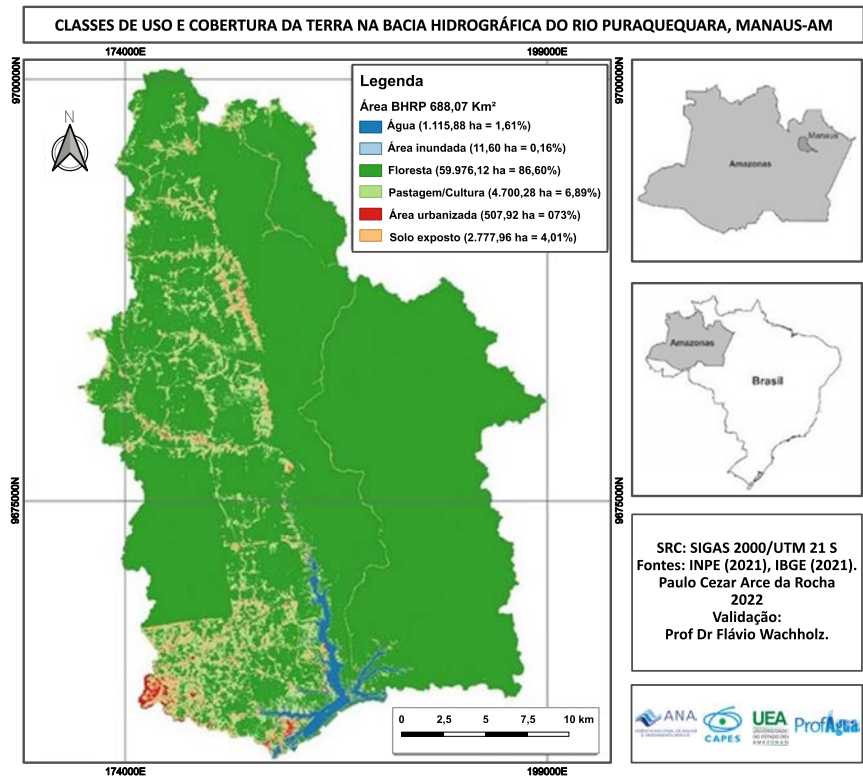
Uso e Cobertura da Terra

Para a determinação do Uso e Cobertura da Terra na região da BHRP, com base em imagens do satélite CBERS4 foi constituída uma Composição Colorida *raster* e, posteriormente, exportada para um arquivo vetorial, com a composição de seis classes supervisionadas de uso: Água, Área Inundada, Floresta, Pastagens e Culturas, Áreas Urbanizadas e Solo exposto (Figura 9).

A partir da Tabela de Atributos do QGIS foram calculadas a área (ha) de cada classe e o percentual (%) de ocupação dessas áreas na bacia (Tabela 1).

Com as medidas de área de cada classe e com a utilização do Coeficiente de Exportação foi possível verificar a contribuição de Fósforo Total dessas classes supervisionadas para o compartimento aquático conforme registrado na Tabela 2.

Figura 9 - Classes de Uso e Cobertura da Terra na BHRP



Fonte: Rocha, et al. (2023)

Além da contribuição exposta na Tabela 1, conforme a ANA (2019), quando da criação do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Puraquequara (CBH/AM), a região da bacia possuía uma população de 17.313 habitantes no ano de 2016.

Tabela 1 - Resultado da Classificação Supervisionada

CLASSE	ÁREA (HA)	REPRESENTAÇÃO (%)
Água	1.115,88	1,61
Área inundada	11,60	0,16
Floresta	59.976,12	86,60
Pastagem/Cultura	4.770,28	6,89
Área urbanizada	507,92	0,73
Solo exposto	2.777,96	4,01

Fonte: Rocha; Batista; Wachholz (2023)

Diante do citado anteriormente e em conformidade com os estudos realizados por Salas e Martino (1991), a contribuição de Fósforo Total (PT), por pessoa, é de 1.000 g/hab.ano.

Dessa forma, para o ano de 2016, o aporte desse nutriente pelos habitantes foi de 17.313.000 gramas no ano ou 17.313 kg, porém, há que se considerar que houve expansão dos bairros que se encontram dentro da bacia hidrográfica e, conseqüentemente, um aumento populacional.

Tabela 2 - Contribuição de Fósforo Total na BHRP

USO DA BACIA HIDROGRÁFICA	CONTRIBUIÇÃO DE PT (G/M2.ANO)	ÁREA NA BACIA (M2)	APORTE ANUAL (G – KG)
Área urbanizada	0,1	5.079.200	507920 = 507,92
Pastagem/cultura	0,05	47702.800	2.385.140 = 2.385,14
Floresta	0,01	599.761.200	5.997.612 = 5.997,612
Σ		652.543.200	8.890.672 = 8.890,672

Fonte: Rocha; Batista; Wachholz (2023)

Há, ainda, a necessidade de realização de um censo pecuário junto à bacia, com a finalidade de cálculo de seus respectivos aportes de Fósforo Total para a bacia hidrográfica.

Parâmetros e Estado Trófico da Água no Baixo Curso do Rio Puraquequara Turbidez (NTU)

A turbidez apresentou resultado de medida mínima de 2,46 no ponto BP19, na direção montante do Rio Puraquequara e no ponto de coleta BP20, mais a montante, o valor máximo de 5,49. O parâmetro apresentou média de 4,26 com mediana no valor de 4,32 e desvio padrão de 0,94.

Explica Esteves (2011, p. 151) que “os principais fatores responsáveis pela turbidez da água, bem como pela dispersão da radiação, são as partículas suspensas – bactérias, fitoplâncton, detritos orgânicos e inorgânicos – e em menor proporção os compostos dissolvidos”.

Oxigênio Dissolvido (OD – mg/L)

O valor mínimo desse parâmetro foi de 0,10 mg/L no ponto de coleta BP20 contrastando com o ponto de coleta BP19 o valor máximo de 3,08 mg/L. Apresentou uma média de 1,42 mg/L com a mediana no valor de 1,40 mg/L. O desvio padrão das amostras do parâmetro foi de 0,83 mg/L.

Segundo Esteves (2011, p. 167), “a oxidação da matéria orgânica, resultado da atividade dos microrganismos, perdas para a atmosfera, respiração de organismos aquáticos e oxidação de íons metálicos, como, por exemplo, o ferro e o manganês, contribuem para a redução da concentração do oxigênio na água”.

Ainda, Esteves (2011, p. 178) afirma que “a grande fitomassa inundada, ao se decompor, consome grande parte do oxigênio dissolvido, [...]”.

Temperatura da água (°C)

Os registros de temperatura da água apontaram um valor mínimo de 27,46 °C no ponto de coleta BP20, onde o curso do rio é mais estreito e diversos igarapés com origem na floresta. O valor máximo registrado foi de 29,76 °C no ponto de coleta BP10 na região do Exutório do igarapé João Paulo. A média foi de 29,42 °C, enquanto a mediana assinalou o valor de 29,59 °C. O valor do desvio padrão registrado foi de 0,50.

Os pontos de menor temperatura foram verificados em áreas que ainda se encontravam abrigados da luz do sol, verificado pelo movimento do Sol que é da direção Leste para Oeste na Bacia Hidrográfica do Rio Puraquequara.

Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH apresentou valor mínimo de 4,27 no ponto de coleta BP4 e valor máximo de 4,75 no ponto BP13. A média desse parâmetro foi de 4,52 considerando os vinte pontos. A mediana está representada pelo valor de 4,54. O desvio padrão assinalou o valor de 0,15.

Conforme Esteves (2011, p. 227), “os organismos heterotróficos, ou seja, que consomem MO derivada da biota, interferem na concentração de CO₂ no meio e, conseqüentemente, no seu pH”.

Esteves (2011, p. 226) justifica a situação com relação aos valores de pH baixo “Este fato é especialmente significativo em ambientes que apresentem valores de alcalinidade da água relativamente baixos, como os ecossistemas amazônicos [...]”.

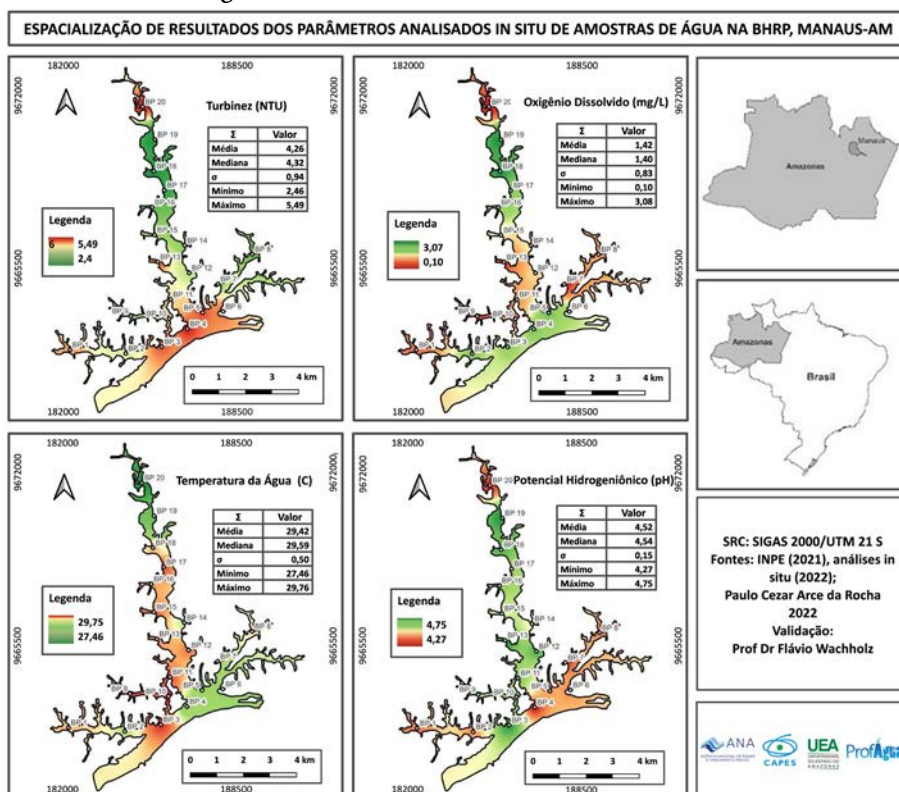
Prossegue Esteves (2011, p. 227) que, “os processos de decomposição da matéria orgânica também podem levar à diminuição do pH pelo mesmo motivo”.

Espacialização dos Resultados

Após as coletas de água nos Pontos de Coleta determinados para a realização das análises in situ dos parâmetros de Turbidez (NTU), realizado com Turbidímetro portátil e Oxigênio Dissolvido, (OD) Temperatura da Água (°C) e Potencial Hidrogeniônico (pH) realizados com a Sonda Multiparâmetro, os dados foram lidos nos respectivos instrumentos de análise e anotados na Ficha de Campo, construída para essa finalidade.

A seguir, foram realizados procedimentos específicos de Geoprocessamento, para a Espacialização dos Resultados, utilização de uma rampa de cores e a geração de um mapa para cada um desses parâmetros analisados, tendo como resultado o cartograma constante da Figura 10.

Figura 10 - Resultados das análises realizadas in situ



Fonte: Rocha; Batista; Wachholz (2023)

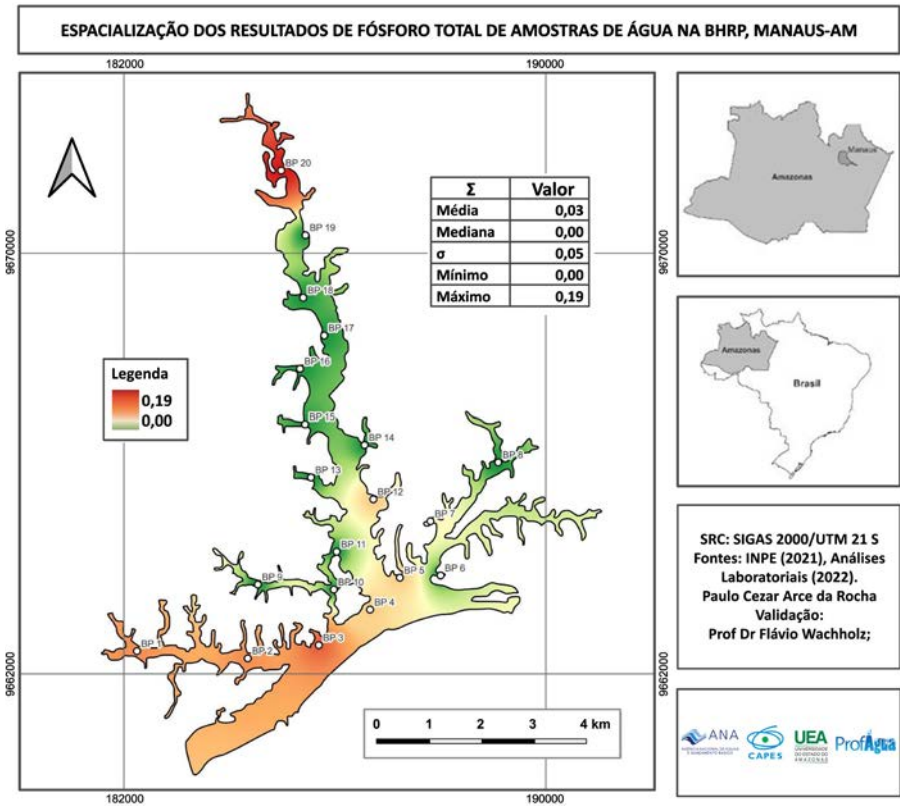
Fósforo Total (mg/L)

O Fósforo Total apresentou valores de 0,00 mg/L nos pontos de coleta BP6, BP8 a BP11 e BP13 a BP19. O valor máximo desse parâmetro ocorreu no ponto de coleta BP20, apontando o valor de 0,19 mg/L. A média apresentada foi de 0,03 mg/L e a mediana 0,00 mg/L. O desvio padrão registrado para o parâmetro foi de 0,05 mg/L.

Da mesma forma, como foram construídos os mapas de espacialização para os parâmetros medidos e citados anteriormente, também, e, principalmente, foi construído o mapa de espacialização de resultados para o Fósforo Total, constante da Figura 11, como forma de visualizar quais áreas encontram-se mais propensas ao risco de eutrofização, em particular, neste estudo, no Baixo

Curso da BHRP e, em regiões de alguns de seus afluentes principais, onde se percebe, pela análise das imagens de satélite, o desenvolvimento de atividades com potencial de desencadeamento de eutrofização dos mananciais.

Figura 11 - Resultado Espacializado de Fósforo Total



Fonte: Rocha, et al. (2023)

Parâmetros da Água (QA)

Os parâmetros da Água constante da Tabela 3, a seguir, foram obtidas com a utilização de planilha eletrônica construída especificamente pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e disponível para aquisição gratuita em página própria.

Tabela 3 - Resultados consolidados e parâmetros da Água

PONTO DE COLETA	TURBIDEZ (NTU)	OD (MG/L)	TEMP (°C)	PH	PT (MG/L)
BP 1	4,90	0,79	29,59	4,37	0,09
BP 2	5,41	1,87	29,47	4,40	0,09
BP 3	5,21	1,83	29,72	4,72	0,13
BP 4	5,48	2,06	29,38	4,27	0,05
BP 5	5,27	2,16	29,39	4,41	0,05
BP 6	5,12	1,78	29,27	4,39	0,00
BP 7	4,05	0,17	29,46	4,31	0,03
BP 8	3,61	1,11	29,55	4,39	0,00
BP 9	3,80	0,35	29,73	4,57	0,00
BP 10	4,73	0,80	29,76	4,64	0,00
BP 11	4,73	1,11	29,69	4,62	0,00
BP 12	4,24	1,36	29,65	4,67	0,05
BP 13	5,25	0,31	29,63	4,75	0,00
BP 14	3,89	1,41	29,49	4,48	0,00
BP 15	3,90	1,39	29,67	4,51	0,00
BP 16	3,40	1,87	29,61	4,60	0,00
BP 17	2,81	1,87	29,68	4,58	0,00
BP 18	2,46	3,02	29,60	4,67	0,00
BP 19	2,49	3,08	28,71	4,74	0,00
BP 20	5,49	0,10	27,46	4,30	0,19

Fonte: Rocha, *et al.* (2023) **Índice de Estado Trófico (IET)**

A classificação do IET da CETESB, utilizada para rios (ambientes lóticos) e referência para todo o país, encontra-se sintetizada pela Figura 12, que contempla as categorias Ultraoligotrófico, Oligotrófico, Mesotrófico, Eutrófico, Supereutrófico e Hipereutrófico, considerando o Fósforo Total (mg.m^{-3}) e seus respectivos limites de ponderação.

Figura 12 - Categorias de Estado Trófico para Rios

Classificação do Estado Trófico - Rios			
Categoria (Estado Trófico)	Ponderação	P-Total - P (mg.m ⁻³)	Clorofila <i>a</i> (mg.m ⁻³)
Ultraoligotrófico	IET ≤ 47	P ≤ 13	CL ≤ 0,74
Oligotrófico	47 < IET ≤ 52	13 < P ≤ 35	0,74 < CL ≤ 1,31
Mesotrófico	52 < IET ≤ 59	35 < P ≤ 137	1,31 < CL ≤ 2,96
Eutrófico	59 < IET ≤ 63	137 < P ≤ 296	2,96 < CL ≤ 4,70
Supereutrófico	63 < IET ≤ 67	296 < P ≤ 640	4,70 < CL ≤ 7,46
Hipereutrófico	IET > 67	640 < P	7,46 < CL

Fonte: Adaptado de CETESB (2011)

De posse dos resultados obtidos das análises laboratoriais foi construída a Tabela 4, contemplando o nome dos pontos em que foram realizadas as coletas, o resultado obtido em cada ponto, a inserção no intervalo previsto para a classe e verificada a Categoria de Estado Trófico.

Tabela 4 - Resultados consolidados de IET

PONTO DE COLETA	PT (MG/L)	IET	INTERPRETAÇÃO
BP 1	0,09	57,31	Mesotrófico
BP 2	0,09	57,31	Mesotrófico
BP 3	0,13	59,22	Eutrófico
BP 4	0,05	54,26	Mesotrófico
BP 5	0,05	54,26	Mesotrófico
BP 6	0,00	0,00	Ultraoligotrófico
BP 7	0,03	51,61	Oligotrófico
BP 8	0,00	0,00	Ultraoligotrófico
BP 9	0,00	0,00	Ultraoligotrófico

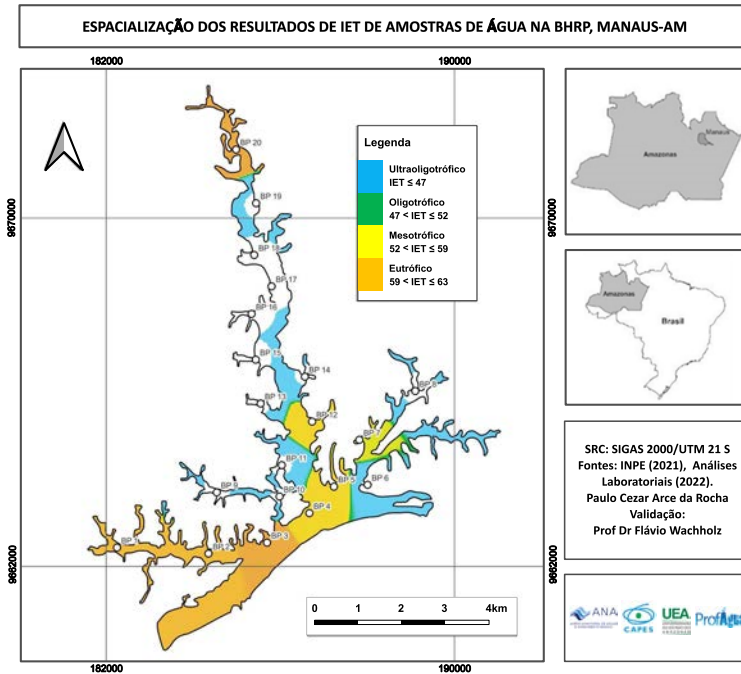
BP 10	0,00	0,00	Ultraoligotrófico
BP 11	0,00	0,00	Ultraoligotrófico
BP 12	0,05	54,26	Mesotrófico
BP 13	0,00	0,00	Ultraoligotrófico
BP 14	0,00	0,00	Ultraoligotrófico
BP 15	0,00	0,00	Ultraoligotrófico
BP 16	0,00	0,00	Ultraoligotrófico
BP 17	0,00	0,00	Ultraoligotrófico
BP 18	0,00	0,00	Ultraoligotrófico
BP 19	0,00	0,00	Ultraoligotrófico
BP 20	0,19	61,19	Eutrófico

Fonte: Rocha, *et al.* (2023)

Como resultado da aplicação do Índice de Estado Trófico, para os vinte pontos amostrados, doze pontos apresentaram resultado de interpretação para Ultraoligotróficos, um foi classificado como Oligotrófico, cinco pontos apresentaram interpretação na classe de Mesotróficos e dois pontos classificados como Eutróficos.

Com procedimentos especializados de Geoprocessamento os resultados da Tabela 4 foram transformados na Figura 13.

Figura 13 - Espacialização do IET



Fonte: Rocha, *et al.* (2023)

Considerações finais

No olhar para a Bacia Hidrográfica do Rio Puraquequara é necessário que as autoridades competentes fiscalizem as atividades que ocorrem no perímetro da bacia, que sejam realizadas fiscalizações à luz da legislação existente, cada um dos entes dentro de suas esferas de competência e responsabilidades, inclusive, observando a integração dos mecanismos normativos.

Há necessidade de construção de um Plano de Gestão Estratégica para a Bacia Hidrográfica do Rio Puraquequara com a definição clara de Objetivos Estratégicos, observando Fatores Críticos de Sucesso e determinando Metas e Ações.

Ainda, o estabelecimento de um Plano de Gestão de Riscos para a bacia com os seus referidos Planos de Contingência para cada risco analisado.

É premente o estabelecimento de Estações de Tratamento de Efluentes, inclusive, o tratamento de efluentes dos estabelecimentos flutuantes e a coleta

e destinação correta de Resíduos Sólidos Urbanos dos bairros estabelecidos na área da bacia.

Na área da agropecuária é necessário que se busque o Manejo e Desenvolvimento Sustentável junto àqueles que desenvolvem tais atividades, se possível, com a prática do Sistema Agroflorestal.

Na área da bacia, em todos os segmentos possíveis, é primaz o desenvolvimento e o fortalecimento da Educação Ambiental em toda e qualquer oportunidade e para todas as faixas etárias.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. ANA. *Planos de Recursos Hídricos e Enquadramento dos Corpos de Água*. Cadernos de Capacitação em Recursos Hídricos. V. 5. Brasília: ANA, 2013. 68 p. il.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. ANA. *Comitês de Bacia Hidrográfica/Comitês por Região/Comitês de bacias por Estado/Comitês do Estado do Amazonas*. 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/fortalecimento-dos-entes-do-singreh/comites-de-bacia-hidrografica/comites-estaduais/am>. Acesso em: 13 abr. 2022. Atualizado em: 11 jun. 2019.
- ALVARES, C. A. *et al.* Mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 6, p. 711-728, 2013.
- BARBOSA, P. H. D. *et al.* Variabilidade de elementos meteorológicos e de conforto térmico em diferentes ambientes na Amazônia brasileira. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 17, 2015.
- BRASIL. Código Florestal. *Lei 12.651/2012*. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, 2012.
- BRASIL. *Constituição da República Federativa do Brasil*. Brasília: Senado, 1988.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA *Resolução nº 357, 17 de março de 2005*. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 18 de março de 2005.
- CBERS4 MUX: *Imagem de Satélite*. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2021. 1 imagem de satélite. Canais 5, 6, 7 e 8 e composição colorida 7, 6 e 5.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). *Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimentos, comunidade aquática e efluentes líquidos*. São Paulo: 2011. 327 p.

- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). *Relatório de Qualidade das Águas Superficiais: Apêndice D – Índices de Qualidade das Águas 2011*. São Paulo: 2011. 22 p.
- COSTA, E. B. S.; SILVA, C. L.; SILVA, M. L. Caracterização física de bacias hidrográficas na região de Manaus/AM. *Caminhos de Geografia*, Uberlândia, v. 14, n. 46, p. 93-100, 2013.
- ESTEVES, F. A. *Fundamentos de limnologia*. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. ISBN 978-85-7193-271-5.
- EXTRACT. *BBBike*. OpenStreetMap. c2022. Disponível em: <https://extract.bbbike.org/>. Acesso em: 19 mar. 2022.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Manual técnico de uso da terra*. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2021.
- INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA) *Acervo Fundiário*. Disponível em: acervofundiario.incra.gov.br. Acesso em: 23 jul. 2021.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). *Divisão de geração de imagens*. Disponível em: www.dgi.inpe.br. Acesso em: 12 dez. 2021.
- MANAUS. *Lei complementar Nº 2, de 16 de janeiro de 2014*. Dispõe sobre o Plano Diretor Urbano e Ambiental do Município de Manaus e dá outras providências. Prefeitura de Manaus, 2014. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/plano--diretor-manaus-am>. Acesso em: 20 ago. 2021.
- MIRANDA, M. J. O. O uso de geotecnologias na análise temporal do processo de expansão urbana sobre a Bacia Hidrográfica do Puraquequara: Manaus-AM. 2017. 112 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017.
- QGIS Development Team. *QGIS Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>. 2022.
- ROCHA, P. C. A.; BATISTA, I. H.; WACHHOLZ, F. Parâmetros Físico-Químicos da Água face ao enquadramento da Bacia Hidrográfica do Rio Puraquequara, Manaus-AM. *Revista Contexto Geográfico*, v. 8, n. 17, p. 1-14, 2023.
- SALAS, H.; MARTINO, P. *Metodologías simplificadas para la evaluación de eutroficación en lagos cálidos tropicales*. OPS, 1991.
- SIOLI, H. Das Wasser in Amazonasgebiet. *Fors. Fortschr.*, v. 26, p. 274-280, 1950.
- SUFRAMA. Superintendência da Zona Franca de Manaus - SUFRAMA. *Perfil das Empresas com Projetos Aprovados pela SUFRAMA*. Manaus, 2018. 194 p.

Balanced scorecard para o abastecimento de água: proposta de mapa estratégico para os serviços da cidade de Parintins, Amazonas

Silvane Mascarenhas de Almeida
José Camilo Ramos de Souza

Introdução

A cidade de Parintins, base deste estudo sobre a gestão dos recursos hídricos, apresentou crescimento econômico e populacional a partir da década de 1990, quando ocorreu a explosão da festividade do Boi-Bumbá, festa folclórica popular, atraindo inúmeros migrantes de outros Estados do Brasil. Outro fator atrativo, em termos educativos, foram as instituições públicas de ensino (Universidade Federal do Amazonas, Universidade do Estado do Amazonas e Instituto Federal do Amazonas). Essas observações empíricas, a partir da vivência, permitiram perceber que houve crescimento da cidade em bairros e, com isso, ocorreu a necessidade de expansão da rede hidráulica, acarretando uma maior exigência no abastecimento de água. Essa pressão fez com que a empresa fornecedora de água de Parintins, Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), aumentasse a retirada hídrica do manancial subterrâneo.

O SAAE é responsável pela própria sustentabilidade financeira, as receitas são provenientes da arrecadação das tarifas pagas pelos clientes para o fornecimento de água potável. Esses recursos são utilizados para as despesas administrativas e operacionais relacionadas ao abastecimento público. Assim, é necessário fazer uso de um instrumento de gerenciamento que possa subsidiar a gestão dos recursos hídricos, financeiros e intangíveis do SAAE-Parintins e o pensar sobre quais estratégias podem nortear a autarquia para uma atuação mais eficiente.

A partir da década de 1980, foram criados mecanismos para serem utilizados nas administrações públicas com maior eficiência. Nos dias atuais, as ferramentas mais comuns utilizadas para promover melhorias na administração pública e privada são: o planejamento estratégico; a metodologia *Balanced Scorecard* – BSC; a análise de SWOT – traduzida para o português como

Matriz FOFA - forças, oportunidades, fraquezas e ameaças; e o ciclo PDCA, traduzindo as iniciais *Plan*, *Do*, *Check* e *Act* em Planejar, Fazer, Verificar e Agir (Kaplan; Norton, 1997).

Essas ferramentas ou instrumentos facilitam o controle e a tomada de decisão com foco nos resultados. Entretanto, a ferramenta BSC se torna mais completa por ser a mais sistêmica ao permitir que gestores e funcionários tenham o acompanhamento do desempenho da organização como um todo, enquanto as demais ferramentas focam em solucionar problemas ou promover melhorias em uma área específica da organização.

Partindo desse pressuposto, fez-se necessário questionar: como a metodologia *Balanced Scorecard* poderia subsidiar a gestão dos recursos hídricos, recursos financeiros e intangíveis do SAAE-Parintins? A partir dessa reflexão, o presente estudo teve como objetivo principal propor um modelo conceitual de mapa estratégico com base no *Balanced Scorecard* como instrumento de gestão à autarquia que presta serviços de abastecimento de água na cidade de Parintins. Para tanto, foi necessário descrever a contribuição da metodologia do BSC na gestão do abastecimento de água e apresentar a base legal dos recursos hídricos e do abastecimento urbano, analisar as informações sobre a gestão administrativa do SAAE na cidade de Parintins para implementação do sistema estratégico BSC (dados utilizados do Site, e elaborar uma proposta conceitual de mapa estratégico para a empresa responsável pelo abastecimento de água em Parintins a partir do instrumento BSC com um conjunto de medidas de metas, objetivos, indicadores e planos.

Caracterização da área de estudo

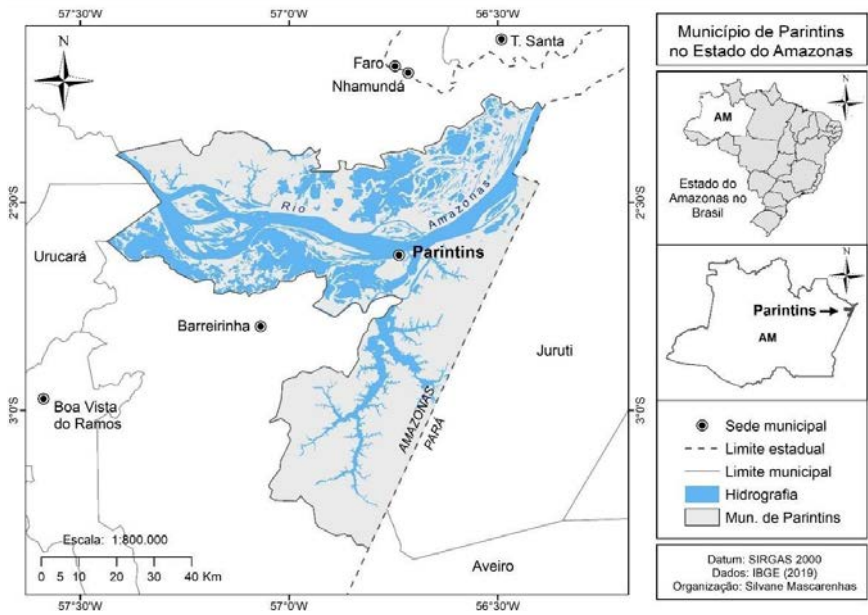
O município de Parintins, Figura 1, localizado a 369 km da Manaus/AM, possuía no período da pesquisa possuía aproximadamente 116.439 (cento e dezesseis mil, quatrocentos e trinta e nove) habitantes, dados estimados (IBGE, 2020). No censo atual (2022) houve decréscimo populacional, e Parintins passou a 96.372 (noventa e seis mil e trezentos e setenta e dois) habitantes, dados estimados (Brasil, 2022). Porém, mesmo assim, há pressão sobre o consumo de água na cidade.

Para o abastecimento de água na zona urbana e rural, o município conta com o Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Parintins – SAAE, criado pelo

decreto Lei Municipal nº 04 de 18 de junho de 1966. O SAAE efetua a captação do manancial subterrâneo Sistema Aquífero Grande Amazônia.

É responsabilidade do SAAE o abastecimento de água potável dos Distritos do Caburi, Mocambo, Gleba Vila Amazônia, e algumas das comunidades de área rural localizadas em terra firme, pertencentes ao município. Nas demais comunidades rurais, várzea e terra firme, onde o serviço do SAAE Parintins ainda não atua, o abastecimento comunitário é executado manualmente, ou por meio de bombas particulares (dos próprios comunitários) e a captação de água é realizada direto do leito dos rios que banham suas comunidades e/ou rios adjacentes.

Figura 1 - Localização do município de Parintins, Amazonas



Fonte: Organizado por Silvane Mascarenhas (2022)

A rede de água urbana é abastecida por 28 poços tubulares. Estes estão distribuídos em quatro estações de bombeamentos distintas, bombeamento I, bairro do Palmares; bombeamento II, bairro Vitória Régia; bombeamento III, bairro Itaúna; bombeamento IV, bairro Djard Vieira. As estações se localizam de forma estratégica na cidade, as quais permitem que todos os bairros considerados de acordo com o Plano Diretor do Município -instituído pela

Lei Municipal nº 375/2006, como “espaço urbano” - sejam beneficiados pelo abastecimento de água.

Material e método

A pesquisa foi desenvolvida a partir de levantamento bibliográfico e documentos que deram embasamento científico para a construção do mapa e do manual técnico como resultado. A pesquisa bibliográfica foi importante para compreensão do conceito da metodologia do *Balanced Scorecard*; os documentos permitiram conhecer o histórico de criação e administrativo do Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Parintins - SAAE Parintins. Unindo os fundamentos teóricos do BSC e as informações sobre a gestão do SAAE, possibilitou pensar e planejar o mapa estratégico e como resultado o manual.

A pesquisa teve abordagem quantitativa/qualitativa. Foi realizada por meio de técnicas e análises de dados descritivos de tabelas com dados numéricos e percentuais, a partir de informações de receitas e despesas disponibilizadas no Portal da Transparência do SAAE Parintins. Os processos administrativos foram analisados por meio do diagnóstico organizacional, com foco nas atividades desenvolvidas no SAAE. Para os valores financeiros, a pesquisa documental virtual referenciou ao período de 2012 a 2020, coletada por meio das publicações do site do SAAE Parintins. Além da pesquisa documental disponibilizadas no site do Tribunal de Contas do Estado do Amazonas.

Os resultados do estudo serviram como base para o uso do Mapa Conceitual Estratégico BSC SAAE Parintins, para as autarquias que prestam serviços para o abastecimento de água nas cidades do estado do Amazonas e da Amazônia. O gerenciamento adequado dos recursos administrativos contribui de forma direta para a gestão dos recursos hídricos.

Caminhos para construção do mapa estratégico BSC SAAE Parintins

Para construção do Mapa Estratégico Conceitual SAAE Parintins foram definidos seis passos essenciais e relevantes para o sucesso da implementação do Mapa Estratégico na gestão da autarquia, descritos a seguir:

Passo 1: Estabelecer uma equipe para liderar

A equipe designada para compor a liderança foi formada pelo diretor, vice-diretor, e por um representante de Coordenação do Bombeamento, Coordenação dos Leituristas, Coordenação dos Recursos Humanos, Coordenação de Contabilidade e Financeiro, Coordenação de Faturamento.

A equipe de liderança foi denominada de **Comitê Estratégico**, para facilitar a identificação e a comunicação com os demais funcionários do SAAE.

Após a criação e a aprovação do **Comitê Estratégico** pelo Diretor do SAAE, ocorrerá a primeira reunião com as lideranças, com a finalidade de promover o planejamento do cronograma das atividades e futuras reuniões para construção do mapa estratégico, que deverão reunir todos os documentos pertinentes à gestão do SAAE, definir as atribuições e

responsabilidade de cada representante do Comitê, assumindo cada líder um conjunto de tarefas para cada perspectiva (*scorecard*).

As reuniões serão inicialmente semanais, com oficinas sobre a metodologia BSC e para as análises dos pontos críticos das áreas do SAAE que estejam em desacordo com os objetivos estratégicos estabelecidos. Nesta etapa, sugere-se a contratação de um profissional externo ou uma consultora para direcionar as atividades do Comitê.

Passo 2: Formular a missão, visão e valores do SAAE Parintins

A missão, visão e os valores são essenciais para o pensamento estratégico de toda a organização e são formulados de acordo com as estratégias organizacionais. A missão é a razão de ser da organização e deve ser cumprida todos os dias, ao se desempenhar as atividades e atribuições das áreas de gestão ou administrativa.

A visão é o direcionador de onde o SAAE está e como gostaria de ser reconhecido como organização pública. Os valores são os pilares que sustentam a organização e direcionam o comportamento das pessoas. A organização do SAAE existe para um propósito, e para tanto precisa do engajamento de todos os funcionários. Todas as ações a serem executadas deverão estar embasadas nos valores organizacionais.

Assim, com base nos estudos organizacionais sobre o SAAE, manteve-se a missão e propôs-se a visão e os valores organizacionais. Missão: levar água de qualidade a todo o povo de Parintins e cuidar bem das pessoas (Saae, 2019). Visão: ser reconhecido pela sociedade como provedor de água com qualidade e quantidade para todos (como o SAAE quer ser reconhecido no futuro). Valores: transparência, postura comunicativa, respeito e honestidade (princípios praticados pela empresa).

Passo 3: Comunicar e criar um ambiente colaborativo

Importante comunicar a todos da organização da missão, a visão, os valores. Deve-se construir um clima organizacional favorável e colaborativo, mostrando a responsabilidade de cada colaborador da organização para o sucesso do alcance dos objetivos estratégicos da organização, que depende do envolvimento de cada funcionário. Os veículos de comunicação utilizados poderão ser quadros de avisos, reuniões com as lideranças, e-mails ou grupos virtuais de conversa por setores.

Ao utilizar essas ferramentas, o SAAE passa a adotar uma postura comunicativa para com todos os funcionários. Sugere-se que a comunicação seja bem criativa e ilustrativa. Quem sabe esse seria o momento de criar uma campanha e um mascote para o SAAE? Assim, o Comitê Estratégico envolveria todos para a importância da construção do mapa estratégico.

Passo 4: Elaboração dos objetivos estratégicos para perspectivas Financeiro, Cliente e Sociedade, Processos Internos, Aprendizado e Crescimento

Os objetivos estratégicos para o Mapa Estratégico Conceitual SAAE Parintins foram definidos para as perspectivas Financeiro, Cliente e Sociedade, Processos Internos, e Aprendizado e Crescimento, para que a autarquia cumpra a missão institucional.

Para cada objetivo estratégico foram atribuídos os indicadores, as metas e ações, com base no Plano Plurianual 2020 a 2025 da prefeitura de Parintins, nos relatórios da CPRM (Marmos *et al.*, 2005, 2019), no diagnóstico organizacional, e nas prestações de contas da autarquia no período de 2012 a 2020. Quanto à construção dos indicadores, considerou-se, também, os Objetivos do

Desenvolvimento Sustentável (ODS 6), a meta 6.1 “Até 2030, alcançar acesso universal e equitativo à água para consumo humano, segura e acessível para todos e todas” (ANA, 2019, p. 12).

Para cada perspectiva, os objetivos foram construídos com base nos processos do *Balanced Scorecard*, o qual considera os elementos essenciais dos objetivos estratégicos: o que deve ser alcançado ou o que é crítico e precisa ser melhorado; os indicadores; a meta medida em quantidade ou percentual; e ações, medidas a serem tomadas para que os objetivos sejam alcançados. As definições estão descritas no Quadro 1.

Quadro 1 - Processo do *Balanced Scorecard* para construção do Mapa Estratégico BSC

OBJETIVOS ESTRATÉGICOS	INDICADORES	META	AÇÕES
O que deve ser alcançado e o que é crítico para o sucesso do objetivo proposto	Conjunto de medidas que servirá de base para a gestão da estratégia definida no BSC	O nível de desempenho ou a taxa de melhoria necessários	Programas de ação necessários para se alcançarem os objetivos

Fonte: Kaplan; Norton (2007)

Perspectiva Financeira

Com o propósito de promover a sustentabilidade financeira da autarquia, a proposta dos objetivos estratégicos para perspectivas financeira do Mapa Estratégico SAAE Parintins contempla em aumentar a receita de serviços, aumentar a adimplência, e reduzir as despesas com consumo de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água. O quadro 2 detalha como esses Objetivos serão alcançados, por meio dos indicadores, metas e ações.

Quadro 2 - Processo para Perspectiva Financeira SAAE Parintins

OBJETIVOS ESTRATÉGICOS	INDICADORES	METAS	AÇÕES
Aumentar a receita de serviço	Clientes cadastrados x contas pagas	80%	Atualizar cadastro dos clientes da área urbana, por bairro; Controle das contas de águas pagas
Aumentar a adimplência	Ligações de água x contas pagas / 100	70%	Criar e implantar Programa para controlar a inadimplência; Desenvolver estratégias para reduzir a inadimplência
Reduzir as despesas com consumo de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água	Índice de despesas de Consumo de Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento de Água	Reduzir 30% das despesas por ano	Criar um programa de redução de perdas de água no abastecimento público; Hidrometrar a área urbana, como medida de controle de consumo de água; Estabelecer plano de manutenção das estações de bombeamento

Fonte: Kaplan; Norton (2007). Elaborado por Silvana Mascarenhas a partir dos dados do SAAE Parintins (2022)

Cliente e Sociedade

Para melhorar a sustentabilidade financeira, o SAAE precisa conhecer seus clientes, mantendo a boa comunicação e o relacionamento próximo com os cidadãos. A proposta dos objetivos estratégicos para perspectivas Clientes e Sociedade do Mapa Estratégico SAAE Parintins são de fortalecer a comunicação e o relacionamento com os cidadãos, e melhorar o nível de satisfação dos clientes e garantir o acesso do abastecimento de água potável em quantidade e qualidade para todas residências urbanas. O Quadro 3 contempla como esses objetivos serão alcançados, por meio dos indicadores, metas e ações.

Quadro 3 - Perspectiva Cliente e Sociedade SAAE Parintins

OBJETIVOS ESTRATÉGICOS	INDICADORES	META	AÇÕES
Fortalecer a comunicação e o relacionamento com os cidadãos	Número de acesso aos canais de comunicação	80% dos clientes cadastrados	Criar um plano de melhoria para medir o acesso dos clientes ao site e redes sociais
Melhorar o nível de satisfação dos clientes	Índice de satisfação de cliente	Atingir 90% de satisfação	Aplicar uma pesquisa de satisfação ao cliente; Atender as melhorias aplicadas no relatório da pesquisa
Garantir o acesso do abastecimento de água potável em quantidade e qualidade para todas residências urbanas	População urbana atendida com abastecimento de água / População residente com abastecimento de água X 100	100% da população atendida	Determinar prazo se anual ou bimestral; Utilizar o dado da população urbana segundo o IBGE

Fonte: Kaplan; Norton (2007). Elaborado por Silvana Mascarenhas a partir dos dados do SAAE Parintins (2022)

Processos Internos

Considerando a causa e efeito do Mapa Estratégico Conceitual SAAE Parintins, para alcançar a sustentabilidade financeira e melhorar o relacionamento com a sociedade, a autarquia precisa ter funcionários motivados e competentes. A proposta dos objetivos para a perspectiva Processos Internos, ilustradas no Quadro 4, são de garantir a comunicação interna entre os funcionários, medir a produtividade dos funcionários, e ser mais eficiente nas prestações de contas ao TCE/AM.

Quadro 4 - Perspectiva Processos Internos SAAE Parintins

OBJETIVOS ESTRATÉGICOS	INDICADORES	META	AÇÕES
Garantir a comunicação interna entre os funcionários	Número de ações planejadas/ Número de ações realizadas x 100	90%	Implantar a política interna de comunicação
Medir a produtividade dos funcionários	Quantidade de ligações ativas de água/quantidade equivalentes dos funcionários	95%	Realizar o cálculo utilizando a média aritmética dos valores do ano de atual e do ano anterior
Ser mais eficiente nas prestações de contas ao TCE/AM	Número de prestação de contas aprovadas pelo TCE	Todas as contas submetidas ao TCE aprovadas	Capacitação técnica e atualização das legislações para os coordenadores administrativos

Fonte: Kaplan; Norton (2007). Elaborado por Silvana Mascarenhas a partir dos dados do SAAE Parintins (2022)

Perspectiva Aprendizado e Crescimento

A perspectiva Aprendizado e crescimento é a base do Mapa Estratégico Conceitual Parintins. Para que os objetivos estratégicos das demais perspectivas sejam alcançados, as condições do ambiente de trabalho (clima organizacional) e infraestrutura devem ser adequados. Para tanto, os objetivos estratégicos propostos são: promover o aperfeiçoamento dos funcionários com foco nos resultados; aplicar a pesquisa de clima organizacional; e modernizar a infraestrutura física e tecnológica, ilustradas no Quadro 5.

Quadro 5 - Perspectiva Aprendizado e Crescimento SAAE Parintins

OBJETIVOS ESTRATÉGICOS	INDICADORES	META	AÇÕES
Promover o aperfeiçoamento dos funcionários com foco nos resultados	Quantidade de treinamentos x Número de funcionários treinados	2 cursos por funcionário	Promover cursos de capacitação técnicas e de atualização de competências
Aplicar a pesquisa de clima organizacional	Número de funcionários que responderam a pesquisa / número total dos funcionários x 100	100%	Elaborar e aplicar a pesquisa do clima organizacional para conhecer a percepção dos funcionários
Modernizar a infraestrutura física e tecnológica	Número de mudanças realizadas	1 programa de reforma por ano	Implantação de programas e reformas necessária de previsão orçamentária para investimento

Fonte: Kaplan; Norton (2007). Elaborado por Silvana Mascarenhas a partir dos dados do SAAE Parintins (2022)

Passo 5: Estabelecimento de fatores críticos e processos gerenciais envolvidos na elaboração do *Balanced Scorecard* SAAE Parintins

Os fatores críticos estão relacionados com os desafios e problemas da gestão do SAAE identificados no diagnóstico financeiro e organizacional da autarquia. São levantados os fatores que possivelmente estarão em desacordo com objetivos estratégicos (serão discutidos e alinhados com o Comitê Estratégico). Esta fase é relevante para excluir ou acrescentar os novos objetivos estratégicos.

Passo 6: Elaboração do Plano de Ação, para consolidar os objetivos, metas, responsabilidades, prazos e custos das ações a serem realizadas pelo Comitê

Os planos de ações serão construídos para os objetivos estratégicos do Mapa Estratégico Conceitual BSC SAAE Parintins, alocados nas perspectivas Financeiro, Cliente, Processos Internos, e Aprendizado e Crescimento.

Recomenda-se a utilização do método 5W2H. A denominação deve-se ao uso de sete palavras como perguntas na língua estrangeira (inglês): *What?* (O quê, qual?), *Where?* (Onde?), *Who?* (Quem?), *Why?* (Por quê, para quê?), *When?* (Quando?), *How?* (Como?), e *How Much?* (Quanto custa?). Esse método facilita o entendimento e o acompanhamento da execução das estratégias planejadas. Para Costa (2013), a ferramenta permite que os processos e informações mais complexos sejam gerenciados de forma simples.

Após a elaboração dos seis passos pelo Comitê Estratégico e suas respectivas equipes, a próxima etapa é desenhar o modelo do Mapa Estratégico BSC SAAE Parintins. O Mapa Estratégico é um documento que traduz as estratégias e o propósito da organização, por isso a quantidade dos objetivos estratégicos é diferenciada de uma empresa para outra.

A Figura 2 ilustra a proposta do Mapa Estratégico Conceitual criado para o SAAE. Os valores da organização e os objetivos estratégicos estão alinhados com a missão e a visão da autarquia. Os objetivos destacados em cor azul referem-se à perspectiva Financeiro, os de vermelho, perspectiva Cliente e Sociedade, os objetivos de verde relacionam ao Processo Interno, e os objetivos estratégicos, de cor laranja, relacionam-se à perspectiva Aprendizado e Crescimento.

Figura 2 - Proposta do Mapa Estratégico Conceitual BSC SAAE Parintins, Amazonas



Fonte: Kaplan; Norton (2004). Adaptado por Silvana Mascarenhas (2022)

O Mapa Estratégico Conceitual SAAE Parintins descreve e possibilita a implantação das estratégias da autarquia para desenvolver a sustentabilidade financeira e consequentemente cumprir a missão com a sociedade de “levar água de qualidade a todo o povo de Parintins e cuidar bem das pessoas” (SAAE, 2019).

O modelo visual do Mapa permite um olhar sistêmico ao descrever a missão e visão do SAAE, que será alcançada por meio dos objetivos estratégicos, tendo como base sustentável os valores da autarquia.

Definidos nesta proposta, após análise das informações organizacionais, estão 12 objetivos estratégicos, descritos na Figura 2, sendo 03 objetivos para perspectiva Financeiro, 03 objetivos para perspectiva Cliente e Sociedade, 03 objetivos para perspectiva Processos Internos e 03 objetivos para perspectiva Aprendizagem e Crescimento.

Os objetivos estratégicos do SAAE serão executados pelas equipes de trabalho, medidas e acompanhadas pelos indicadores de desempenhos.

O modelo do Mapa Estratégico para proporcionar um resultado satisfatório necessita que as ações propostas sejam realizadas de forma equilibrada, pois existe uma relação de causa e efeito com os objetivos

propostos. Observa-se que as setas brancas ilustram o inter-relacionamento entre si. Exemplo do impacto da causa e efeito, correlacionadas entre as variáveis apresentadas no Mapa, o Comitê Estratégico do SAAE poderá medir, se o SAAE promover o aperfeiçoamento dos funcionários com foco no resultado, mais eficiência na prestação de contas ao TCE, pois estaria atuando de acordo com todas as legislações vigentes, normas, e procedimentos para organizações que prestam serviços na administração pública, melhorando o nível de satisfação do cliente. Consequentemente, clientes satisfeitos pagariam as tarifas de serviços, aumentando a receita do SAAE e reduzindo o índice de inadimplência.

Para alcançar o resultado satisfatório na gestão por meio do Mapa Estratégico, é necessário o comprometimento de toda a equipe do SAAE em avaliar quais objetivos estratégicos serão executados a curto e a longo prazo. Não existe uma resposta pronta, as incertezas do cenário político-econômico do país e do município podem afetar diretamente os objetivos estratégicos do SAAE Parintins.

Os objetivos estratégicos serão medidos pelas realizações das metas e pelos indicadores de desempenho. Portanto, por meio das reuniões do Comitê, a análise do caminho crítico será discutida e direcionada para novos objetivos, se for o caso. O melhor entendimento de como fazer o Mapa Estratégico está designado no Manual Técnico, que reúne as etapas necessárias para compreender o desenvolvimento dessa metodologia de gestão para a Autarquia.

Considerações finais

O Mapa Estratégico é um direcionador para as mudanças nos processos de gestão e operação que o SAAE Parintins deseja realizar para ser bem-sucedido nas suas finanças e na entrega de água em quantidade e qualidade para os cidadãos que vivem na Ilha Encantada da Amazônia. Utilizou-se o *Balanced Scorecard* como uma ferramenta de gestão que auxiliasse na eficiência do gerenciamento da administração do SAAE, respondendo ao questionamento de como a metodologia poderia subsidiar a gestão dos recursos hídricos, recursos financeiros e intangíveis do SAAE Parintins.

Por meio do Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, propôs o modelo conceitual de Mapa Estratégico com base no *Balanced Scorecard* como instrumento de gestão à autarquia que presta

serviços de abastecimento de água na cidade de Parintins, apresentando nele 12 (doze) objetivos estratégicos, distribuídos nas perspectivas Financeiro, Cliente e Sociedade, Processos Internos, e Aprendizado e Crescimento, com os respectivos indicadores, metas, e ações, com base na Missão, Visão e Valores Organizacionais. Para cada perspectiva foram definidos 3 (três) objetivos estratégicos que se pretendem alcançar, de acordo com a missão e o diagnóstico organizacional realizado. Para cada objetivo, identificou um indicador de desempenho que melhor comunica a intenção do objetivo, e estipulou-se metas realizáveis e as ações necessárias para alcançá-las.

Em cada perspectiva (Financeiro, Cliente e Sociedade, Processos Internos, e Aprendizado e Crescimento) se faz necessário identificar as relações críticas entre os indicadores dela, bem como entre ela e as outras perspectivas do Mapa, compreendendo que cada tomada decisão influencia a outra (causa e efeito).

Em termos de considerações acerca do período de 2012 a 2020, evidenciou-se a falta de observância dos profissionais do SAAE quanto às legislações pertinentes ao processo de prestações de contas, gerenciamento adequado dos recursos públicos, e a observância aos princípios da administração pública que impactaram diretamente na qualidade da prestação de serviço ao abastecimento de água potável à cidade de Parintins.

Portanto, o Mapa Estratégico BSC SAAE Parintins é uma ferramenta que possibilita a prestadora de fornecimento de água traçar estratégias para o seu sucesso financeiro, obter a satisfação dos clientes na oferta dos serviços oferecidos, além de obter água em quantidade e qualidade para todos, em um ambiente motivador para seus funcionários.

Recomenda-se a aplicação das instruções orientativos e descritas em passo a passo, constantes no Manual Técnico SAAE Parintins, como projeto-piloto, para no futuro aplicá-las em outras empresas que prestam serviços de abastecimento de água no Amazonas, com intuito de validar o impacto do uso da metodologia na gestão dos recursos hídricos.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. *ODS 6 no Brasil: visão da ANA sobre os indicadores*. Brasília: ANA, 2019. 94 p. ISBN: 978-85-8210-061.
- BRASIL. Instituto Brasileiro de geografia e estatística (IBGE). *Estados e cidades*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/am/parintins.html>. Acesso em: 25 jul. 2024.
- COSTA, T. B. *Oportunidades da Aplicação de Ferramentas de Gestão na Avaliação de Políticas Públicas de Ferramentas de Gestão: Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)* – Universidade Federal de Juiz de Fora. Faculdade de Engenharia, 2013. Disponível: https://www.ufjf.br/engenhariadeproducao/files/2014/09/2012_3_Tarcisio.pdf. Acesso em: 31 maio 2021.
- KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. *A estratégia em ação: balanced scorecard*. Rio de Janeiro: Campus, 1997.
- KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. *Mapas estratégicos: convertendo ativos intangíveis em resultados tangíveis*. 3. reimpr. Rio de Janeiro: Campus, 2004.
- KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. *Alinhamento utilizando o balanced scorecard para criar energias corporativas*. Rio de Janeiro: Campus, 2007.
- MARMOS, J. L.; AGUIAR, C. J. B. *Avaliação da qualidade das águas subterrâneas da cidade de Parintins (AM)*. Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Parintins, Amazonas, 2005.
- MARMOS, J. L.; CALVO, B. D. R. *Avaliação técnica do sistema público de abastecimento de água da cidade de Parintins (AM)*. Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Parintins, Amazonas, 2019.
- PARINTINS (Município). *Lei Municipal nº 4, de 18 de junho de 1966*. Dispõe sobre a criação do Serviço Autônomo de Água e Esgoto – SAAE em Parintins e dá outras providências. Parintins, 18 jun. 1966. Publicada no Diário Oficial do Município.
- PARINTINS (Município). *Lei Municipal nº 375, de 6 de outubro de 2006*. Regulamenta o Plano Diretor do município de Parintins e estabelece diretrizes gerais da política urbana e rural do Município e dá outras providências.
- SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO – SAAE Parintins. *Relatório Anual SAAE Parintins 2019: Mapa Estratégico Conceitual e estratégias institucionais*. Parintins, 2019. Documento institucional.

A educação ambiental no contexto dos recursos hídricos: uma contribuição para a gestão das águas em comunidade ribeirinha no Amazonas/ Brasil

Romilda Lima Pontes

Iêda Hortêncio Batista

João D'Anuzio Menezes de Azevedo Filho

Introdução

No Amazonas, as comunidades ribeirinhas estão organizadas às margens dos grandes, médios e pequenos rios, em vilarejos onde prevalecem atividades familiares com estreita relação com os recursos hídricos. Os povos que compõem essas comunidades, chamados ribeirinhos; vivem da pesca, caça, agricultura familiar, criações de animais, pequenos comércios e prestações de serviços. Essas atividades estão ligadas diretamente com os cursos d'águas, que servem de caminho para seus deslocamentos, constituindo-se em verdadeiras estradas fluviais. Com características semelhantes às supracitadas, destaca-se a comunidade do Sagrado Coração de Jesus do rio Aduacá, localizada no município de Nhamundá, Amazonas, recorte desta pesquisa, a fim de compreender a gestão dos recursos hídricos em comunidades ribeirinhas. Nessa comunidade, apesar da aparente abundância desse recurso, há fatores que tem sido determinante para o comprometimento da qualidade da água. Pela observação ao longo dos anos, como moradora da área e usuária desse recurso, destacam-se especialmente a produção de resíduos sólidos, fruto de um crescente modo de viver mais urbanizado, a retirada de matas ciliares, o aumento dos pastos, com derrubada de áreas florestadas e a presença, ainda frequente de fossas negras e de flutuantes.

A necessidade de preservar e conservar as áreas lacustres levou a pensar na inserção da Educação Ambiental no contexto dos recursos hídricos, com a construção de uma cartilha como uma contribuição para a gestão das águas em comunidade ribeirinha do Amazonas/Brasil. Cartilha relacionada à Educação Ambiental no contexto dos recursos hídricos, esse material didático torna-se

escasso ou inexistente nas comunidades ribeirinhas. É importante proporcionar esses materiais pois podem contribuir significativamente para a gestão, buscando a sensibilidade dos ribeirinhos para a preservação e conservação dos recursos naturais que auxiliam na manutenção dos corpos d'águas.

Nesse contexto, é necessário que sejam disponibilizados materiais com foco na Educação Ambiental, em especial com temas relacionados aos cuidados com os recursos hídricos nas comunidades, justificando, portanto, a importância de se produzir um material consistente sobre os recursos hídricos, que possam embasar ações educativas. Por isso, os objetivos da pesquisa são: elaborar cartilha para a educação ambiental no contexto dos recursos hídricos, como contribuição para gestão desses recursos na comunidade ribeirinha de Nhamundá, Amazonas. Descrevendo o contexto histórico e ambiental da comunidade com ênfase nas relações com a água; identificando as problemáticas e potencialidade da comunidade em relação aos recursos hídricos e finalizando com a construção de material didático para a educação hídrica na comunidade com informações do cotidiano existente na comunidade do município de Nhamundá, Amazonas.

O produto dessa pesquisa visa contribuir com o cuidado dos recursos hídricos, com a gestão ambiental e com o bom funcionamento dos corpos d'águas das comunidades do rio Aduacá. Apresenta o conhecimento da situação atual da referida comunidade, levando alternativas para a melhoria dos elementos naturais alterados, pois, a natureza depende deles para oferecer água de boa qualidade e manter sua quantidade.

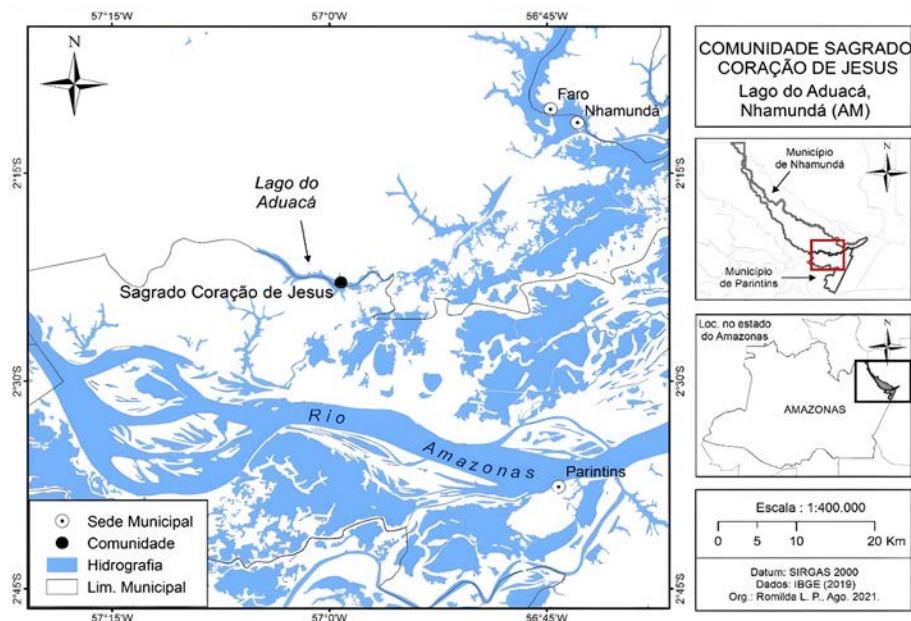
Procedimentos metodológicos

Nesta seção é apresentado o caminho metodológico da pesquisa. Primeiramente descreve-se a área de estudo, em seguida, os procedimentos para o alcance do primeiro e segundo objetivo da pesquisa com a descrição do contexto histórico e ambiental da comunidade, seus problemas e potencialidades. Descreve-se ainda o processo de construção do produto, que é a Cartilha.

A área de estudo foi a comunidade Sagrado Coração de Jesus do Lago do Aduacá, localizada na região do Baixo Amazonas, pertencente ao município de Nhamundá. A comunidade situa-se na margem esquerda do rio Aduacá, na da

microbacia do rio Aduacá, distante de sua sede aproximadamente quarenta e cinco quilômetros por via fluvial. Trata-se de uma ria fluvial, como explicado por Soares (1991), por isso, muitas vezes, associado à um lago, devido seu alargamento no baixo curso. A localização da comunidade é excelente para o desenvolvimento econômico local e deslocamento dos seus moradores (figura 1).

Figura 1 - Mapa de localização da Comunidade Sagrado Coração de Jesus/Aduacá



Fonte: IBGE (2019)

A comunidade Sagrado Coração de Jesus, faz parte do polo V correspondente a região da microbacia do Aduacá, composto por sete comunidades, e foi escolhida, por ser a comunidade de nascimento e criação da pesquisadora. Para realizar a pesquisa usou-se da Fenomenologia de Sartre que segundo Alves (2011) ao fazer questionamento, onde sua pergunta toca toda a realidade humana, e é sobre esta que recai sua investigação, que coincide com a investigação da consciência, como aquela condição de possibilidade de toda a construção existencial e do próprio projetar humano, enquanto ser para-si que busca determinar-se. Sua ontologia dividir-se em três momentos: a investigação do ser Em-si, do Para-si e posteriormente, como consequência deste, a investigação do para-os-outros. Partindo desse pressuposto, a

pesquisadora busca em suas lembranças o absorvido e entendido da sua vivência e expõem ao outro seu entendimento da relação com ambiente no percurso dos seus trinta anos, levando a entender a realidade dela. Para Alves (2011), nesse sentido Sartre afirma que o Eu é um existente concreto e se dá por meio de uma intuição, só aparecendo pelo ato reflexivo, ficando assim, ao alcance da redução fenomenológica como unidade de seus estados e ações e sua espontaneidade não pode ser confundida com a da consciência. E assim, a pesquisadora relata que o lugar é de beleza natural, com uma rica biodiversidade de fauna e flora e uma microbacia que auxilia no pescado para as sete comunidades ribeirinhas, e serve de caminhos fluviais aos seus moradores.

A comunidade do Sagrado é um pequeno vilarejo com 84 famílias, correspondendo a 372 pessoas. Suas atividades econômicas são caça, pesca, agricultura familiar, prestações de serviços, comércios, auxílio social e autônomo. Tem como vizinhanças as Comunidades Nossa Senhora das Graças pertencente ao município de Parintins, ao sul, Santa Rita de Cássia a oeste, e São João Batista a leste, ambas no município de Nhamundá. Sagrado Coração de Jesus, lugar onde a gestão dos recursos hídricos deve contar com a participação dos consumidores da água, possibilitando assim a união de todos em prol desse bem comum que são os recursos hídricos, em abundância e de boa qualidade para nossa e outras gerações.

Descrição do contexto histórico e ambiental da comunidade: seus problemas e potencialidades

Foi realizada a descrição do contexto histórico e ambiental da comunidade com ênfase as relações com a água. Essa descrição foi realizada por meio de observações diretas dos aspectos históricos e ambientais e registros fotográficos da comunidade Sagrado Coração de Jesus. Foi realizada a identificação dos problemas e potencialidades da comunidade em relação aos recursos hídricos, com observações sobre a realidade local, identificando os problemas ambientais relacionados aos recursos hídricos e, também, as suas potencialidades, por meio de registros fotográficos, observações diretas e descrição dos recursos naturais, hídricos e culturais.

Para a observação direta foi utilizada uma ficha de observação contendo os seguintes itens:

- a) Identificação do local/ GPS;
- b) Presença de poços artesiano na área;
- c) Identificação dos poços artesanais/ elevação do relevo/ coordenadas geográficas/ data de construção/ profundidade/ frequência de uso;
- d) Presença de resíduos na área (orgânicos, não orgânicos, outros...) / no solo/ na água/ nas margens;
- e) Presença de vegetação ciliar;
- f) Tipo de transporte: Fluvial/ terrestre (quais);
- g) Tipos de Moradia/ madeira / barro/alvenaria/ mista;
- h) Eletrodomésticos (quais);
- i) Antenas para captar sinal de Internet;
- j) Criação de animais;
- k) Plantações (quais);
- l) Pastagens.

A partir da experiência pessoal da pesquisadora, que nasceu e sempre morou na comunidade, foi possível descrever a realidade local, com reflexões e registros sobre:

- (a) Quais as principais mudanças observadas nos últimos anos na comunidade;
- b) Características da água do lago antes e hoje;
- c) Peixes no lago/ antes e hoje;
- d) Vegetação/ antes e hoje;
- e) Outros.

Nos trabalhos de campo foram realizados registros fotográficos da área do rio, das margens, de possíveis resíduos, dos poços, das residências e das atividades econômicas. Cada registro será devidamente identificado e datado para compor a dissertação e a cartilha, com as devidas orientações.

Análises dos dados

A análise dos dados levou as respostas dos questionamentos a partir dos problemas observados antes da pesquisa, levou-se em considerações os seus objetivos, valorizando aos dados qualitativos e quantitativos para um resultado eficaz. Os dados quantitativos, que foram coletados durante o trabalho de campo, foram processados na planilha do Excel®. Realizou-se a organização, tratamento e tabulação em formato de tabelas para geração de gráficos e mapas. Quanto aos dados qualitativos foram feitas reflexões numa perspectiva dialética, buscando representar a realidade histórica e ambiental da comunidade, assim como, suas problemáticas e potencialidades.

Produção da Cartilha “Cuidando do rio”

A Cartilha apresenta informações que foram direcionadas especificamente para os moradores da comunidade do Sagrado Coração de Jesus. Para a abordagem do conteúdo, respeitou as particularidades local para que os comunitários se sentirem inseridos na construção das informações retratadas na Cartilha. O conhecimento da vivência propiciado pelos comunitários, foram direcionados para a construção da Cartilha, que serve para a gestão das águas. A pesquisa teve como produto um material didático para a Educação Ambiental, com foco nos recursos hídricos no contexto da comunidade, em formato de cartilha. Esse material didático, possui a temática da preservação e conservação do recurso hídrico no contexto da Educação Ambiental, possibilita apresentar a realidade e a maneira adequada dos ribeirinhos preservarem e conservarem os recursos naturais para a melhoria da qualidade dos recursos hídricos, contribuindo com a qualidade ambiental e cultural dessa comunidade. Essas interferências, estimulantes para a responsabilidades e sensibilidades dos moradores (pois não adianta ter apenas conhecimento do problema) precisa ser sensível a situação e se unir em prol dela. Se cada um fizer sua parte construiremos um mundo mais sustentável a partir da sensibilidade individual e coletiva nas comunidades tradicionais.

O produto é uma cartilha destinada aos moradores das comunidades ribeirinhas da Amazônia, porque são nessas comunidades que se deve fazer a gestão dos recursos hídricos, pois, é o local das problemáticas ambientais.

Orienta como fazer Educação Ambiental no contexto dos recursos hídricos. Utiliza-se das informações sobre a comunidade em estudo, leva-se em consideração os recursos naturais e sua importância para o bom funcionamento dos corpos d'águas, encaminha-se para a preservação e conservação dos lagos e dos elementos que auxiliem para a manutenção da quantidade e boa qualidade da água, como preservação da floresta, das nascentes, do solo e da biodiversidade. Busca-se uma gestão participativa conhecendo o lugar e seu papel como usuário da água e os múltiplos usos.

Adequação ao público-alvo

A cartilha destina-se aos adultos das comunidades ribeirinhas do Amazonas. Isso porque, são eles que lidam com o uso d'água no seu dia a dia e vivem uma relação intrínseca com esse recurso. As atividades econômicas realizadas por eles, necessitam da água para seu bom êxito, porque ela é essencial na lavoura, pecuária, abastecimento doméstico, e serve como estrada fluvial.

Na lavoura da mandioca por exemplo, é necessário a água em abundância, pois a chuva auxilia no crescimento e sem ela as plantações de mandioca não se desenvolveriam, porque o amazonense dificilmente possui o hábito de irrigar suas plantações, pois, as precipitações pluviais são constantes na região Amazônica. Para a produção dos derivados da mandioca como beiju, farinha, polvilho, entres outros, ocorre a necessidade de colocar a mandioca de molho na água para que possa diminuir as suas propriedades químicas, lavar a mandioca, assim como a massa para fazer o beiju e para fazer o polvilho. E sem esse recurso, os produtos ficariam impossibilitados de serem feitos. A pecuária precisa das chuvas para a manutenção do campo, e torna-se necessário a água para a dessedentação dos bovinos, bubalinos, suínos, caprinos e ovinos. Assim como, dos animais domésticos. As atividades domésticas, como o preparo de refeições, lavagem de roupas e louças, tomar banho, limpar a casa, precisam do recurso principal que é a água. O rio Aduacá torna-se caminho fluvial para as populações ribeirinhas, dada sua disposição no ambiente, situado na planície, onde apresentam condições adequadas para a navegação. Então, nas comunidades os ribeirinhos tornam-se os maiores beneficiados com os corpos d'águas. Na ausência deles, os moradores não poderiam produzir e nem sobreviver, assim como quaisquer seres vivos.

Considerando o contato dos ribeirinhos com o ambiente onde a água é bastante presente, pode-se afirmar que há muita experiência quanto a diversidade de uso. Tornar compreensível para o ribeirinho que a água é um recurso e que existe a possibilidade de geri-la, é desafiador. Por isso, definiu-se o público adulto como alvo para melhor compreender a água como recurso hídrico.

Produto

A cartilha: Cuidando do Rio

A elaboração da cartilha, com o tema central relacionada com preservação e conservação dos recursos hídricos no contexto da Educação Ambiental. Surgiu da necessidade de trabalhar essa temática nas comunidades ribeirinhas do Amazonas, devido à ausência de materiais informativos, impressos ou digitais específicos para esse público. Dessa maneira, a ideia básica para a elaboração da cartilha envolveu a linguagem verbal e não-verbal, onde foi enfatizado uma parte textual e uma outra com fotografias, seguindo as seguintes características:

- a) Formato digital e impresso;
- b) Tamanho 21 X 28 cm;
- c) Fotos e texto;
- d) Com 30 páginas;
- e) Orientado à paisagem;
- f) Linguagem de fácil compreensão para o público adulto.

O formato digital para os que possuem acesso à internet, e o material impresso será utilizado pela facilidade de acesso nas comunidades ribeirinhas que, na maioria das vezes, não possui acesso à internet. Bandeira (2009) destaca que mesmo com o avanço das tecnologias de informação e comunicação (TIC) a maioria do material didático continua sendo produzido em mídia impressa. Por quê? Que tal refletir sobre algumas das possíveis hipóteses: na educação, o material impresso, tradicionalmente conhecido, sempre foi aceito por alunos, professores e especialistas; de fácil manuseio, o material impresso pode ser utilizado em todas etapas e modalidade da educação, o aluno e o professor podem consultá-lo fora da sala de aula; o material impresso não requer

equipamento ou recurso tecnológico para sua utilização. Desta maneira, a pesquisa trouxe como produto uma cartilha nos formatos digitais e impressos, pela facilidade de acesso em qualquer lugar. Quanto a estruturação da Cartilha será apresentada em doze capítulos (quadro 1).

Quadro 1 - Apresentação da estrutura interna da Cartilha.

CAPÍTULOS	DESCRIÇÃO
1	Agradecimento
2	Apresentação do Dukinha e do Rio aduacá
3	Um pouco do histórico da comunidade
4	A comunidade na atualidade
5	Conceito de recursos hídricos e água
6	Leis das águas
7	O cuidado com os elementos naturais para a manutenção dos recursos hídricos
8	Os principais problemas relacionados aos recursos hídricos na comunidade e possíveis soluções
9	Gestão participativa: fazendo gestão hídrica nas comunidades ribeirinhas/Desafios
10	Reflexões e Aprendizados
11	Agradecimentos
12	Referências

Fonte: Elaborado por R. Pontes

Histórico da comunidade Sagrado Coração de Jesus com ênfase nas relações com a água

O modo de vida dos ribeirinhos há trinta anos

No início da formação da comunidade, e continua até hoje, tinha-se o hábito de comer peixe com farinha e dormir na rede; hábitos, oriundos dos primeiros habitantes indígenas desse município. Segunda Lira e Chaves (2016) na base dos conhecimentos das comunidades tradicionais, predominam os saberes herdados das populações indígenas que habitam a região, desde momentos que antecedem ao processo de colonização. Isso torna-se possível quando observa o modo de vida dos ribeirinhos tempos atrás.

Há 30 anos, viajar para as cidades era coisa rara. Então tinham que produzir o máximo de alimentos necessários para a própria subsistência da família. Plantava-se café, e fazia todo seu processo até chegar ao bule. Feijão colhia-se no terreiro. O óleo de cozinha se complementava com banha de porco. Os derivados da mandioca supriam boa parte da dieta alimentar do povo ribeirinho desta comunidade (beiju, goma de tapioca, farinha de tapioca - que substituíam o pão - a farinha de mandioca era um dos principais alimentos).

Lira e Chaves (2016, p. 74) afirmam que “mandioca é o componente básico do sistema de produção agrícola na Amazônia, quer seja em regiões de terra firme, quer em regiões de várzea, devido a sua dupla finalidade: subsistência e comercialização”. Esse importante produto juntamente com a extração de frutas, raízes, caça e pesca, eram e continua sendo as principais fontes de alimentos. Não esquecendo das criações domésticas, como porco, pato, carneiro, bode, galinha caipira que, em período de escassez, serviam de alimento. Exemplo disso eram os dias de chuva, que impedia a caça ou pesca, então o almoço, geralmente, era galinha caipira com caldo engrossado com farinha.

Resíduos sólidos existiam, mas não em grande quantidade. Recorda-se que o açúcar era embalado em saco de pano e depois pesado em quilo e entregue ao consumidor; o sabão em barra transportado fora de caixa e entregue apenas com um pedaço de papel; alimento enlatado era difícil de se encontrar.

Muitas vezes, essas mercadorias chegavam até as residências através de atravessadores, conhecidos regionalmente como “regatão”. Um dos mais conhecido era o senhor Simão Cidade, que em sua canoa com a proa para atrás e popa para frente, seu enorme chapéu na cabeça e, como destaque, seu grande remo que, ao remar, fazia um barulho que se ouvia a distância, trazendo mercadoria para ser trocada por dinheiro ou produtos regionais, colhidos ou produzidos pelas famílias. Sobre os regatões da Amazônia ler Goulart (1968) e Henrique e Moraes (2014).

Existiam poucos comerciantes na sede da comunidade, como o comércio de senhor Manuel Pequeno. Na cabeceira da Viúva (microbacia da Viúva), o senhor Cândido Freire Dias, que possuía um motor a diesel, com nome “Candinho”, que viajava para a cidade de Nhamundá e trazia mercadorias para a revenda. Também fazia viagem, uma vez ao mês, para a cidade de Parintins, quando levava os produtos coletados da natureza ou produzidos pelos moradores.

As residências eram simples nessa época. As casas eram construídas de palha, barro e madeira (raramente se encontrava uma casa de madeira, até porque, não se tinha ferramentas adequadas para retirada da madeira, como o motosserra, que hoje existe. As tábuas eram retiradas com machados e passava por um processo lento, porém tudo muito limpo. O terreiro grande todo varrido que, em noite de luar, transformava-se em área de lazer, onde, ao redor de uma fogueira, se brincava de esconde-esconde, brincadeira de roda, pega-pega, boca de forno, pata cega, brincadeira do pires, da viuvinha, entre outras.

Mas a diversão não parava por aí. Nas tardes, em frente as suas casas, sempre tinha um banco de areia que se transformava em campo de futebol. Quando não se tinha bola de leite de seringueira comprada na cidade, construía de sacola enchida com folha de bananeira e amarrada com fio de punho de rede.

As poucas sacolas que apareciam, eram bastante cobiçadas, pois transformavam-se em bola de futebol, em bolsa para carregar material escolar para escola, patrona (bolsa do lado que o caçador carregava sua munição para caçada), e dificilmente se encontrava lixo que a natureza não podia absorver.

Os recursos naturais eram pura diversão, o rio transformava-se em piscina natural e quando o pai e a mãe não estavam em casa, era o dia todo a pular na água. Essa mesma água servia para consumo doméstico e para matar a sede dos animais. Roupa lavava-se sobre uma tábua larga e comprida apoiada sobre duas forquilhas com um travessão (chamada de ponte) com água e sabão grosso, ou sabão de soda feito em casa, e até mesmo com raiz de jipioca (segundo o dicionário, trepadeira lenhosa, *Entada polyphylla Benth.*, da Fam. das Leguminosas, subfam. *Mimosoídea*, nativa do AM, Brasil, de raízes agrídoces, utilizada contra a caspa, folhas penadas e flores sésseis, esbranquiçadas), o sabugo de milho transformava em escova de lavar roupa, diretamente no rio. Usava-se nessa época vasilha de barro, balde de cuia, e de alumínio (que era areada com areia fina e cinza do fogão de lenha).

Nessa época o fogão a gás era coisa para os ricos e a maioria das famílias não possuíam condição para comprá-lo. Mas tudo era muito bem limpo, as roupas eram guardadas em caixas de madeira ou de papelão. Nesse tempo, e até hoje, a maioria das pessoas tinham o hábito de dormir em redes, cama era uma raridade, para cada filho uma rede de pano atada paralelamente, assim como as dos pais.

No período da vazante, era hábito, em lugares que não era possível ter contato diretamente com o canal (rio de primeira ordem), fazer-se cacimbas para extrair água limpa para o consumo diário. A água para beber se conservava em um recipiente de barro, denominado pote, onde, às vezes, até uma jia (rã, ‘leptodatilídeo’) se alojava e fazia a água ficar mais fria (conto popular), ou armazenava-se na bilha, recipiente menor, também de barro.

Para tratar os peixes que serviam de alimento, construía-se uma ponte pequena na altura de um metro chamado de “jirau” (no dicionário, armação de madeira semelhante a estrado ou palanque, que pode ser usado como cama, depósito de utensílios domésticos, secador de frutas ou, quando posta em cima de um fogão, como fumeiro de carne, toucinho, peixe etc.), que servia também para lavar louça. Esse jirau era higienizado com água, sabão e vassourinha feita com o sabugo do milho com a palha. Nessa época a fonte de iluminação noturna era feita por lamparina fazendo uma comparação com atualidade fazia o papel das lâmpadas); já a poronga, substituída as lanternas atualmente), utensílios construídos artesanalmente pelo ribeirinho, e que hoje é possível encontrar em barrocões de farinhas nos centros, ou com os mais antigos para ser utilizado quando a energia elétrica tiver seu fornecimento interrompido, temporariamente.

A relação dos moradores antigos com o rio era bem mais estreita se comparada com a atualidade. Suas atividades não prejudicavam tanto a natureza como hoje. Para o deslocamento de um lugar para outro, usava-se “cascos” (pequena canoa tradicional feita do tronco de árvore, talhado a machado e trabalhado para que suas extremidades fossem estreitas, com acentos para que as pessoas pudessem acomodar-se), utilizando remo (objetos de madeira que serve para puxar a água e fazer o casco deslizar sobre ela). A canoa (transporte fluvial construído com três ou mais tábuas, de extremidades estreitas, a remo) era mais difícil de encontrar. Esses três objetos, eram os mais utilizados para fazer viagem próxima e até mesmo, distante. Outra maneira de se deslocar era andando a pé ou a cavalo (esse animal poucas pessoas possuíam, restrito aos criadores de gado).

E assim, o ribeirinho do Aduacá vivia sua vida em contato com a natureza, fazendo parte dela e com extrema ligação com os recursos hídricos.

A atualidade da comunidade Sagrado Coração de Jesus com ênfase nas relações com a água

No terreno da comunidade, pertencente à paróquia Nossa Senhora da Assunção, são apenas 15 residências, as restantes foram construídas em terrenos particulares, que foram loteados e vendidos, e cada proprietário se encarregou de construir a sua moradia.

Fraxe; Pereira; Witkoski (2007) afirmam que os povos da Amazônia não vivem isolados no tempo e no espaço, pelo contrário, sempre estabeleceram e continuam a estabelecer relações de trocas materiais e simbólicas entre si, com as comunidades vizinhas e com os agentes mediadores da cultura, entre o mundo rural e o urbano e a vida em escala global.

Se antigamente, o meio de transporte fluvial eram os barcos que faziam linha para as cidades, canoa e remo, ou a pé e a cavalo. Hoje existem na comunidade 4 barcos de médio porte, 2 balsas de madeira, 8 barcos de pequeno porte, 12 voadeiras (motor de popa em bote de alumínio), e cada família possui de 1 a 2 motores rabetas utilizados em canoa de três tábuas ou bote de alumínio. E todos esses transportes fluviais funcionam com derivados do petróleo, gasolina ou óleo diesel. Difícil é encontrar um casco (canoa tradicional construída com troco de árvore), reservados aos mais antigos ou pequenos pescadores de subsistência. A melhoria dos meios de transporte fluvial facilitou as viagens entre as comunidades e a sede municipal (aqui tratada como a cidade). Por exemplo, da comunidade do Sagrado para ir à cidade de Nhamundá, pode-se escolher em viajar no barco/motor de linha que tem duração de 4 a 5 horas, dependendo da força do motor e da sua velocidade, ou ir de voadeira com tempo estimado de 2 horas, ou mesmo de rabeta que demora de 5 a 6 horas de viagem, pois também depende do tamanho da canoa ou bote, da força do rabeta. Por causa do assoreamento do igarapé (rio de primeira ordem) devido à queimada do igapó e a retirada troncos de árvore presente em seu leito e por existirem lugares longínquos, tornou-se necessário inserção de transporte terrestre naquela comunidade como motocicletas, bicicletas, carroças. Existe na comunidade estudada, 32 motocicletas, 4 carroças e 1 triciclo motorizado. Facilitando a vida de seus moradores, transportando seus variados produtos, dos mais diferentes lugares.

A presença do Programa Luz para Todos e o desenvolvimento da vida ribeirinha

No ano de 2011, com a chegada do Programa Luz para Todos, do governo federal, tornou-se possível ter acesso aos diversos tipos de meios de comunicações, como televisão, rádio e a própria internet que agora fazem parte das vivências desses ribeirinhos. Praticamente, quase todas as pessoas adultas e os jovens possuem celulares, mesmo que ainda não tenha sinal de telefonia móvel. O acesso à internet está cada vez mais presente, no ano de 2020, no período de Pandemia da Covid-19, uma empresa privada foi contratada para fazer instalação, em onze residências, de antenas para captação de sinais de internet. Possibilitando a comunicação através de redes sociais, como o WhatsApp, com qualquer lugar do mundo. Os estudantes do Ensino Médio mediado por tecnologia, também necessitam de celular para estudar, pois serve para tirar fotografias das cartelas do monitor, e para fazerem pesquisas. A tecnologia faz parte da vida dos ribeirinhos, com isso torna-se possível a captação de água de melhor qualidade (se fizer comparação com a água natural retirada direto do rio) através de perfuração de poços artesianos.

Esse meio de captação de água do lençol freático se iniciou em 1981, mas observou-se que a inserção foi gradativa, após a chegada da energia elétrica através do Programa Luz para Todos, no ano de 2011. A partir de 2015 intensificou-se a perfuração de poços, sendo 2017 o ano em que mais se perfurou poços nessa comunidade. Foram 4 poços só nesse ano. Hoje praticamente, todas as residências possuem água encanada, facilitando o acesso à água potável, tão importante em nossas vidas. Antes de 2011 os poços artesianos funcionavam através de motores a diesel (eles possuíam um preço elevado, por isso a dificuldade da compra). Além disso, a água do rio e do igarapé apresentavam melhor qualidade, não havendo preocupação com essa questão, situação que hoje merece atenção. A captação de água através dos poços artesianos abastece a maioria das casas dos moradores dessa comunidade.

Das 84 famílias, apenas 4 retiram água natural do rio ou igarapé, mas, não possuem aquele hábito de carregar água no balde, e sim através de uma bomba que capta água do rio e a coloca em uma caixa d'água na residência, é a tecnologia facilitando a vida ribeirinha.

É possível que os poços artesanais atendam todas as famílias da área de estudo. Dos 15 poços pesquisados apenas 6 são utilizados por apenas uma família, 2 poços por 2 famílias, 2 poços por 4, 1 por 7 famílias, 1 por 5 famílias. O destaque vai para o PT 1 e PT 2, esses 2 poços que estão na sede da comunidade, além de fornecer água aos moradores que moram na sede da comunidade, abastecem a escola, a unidade básica de saúde, as dependências das comunidades como a igreja, cozinha comunitária, lanchonetes e bares.

Com relação à agricultura familiar, predominam as plantações de mandioca do qual se produz a farinha e seus derivados. Todavia, uma boa porcentagem da população deixou de trabalhar na roça e tornou-se apenas consumidora desses produtos, apontando para mudanças de costumes, o que justifica que, atualmente, farinha, beiju pé-de-moleque, farinha de tapioca, goma de tapioca, beiju, sejam vendidos na própria comunidade.

Observa-se também, que plantações como café, feijão, arroz são inexistentes na comunidade. Encontram-se plantações em seus pomares caseiros de bananeira, mamoeiro, limoeiro, laranjeira, tangerineira, hortaliça, abacateiro, goiabeira, ingazeiro, abieiro, aceroleira, cupuaçuzeiro, abacaxizeiro, coqueiro, graviroleira, mangueira, cacaueiro, açaizeiro entre outros, que em sua maioria serve apenas para a alimentação familiar. Em alguns casos, vende-se o excedente.

Portanto, o ribeirão apresenta um novo modo de viver, modifica-se a maneira e comportamento rural de viver em harmonia com a natureza, para apresentar-se com costumes e hábitos da vida citadina. Renovando, evoluindo e acompanhando as mudanças que acontecem no mundo, sejam mudanças da tecnologia, dos meios de comunicação ou de transportes. Saindo do seu lugar para conhecer novos lugares e assim modificando sua cultura, costumes e muitas vezes valores.

Considerações finais

A gestão das águas em comunidades ribeirinhas do Amazonas/Brasil, precisa atingir primeiramente os ribeirinhos, são os principais beneficiados deste recurso nessas comunidades, pois possuem uma relação intrínseca com o rio. Precisam ter entendimentos da importância da água para o desenvolvimento das

suas atividades econômicas, sociais, culturais e políticas, a partir disso, construir mecanismos de sensibilização para manutenção da sua qualidade e quantidade.

A percepção de abundância da água leva a uma má gestão e ao desperdício do recurso por parte deles. Para a concretização da gestão desse recurso torna-se necessário levar conhecimento da realidade dos ribeirinhos e, com isso, apontar os problemas e buscar soluções para as demandas presentes nessas comunidades.

A pesquisa buscou entender a realidade ribeirinha e a partir desse entendimento o caminho para solucionar ou pelo menos amenizar essa problemática, mesmo sabendo que essa ação se torna uma tarefa árdua, pois requer mudança de comportamento diante da natureza. Levar conhecimentos concretos aos ribeirinhos, mostrar que suas ações estão cada vez mais alterando a qualidade desse recurso e que, com isso, todas as formas de vida são afetadas.

A Educação Ambiental, no contexto dos recursos hídricos, busca construir no indivíduo e na coletividade a conscientização, levando a sensibilidade para a mudança de mentalidade que gere atitude de valorização e preservação do ambiente.

O produto construído a partir do resultado da pesquisa, traz mecanismo para trabalhar a reciclagem e a Educação Ambiental no contexto dos recursos hídricos, possibilitando acontecer a gestão dos recursos hídricos em comunidades ribeirinhas a partir dos próprios moradores.

No entanto, é necessário ter mais pesquisas, conhecimento e tecnologias para se trabalhar a temática ambiental nesses espaços e a partir disso, surgir novas ideias para a construção de materiais que busquem sensibilizar os ribeirinhos para cuidar dos corpos d'água, das nascentes dos rios, conservar as matas ciliares, manter a floresta em pé e fazer a gestão dos resíduos sólidos. Assim sempre haverá água em quantidade e qualidade para a presente e para as futuras gerações.

Referências

- ALVES, L. C. R. A ontologia fenomenológica sartriana da consciência: das obras do jovem Sartre ao ser e o nada. *Theoria: Revista Eletrônica de Filosofia*. v. 03, n. 07, Ano 2011. Disponível em: <https://www.theoria.com.br/uploads/pdf/17619299666904eae1bf8e1.95504105.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2024.
- BANDEIRA, D. *Materiais Didáticos*. Curitiba, PR: IESDE, 2009.

- FRAXE, T. J. P.; PEREIRA, H. S.; WITKOSKI, A. C. (orgs.). *Comunidades ribeirinhas amazônicas: modos de vida e uso dos recursos naturais*. Manaus: EDUA, 2007.
- GOULART, J. A. *O Regatão: mascate fluvial da Amazônia*. Rio de Janeiro: Conquista, 1968.
- HENRIQUE, M. C.; MORAIS, L. T. Estradas líquidas, comércio sólido: índios e regatões na Amazônia (século XIX). *Revista de História*, São Paulo, n. 171, p. 49-82, 2014. DOI: 10.11606/issn.2316-9141.rh.2014.89007. Disponível em: <https://revistas.usp.br/revhistoria/article/view/89007>. Acesso em: 14 jan. 2023.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Base cartográfica e dados geográficos do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.
- LIRA, T. M.; CHAVES, M. P. S. R. Comunidades Ribeirinhas na Amazônia: organização sociocultural e política. *Interações*, Campo Grande, v. 17, n. 1, 2016. Disponível em: <https://interacoesucdb.emnuvens.com.br/interacoes/article/view/593> . Acesso em: 4 nov. 2023.
- SOARES, L. C. Hidrografia. In: IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Geografia do Brasil*. Região Norte. Vol. 3. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. p. 73-121.

Governança hídrica no Brasil: os comitês de bacia hidrográfica como instrumento de gestão dos recursos hídricos

Thiago Flores dos Santos
Carlossandro Carvalho de Albuquerque
Ieda Hortêncio Batista

Introdução

Diante dos problemas ambientais deste século XXI relacionados à deterioração da qualidade e quantidade hídrica no planeta, se faz necessários o estudo da efetividade das estruturas de governança no uso dos recursos hídricos, especialmente, no Brasil, uma vez que se encontram previstos na legislação brasileira importantes mecanismos de governança hídrica inspirados em documentos normativos internacionais. Por meio da Conferência Internacional de Água e Meio Ambiente (ICWE) ocorrida em Dublin, na Irlanda, nos dias 26 a 31 de janeiro de 1992 foram estabelecidas diretrizes importantes para a governança no gerenciamento de recursos hídricos, diante de um cenário de escassez e da necessidade de se trabalhar nos diversos países que participaram do encontro internacional, formas de apropriação deste bem ambiental que possam evitar a escassez e o mau uso, especialmente, da água doce, possibilitando a implementação de um modelo de desenvolvimento que seja essencialmente sustentável às populações humanas e não humanas.

Essas diretrizes estão previstas na Declaração de Dublin sobre Água e Desenvolvimento Sustentável, de 31 de janeiro de 1992, em que constam quatro princípios informadores à atuação na gestão de águas, sendo relevante destacar no presente estudo o princípio 2 no qual está disposto que o “gerenciamento e desenvolvimento da água deverá ser baseado numa abordagem participativa, envolvendo usuários, planejadores legisladores em todos os níveis” (ONU, 1992).

No Brasil, a edição da Lei n.º 9.433 de 8 de janeiro de 1997 representa a incorporação de preceitos previstos no referido tratado internacional, sendo previstos na referida norma três instrumentos inovadores e que fortalecem a governança na gestão dos recursos hídricos, que são: o Conselho Nacional de

Recursos Hídricos, os conselhos estaduais de recursos hídricos e os Comitês de Bacia Hidrográfica. A área de atuação, competência, composição e governança dos Comitês de Bacia Hidrográfica estão previstas no art. 37 e seguintes da Lei n.º 9.433/1997. Essa estrutura caracteriza-se como um importante instrumento de gestão dos recursos hídricos no país, sendo possível identificar a criação desses “parlamentos de águas” em todas as regiões do país, porém com a atuação bastante diferenciada entre os modelos criados, tanto no que diz respeito à adequada e eficaz gestão de recursos hídricos, quanto em relação ao cumprimento das funções estabelecidas na legislação em vigor.

Se, por um lado, as bacias hidrográficas, sub-bacias e tributários no país abrangem áreas geográficas extensas, por outro, há diversos interesses conflitantes no uso dos recursos hídricos, o que demanda uma atuação célere e equitativa nesses colegiados de modo que interesses econômicos e políticos não se sobrepujam aos interesses dos demais usuários, especialmente, os mais vulneráveis, como ribeirinhos, indígenas, dentre outros, bem como, para que seja promovido o uso sustentável deste bem ambiental, de modo a preservá-lo para as presentes e futuras gerações, nos termos do previsto no art. 225 da Constituição de 1988.

Se faz importante destacar que está prevista na legislação, inclusive, a criação das agências de águas, conforme o art. 33, V da Lei n.º 9.433/97, que podem conferir um suporte operacional para as atividades a serem desempenhadas pelos Comitês de Bacia Hidrográfica, possibilitando que haja a operacionalização e atualização permanente dos planos de recursos hídricos da bacia hidrográfica, visando a recuperação, proteção e conservação dos recursos hídricos.

Os referidos colegiados, que fazem parte da estrutura de governança relacionada aos recursos hídricos no Brasil e são responsáveis pela concepção e implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, formam o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGREH, instituído nos termos do art. 32 da Lei n.º 9.433/97.

Deste modo, constitui objetivo do presente artigo a realização de pesquisa acerca dos elementos conceituais e normativos que orientam a governança hídrica estabelecida no Brasil, bem como a realização de uma reflexão sobre as formas de operacionalização dos Comitês de Bacia Hidrográfica diante da diversidade de atuação entre esses colegiados e da necessidade de se assegurar a efetividade na gestão dos recursos hídricos no Brasil.

Destaque-se que diante dos elementos orientadores definidos na legislação brasileira, em especial, na Lei n.º 9.433/97, verifica-se a importância de se realizar uma reflexão acerca da operacionalização os Comitês de Bacia Hidrográfica como instrumentos de governança hídrica no Brasil, com vistas a se promover o aprimoramento das normas jurídicas existentes e para se assegurar a disponibilidade de água para as presentes e futuras gerações, conforme o estabelecido no art. 225 da Constituição de 1988.

A governança na gestão de recursos hídricos no Brasil

A governança das águas pode ser definida como sendo um sistema político, social, econômico e administrativo criado para influenciar os usos, o desenvolvimento e a gestão integrada de recursos hídricos, bem como, garantir a oferta para a sociedade de serviços e produtos relacionados aos recursos hídricos, conforme Pinto-Coelho e Havens (2016, p. 133).

Em relação aos recursos hídricos, a governança pode contribuir significativamente para a concepção e implantação de políticas públicas, estabelecendo-se uma responsabilidade compartilhada entre diferentes níveis de governo, sociedade civil, empresas e as demais partes interessadas visando gerar benefícios econômicos, sociais e ambientais (OCDE, 2015).

Trata-se de um desafio a instituição de mecanismos eficazes de governança, ainda mais quando se trata da necessidade de proteção de bens de natureza difusa, como é o caso da água, em que todos os agentes estatais e não estatais são ou deveriam ser interessados na apropriação e preservação do recurso para as presentes e futuras gerações.

Como instrumento de articulação entre diferentes agentes, públicos e privados, visando à realização de um planejamento e gestão de recurso ambiental, de interesse difuso, se estabelecer a governança tem se demonstrado como a forma mais efetiva para a proteção dos recursos hídricos, sendo que diretrizes de governança têm sido propostas nas convenção e tratados internacionais, como na referida Declaração de Dublin sobre Água e Desenvolvimento Sustentável.

Neste sentido, contribuição relevante para a definição de diretrizes de governança sobre os recursos hídricos foi publicada em 2015 pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OCDE, organismo internacional criado em 1961, no documento intitulado “Princípios da OCDE

para a Governança da Água”, em que foram estabelecidos doze princípios informadores da atuação do poder público e da sociedade para a implementação de mecanismos eficazes de governança. São doze princípios que “aplicam-se ao ciclo global das políticas da água e devem ser implementados de uma forma sistêmica e inclusiva” (OCDE, 2015, p. 8), destacando-se diretrizes para a formulação de estratégias de coordenação entre instituições públicas, privadas e a sociedade civil para gerir a água nas escalas apropriadas no âmbito de sistemas de governança de bacia de forma a refletir as condições locais (princípio 2).

Iniciativas de organismos internacionais, a exemplo daquelas acima referidas, definiram marcos de governança hídrica na geopolítica mundial, impulsionando proposições legislativas em diversos países, como no Brasil, para a implementação de mecanismos de governança que promovam a gestão descentralizada e a participação de governos, iniciativa privada e usuários na tomada de decisão sobre o uso e proteção dos recursos hídricos, com vistas a promover-se o uso múltiplo e a sustentabilidade do recurso. No Brasil, com a edição da Lei n.º 9.433/97 verifica-se a incorporação na legislação brasileira dos princípios e diretrizes estabelecidas no princípio 2 da Declaração de Dublin sobre Água e Desenvolvimento Sustentável, de 31 de janeiro de 1992, uma vez que os instrumentos de governança dos recursos hídricos instituídos pelo país privilegiam uma abordagem participativa envolvendo o Poder Público, usuários e a sociedade civil organizada, interessada no uso sustentável da água.

Neste sentido, foram instituídas na Lei n.º 9.433/97 instrumentos de governança hídrica contemporâneos, que asseguram a participação ampla no processo decisório relacionado à gestão de recursos hídricos em todos os níveis, que são: o Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, os Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal e os Comitês de Bacia Hidrográfica, que integram o SINGREH, conforme o art. 33 da Lei n.º 9.433/97.

Conforme Trindade e Scheibe (2014, p. 99), para que seja implementada uma metodologia que funcione perfeitamente para a gestão de recursos hídricos, fazem necessárias quatro “engrenagens”, sendo a primeira, as políticas públicas, a segunda, as leis regulamentadoras destas políticas, a terceira, as instituições, e por fim, a quarta, a participação popular “como meio de conciliar, mediar e cobrar as ações dos demais”.

Ressalte-se que o legislador constituinte, nos artigos 20 e 26 da Constituição de 1988, estabeleceu a repartição da dominialidade das águas entre

a União⁸ e os Estados,⁹ o que direciona esses entes à estruturação de normas jurídicas, órgãos e procedimentos para a gestão integrada e participativa deste bem ambiental de titularidade difusa.

Destaque se confere para a ausência na Constituição de 1988 de previsão da dominialidade específica da água para o Município (mesmo diante da existência de igarapés urbanos e nascentes em áreas municipais), todavia, todos os entes (União, Estados, Municípios e Distrito Federal) possuem a obrigação constitucional de proteger o meio ambiente e combater a poluição em todas as suas formas, nos termos do art. 23, VI da Constituição de 1988, o que impõe a necessidade da adoção de ações voltadas para a proteção da água de forma solidária e cooperada entre todos os entes federativos.

Também é importante destacar que no Brasil, a partir da Lei n.º 9.433/97, se instituiu a gestão por bacia hidrográfica¹⁰, caracterizada como aquele espaço que ultrapassa as fronteiras territoriais dos entes federados, abrangendo não somente o corpo hídrico mas um conjunto de elementos como o território, os bens ambientais e as relações sociais que estão relacionadas ao uso dos recursos hídricos e à manutenção da qualidade e quantidade hídrica.

Tundisi (2013, p. 231) afirma que a bacia hidrográfica como unidade de gestão deve considerar três níveis para a gestão integrada de gerenciamento, que são: a nível organizacional, refletido na atuação do comitê de bacia hidrográfica e agência de água, com a função de coordenar e reduzir o conflito entre os usos e interesses; a nível constitucional que “agrega as questões referentes à legislação, ao enquadramento dos corpos de água, ao planejamento territorial *vis-à-vis* o uso dos recursos hídricos”; e, por fim, a nível operacional, com foco

8 Art. 20. São bens da União: [...] III - os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais.

9 Art. 26. Incluem-se entre os bens dos Estados: I - as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União.

10 Destaque-se o previsto no art. 1º, V da Lei n.º 9.433/97:

Art. 1º. A Política Nacional de Recursos Hídricos baseia-se nos seguintes fundamentos:

V – a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

na variedade de sistemas existentes (tratamento de esgotos, geração de energia, irrigação, dentre outros).

Complementando, afirma Tundisi (2013, p. 231) que a governança ideal “repousa sob a égide de uma sociedade de bacia hidrográfica com interesses comuns e inclui planejamento, gestão e execução em um mesmo contexto sistêmico, funcional e operacional”, ressaltando o autor que o futuro do processo de gestão está na implementação de banco de dados, do sistema de informações, na disseminação da informação e na integração entre os setores acadêmico, público e privado, nos comitês de bacia hidrográfica.

Conforme Lima e Nery (2017, p. 731), do ponto de vista da governança é um desafio a realização da gestão das águas tendo a bacia hidrográfica como unidade de planejamento, pois há uma incompatibilidade entre “tempos e espaços administrativos” com esta forma de gestão hídrica, sendo a forma de planejamento que mais se aproxima dos processos de funcionamento da natureza, se fazendo importante na sua elaboração que se compreenda as relações sociais, econômicas, políticas, culturais e institucionais que se dão no território da bacia hidrográfica.

Neste sentido, verifica-se que a gestão por meio da bacia hidrográfica representa uma disrupção com as estruturas tradicionais de funcionamento usualmente utilizadas para a gestão pública (considerando que a Constituição atribui aos entes federativos a competência de gestão, conforme o mencionado acima), caracterizada pelo exercício das atividades administrativas de forma individualizada e particularizada conforme o interesse do estado e do governo que detém o exercício provisório do poder político.

Logo, se faz importante no país estimular nas bacias, sub-bacias e tributários, a criação e estruturação dos Comitês de Bacias Hidrográficas, que possibilitam uma abordagem sistêmica de governança da água, visando o planejamento e a integração entre os diversos usuários e órgãos visando a coordenação no uso da água, a manutenção da qualidade hídrica e o desenvolvimento sustentável na bacia hidrográfica.

Sobre a governança estabelecida através dos comitês de bacia hidrográfica, Denny, Granziera e Gonçalves (2020) afirmam que este instrumento integrante do SINGREH constitui a forma concreta e organizada para reunir diferentes atores envolvidos na mesma questão, no caso, o gerenciamento do uso múltiplo da água, “[...] fazendo com que a participação ampliada se traduza em decisões

emanadas pelos órgãos, que sejam, de fato, implementadas, fiscalizadas e cumpridas” (p. 243).

Todavia, há dificuldades em se concretizar a gestão por bacia hidrográfica, típica dos comitês de bacia hidrográfica, especialmente, em algumas regiões do país, como nos estados da região Norte, em que há baixa densidade demográfica na área territorial de algumas bacias, a existência de conflitos no uso dos recursos hídricos pela sobreposição do uso para o exercício de atividades decorrentes do macroplanejamento estatal, como a construção de usinas hidrelétricas e, inclusive, como no caso da Bacia Amazônica, decorre a abrangência da bacia em território que atravessa diversos estados brasileiros e países sul-americanos.

Nestes casos, a gestão por bacia hidrográfica não se afigura como a mais apropriada, sendo mencionado por Pagnoccheschi (2016), que para a região amazônica, em virtude dos conflitos relacionados aos demais usos da água com o uso para a geração de energia hidrelétrica, torna-se fundamental a existência de planos de bacias que indiquem, com a devida antecedência, os problemas que poderão surgir a partir da implementação de grandes obras, “permitindo as instâncias regionais e estaduais de promoção do desenvolvimento examinar e opinar acerca dos potenciais riscos de conflitos entre os setores no que se refere ao uso dos recursos hídricos destas bacias” (p. 184).

Sobre os desafios a serem vencidos para a gestão integrada, Pagnoccheschi (2016, p. 184) afirma que não obstante o arcabouço legal e avanços registrados, os principais desafios envolvem a integração da gestão de águas com a gestão ambiental, a integração de aspectos de quantidade e qualidade, a integração dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos e, principalmente, a integração da política de recursos hídricos com as políticas sociais.

Nascimento e Pozzetti (2018, p. 327) abordando sobre o gerenciamento das águas compartilhadas na Pan-Amazônia e a necessária cooperação e integração entre os países que compõem a bacia hidrográfica transfronteiriça afirmam que, com fundamento no Tratado de Cooperação Amazônica, assinado em 3 de julho de 1978 pelos oito países amazônicos, se faz necessária a adoção de ações efetivas entre os países, no sentido de firmarem acordos bi e/ou trilaterais “e a constituição de Comitês e Planos de Bacias transfronteiriços em regiões como a tríplice fronteira Brasil-Peru-Colômbia”, mediante capacidade de governança local e articulação transnacional, “com a participação das populações locais e povos tradicionais na tomada de decisões sobre o uso e a conservação de águas amazônicas compartilhadas”.

São desafios diante da existência de condições diferenciadas em relação às bacias hidrográficas no Brasil, todavia, um consenso que se abstrai entre os referidos autores diz respeito à necessidade de integração entre os múltiplos usuários por meio de mecanismos de governança que devem ser estruturados levando-se em consideração as peculiaridades locais, a diversidade socioambiental da bacia hidrográfica e a necessidade de manutenção das condições hídricas para as presentes e futuras gerações.

Neste sentido, representa um avanço legislativo a previsão contida no art. 1º, V da Lei n.º 9.433/97 de que a bacia hidrográfica é a unidade territorial para a implementação da PNRH e do SINGREH, todavia, se faz necessário que em regiões como a Amazônia Legal, sejam implementados mecanismos e estratégias baseadas na cooperação entre países (na hipótese dos rios transfronteiriços) e no planejamento sistêmico, a curto médio e longo prazo, levando-se em consideração as peculiaridades socioambientais e os interesses locais para que haja maior efetividade na gestão da água nas bacias hidrográficas localizadas nesta região, especialmente, àquelas que se localizam em locais mais distantes dos centros urbanos e que atravessam o território de mais de um estado ou país.

Independentemente da estratégia a ser implementada, se faz necessária a construção de novos mecanismos de governança hídrica que concretizem os postulados legais acima referidos e que observem essas peculiaridades existentes em cada corpo hídrico e possam atuar efetivamente na formulação e execução do planejamento da bacia hidrográfica, de forma participativa, representando os interesses de todos os usuários e promovendo o desenvolvimento sustentável.

Comitês de bacia hidrográfica: desafios para o cumprimento das funções estabelecidas na legislação

Os Comitês de Bacia Hidrográfica foram instituídos no Brasil por meio da Lei n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997, com as atribuições previstas no art. 38 da referida norma jurídica,¹¹ que envolvem, dentre outros aspectos, a promoção

11 No art. 38 da Lei n.º 9.433/97 constam as atribuições dos Comitês de Bacia Hidrográfica, destacando-se dentre elas a função de arbitrar, em primeira instância administrativa, os conflitos relacionados aos recursos hídricos (inciso II), a aprovação do Plano de Recursos Hídricos da bacia (inciso III), o acompanhamento da execução do Plano de Recursos Hídricos da bacia e sugerir as providências necessárias ao cumprimento de suas metas (inciso IV) e estabelecer os mecanismos de cobrança pelo uso de recursos hídricos e sugerir os valores a serem cobrados (inciso VI).

do debate das questões relacionadas a recursos hídricos e articular a atuação das entidades intervenientes.

Trata-se de um organismo colegiado que faz parte do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SIGREH, com atribuições normativas, consultivas e deliberativas acerca do uso dos recursos hídricos na bacia hidrográfica, e que visa conciliar direitos e interesses dos usuários com vistas ao aproveitamento sustentável da água.

Trata-se de um mecanismo inovador de governança de recursos hídricos, que visa à articulação entre o Poder Público, a sociedade civil e os usuários da água para a apropriação da água, bem como, a concretização de ações para a gestão da bacia hidrográfica, atuando como um “parlamento das águas”, em que são arbitrados em primeira instância os conflitos e definidas as regras de utilização dos recursos hídricos na bacia, conforme o interesse dos usuários e a sustentabilidade do recurso.

Conforme menciona Granziera (2023, p. 258), a respeito da natureza jurídica dos Comitês de Bacia Hidrográfica, em que pese não possuírem personalidade jurídica, possuem a natureza de ente integrante da Administração Pública “vinculando-se aos Poderes Públicos federal, estaduais ou distrital, no que se refere ao vínculo de natureza administrativa, sob o regime de direito público”.

A referida autora apoia esta afirmação no fato de que o seu funcionamento segue o princípio formal e do processo administrativo, sendo a sua atuação e funcionamento decorrente de lei, além de que, os comitês de bacia hidrográfica são criados por lei (em sentido amplo) e vinculados ao Poder Público “e subordinados aos respectivos Conselhos de Recursos Hídricos”, em relação às decisões acerca do planejamento dos recursos hídricos, em que pese, não possuir competência para o exercício do Poder de Polícia, o que não afasta a atuação dos órgãos e entidades competentes que dele devem participar representando o Poder Público (Granziera, 2023, p. 258).

Por meio da Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos n.º 05/2000 foram estabelecidas diretrizes para a formação e funcionamento dos Comitês de Bacia Hidrográfica, constando na referida norma diretrizes acerca do exercício das atribuições normativas, consultivas e deliberativas do colegiado, bem como, disposições sobre a constituição de regimento interno e a forma de aprovação e posse de seus membros, dentre outras.

A sua atuação se perfaz a partir da criação do colegiado que poderá se dar por lei ou por decreto (pode-se afirmar que também é possível a formação de comitês por meio de tratado internacional¹²) e o exercício de suas funções é regulado por meio de um estatuto e/ou regimento interno, que versará sobre o funcionamento do colegiado, seus órgãos deliberativos e consultivos e regras do processo eleitoral, dentre outras disposições. As assembleias são públicas, podendo qualquer indivíduo participar, sendo definida uma diretoria com mandato temporário, sendo que seus membros (pessoas físicas ou jurídicas) são submetidos à votação por parte dos demais integrantes do colegiado.

É importante registrar que foi instituído pela ANA, por meio da Resolução ANA n.º 1.190/2016 o Programa Nacional de Fortalecimento dos Comitês de Bacias Hidrográficas – Procomitês, com os objetivos previstos no art. 1º da referida norma, voltado para o auxílio na melhoria da capacidade operacional dos comitês de bacia hidrográfica (inciso I do art. 1º), promover ações de capacitação aos membros dos comitês e de conselhos de recursos hídricos (inciso II), promoção de ações de comunicação direcionadas para o reconhecimento pela sociedade da atuação dos comitês de bacias e conselhos de recursos hídricos (inciso III) e, por fim, contribuir para a implementação e efetividade dos instrumentos de gestão de recursos hídricos (inciso IV).

Em que pese às dificuldades enfrentadas pelos Comitês de Bacia Hidrográfica para o cumprimento das atribuições estabelecidas na Lei n.º 9.433/97, verifica-se que no Brasil foram editadas normas que regem os elementos estruturais necessários à atuação desses colegiados, bem como, políticas públicas, a exemplo do Procomitês da ANA, que contribuem para o fortalecimento na atuação dos comitês visando à promoção do desenvolvimento sustentável.

Verifica-se que há um consenso doutrinário de que a atuação e o engajamento do Poder Público (federal, estadual e municipal, de acordo com a territorialidade da bacia hidrográfica) na organização e estruturação (e também no uso do poder de polícia quando necessário) dos comitês de bacia hidrográfica são essenciais para o cumprimento das atribuições estabelecidas no art. 38 da Lei n.º 9.433/97, o que se torna relevante diante da existência de conflitos pelo

12 Como exemplo pode ser citado o Tratado da Bacia do Prata, firmado em 23 de abril de 1969 entre Argentina, Brasil, Bolívia, Paraguai e Uruguai que aprova um comitê integovernamental, espécie jurídica específica que assemelha-se ao comitê de bacia hidrográfica.

uso dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas brasileiras, especialmente, por instituições/indivíduos que atuam em setores específicos da economia, como na irrigação, navegação e geração de energia.

Neste sentido, em um cenário de conflitos pelo uso dos recursos hídricos, há um agravamento dos problemas ambientais e sociais, especialmente, para as populações mais vulneráveis, como indígenas, ribeirinhos, dentre outras, usuárias dos recursos hídricos e que possuem uma capacidade reduzida de resiliência às condições adversas do ambiente, sendo que os comitês de bacia hidrográfica possibilitam que os interesses desses grupos sejam também considerados no processo de gestão da bacia hidrográfica.

Comitês de bacia hidrográfica e a efetividade no gerenciamento dos recursos hídricos

Diante da importância dos Comitês de Bacia Hidrográfica para a gestão dos recursos hídricos no Brasil, um aspecto que merece relevância para a efetividade no gerenciamento por esses colegiados é a capacitação permanente de seus membros, através de treinamentos e oficinas que permitam o nivelamento de curvas distintas de aprendizagem e a atualização permanente acerca das atribuições e metodologias de trabalho, além da troca de experiências entre os colegiados visando o aproveitamento de todas as potencialidades da bacia hidrográfica.

Neste sentido, na experiência brasileira é possível identificar alguns comitês de bacia hidrográfica, a exemplo do Comitê de Bacia Hidrográfica da Serra da Mantiqueira (CBH-SM), que têm desenvolvido programas de capacitação de seus membros, com uma trilha de atividades para o período de dois anos, levando-se em consideração as necessidades de aperfeiçoamento dos membros, temas prioritários e também as especificidades das bacias hidrográficas, mediante o recebimento de recursos financeiros pela ANA (CBH-SM, 2022, p. 13).

A ANA, através do PROCOMITÊS, instituído por meio da Resolução ANA n.º 1.190/2016, vem estabelecendo convênios financeiros para o repasse de recursos visando o fortalecimento dos CBH no Brasil, sendo previsto um componente específico para a capacitação dos membros desses colegiados para que possam entender as suas responsabilidades e possibilidades de atuação.

Do mesmo modo, a ANA disponibiliza um caderno de capacitação de CBH dividido em oito volumes, abrangendo temas como: o que são e o que fazem os CBH; práticas e procedimentos de CBH; alternativas organizacionais para a gestão de recursos hídricos; planos de recursos hídricos; agências de águas, dentre outros, que auxiliam no processo de aperfeiçoamento dos membros deste colegiado.¹³

Em estudo de caso realizado por Dictoro e Hanai (2015, p. 10), no Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, que abrange três estados brasileiros, no caso, São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, relata-se a existência naquele colegiado de um dos principais problemas para a efetividade na gestão dos recursos hídricos pelos comitês brasileiros, que é a baixa participação social nos processos, programas e ações desenvolvidas pelo CBH resultando no distanciamento da população local nos objetivos dos instrumentos da PNRH, os quais passam a ser vistos como entraves governamentais à comunidade, do que, propriamente, como ferramentas que irão melhorar a gestão e conservação da bacia hidrográfica.

Com base no estudo realizado, os referidos autores recomendam a realização de programas, ações e projetos para a sensibilização da população sobre os instrumentos da PNRH e a importância desses processos para a manutenção da qualidade hídrica. Também recomendam a execução de ações voltadas para a implementação do Plano de Recursos Hídricos e o enquadramento de corpos de água “por não estarem devidamente implementados e serem considerados pelos entrevistados como muito pouco efetivos para a conservação e gestão da água” (Dictoro; Hanai, 2015, p. 10).

A participação popular é fundamental para a efetividade na gestão das bacias hidrográficas, sendo importante destacar que é atribuição dos Comitês de Bacia Hidrográfica realizar a adequação da gestão de recursos hídricos às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais na área de abrangência, conforme consta no § 3^a do art. 1^a da Resolução n.º 05/2000 do CNRH.

É importante, inclusive, que a participação popular nos comitês de bacia hidrográfica sejam aprimoradas de modo que os grupos de usuários de recursos

13 Esses volumes estão disponíveis no site da ANA, podendo ser acessados por meio do link: <https://www.gov.br/ana/pt-br/todos-os-documentos-do-portal/documentos-sas/cadernos-de-capacitacao>

hídricos possam ter representatividade dentro dos colegiados e participem não somente como mero expectadores ou do processo decisório. Neste sentido, consta no inciso III do art. 3º da Resolução n.º 05/2000 do CNRH que deverá constar no regimento interno dos colegiados o número de representantes dos usuários dos recursos hídricos, obedecido quarenta por cento do total de votos, que é o percentual limite destinado ao poder executivo da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, conforme consta no inciso I do art. 8º da norma em comento.

Silva (2018, p. 37) menciona algumas soluções para que haja uma participação popular mais efetiva e direcionada com o intuito de influir nas decisões sobre a bacia hidrográfica, indicando como um dos caminhos o aperfeiçoamento do funcionamento dos colegiados com medidas como capacitação e fortalecimento dos comitês com maior “[...] clareza na definição de suas atribuições, garantias legais de implementação de suas decisões e fortalecimento do controle dos representados sobre os representantes”.

Também reforça Silva (2018, p. 37) que os comitês “[...] não devem ser vistos como única alternativa de participação no setor, devendo existir de forma complementar a outras iniciativas, como parcerias diretas entre o Estado e entidades da sociedade civil para a formulação e execução de projetos específicos”, o que reforça a necessidade de fortalecimento das organizações sociais que atuam na gestão da bacia hidrográfica e maior interação entre o Poder Público e os usuários dos recursos hídricos.

No que diz respeito à efetividade na gestão dos recursos hídricos pelos Comitês de Bacia Hidrográfica e cumprimento das funções instituídas no artigo 38 da Lei n.º 9.433/97 é importante destacar o estudo de Trindade e Scheibe (2019, p. 13), em que foram analisados 250 artigos e 1.189 trabalhos de Pós-graduação, sendo que “pelo menos 16 estudos discutem as limitações que os CBH enfrentam e que podem justificar a ineficiência de muitos destes grupos no Brasil”.

Conforme Trindade e Scheibe (2019, p. 13), dentre as limitações e fatores que distanciam os Comitês de Bacia Hidrográfica de suas principais funções destacam-se:

- i) a ausência de suporte técnico, físico e financeiro por parte dos Estados;

ii) a inexistência ou “pouca existência” dos instrumentos de gestão previstos na PNRH;

iii) a baixa participação dos governos – especialmente os governos municipais e estaduais e da sociedade civil nestes grupos –, o que dificulta ainda mais a articulação institucional dos CBH e sua capacidade decisória.

Outra limitação indicada por Trindade e Scheibe (2019, p. 13) é “a inexistência de informações públicas a respeito de seu principal instrumento de gestão: os planos de bacias hidrográficas”, em que pesem às contribuições que o colegiado apresenta para a gestão integrada dos recursos hídricos em duas vertentes: “i) os CBH potencializam a participação social nas decisões envolvendo a gestão hídrica e ii) os CBH auxiliam na promoção da educação ambiental nas bacias hidrográficas”.

A atuação dos Comitês de Bacias, que deve ser intensamente apoiada pela atuação do Poder Público, se completa com dois instrumentos que são: o plano de bacia hidrográfica e a agência de água. O plano de bacia hidrográfica possibilitará o estabelecimento de diagnósticos e cenários sobre o uso da água na bacia, resultando em um planejamento apoiado em plano de ação com atividades a serem executadas a curto, médio e longo prazo.

Por sua vez, as agências de água, que devem ser criadas por lei, para o desempenho de funções de caráter público¹⁴ relacionadas ao uso dos recursos hídricos na bacia hidrográfica, possuem a função de executar as atividades definidas no âmbito do Comitê de Bacia e do Plano de Recursos Hídricos, bem como, para promover a articulação entre o poder público e os usuários visando o adequado gerenciamento dos recursos hídricos na bacia.

Acerca do cumprimento das funções dos Comitês de Bacia Hidrográfica, Denny, Granziera e Gonçalves (2020, p. 242) afirmam que para que esses colegiados possam cumprir as suas funções, estabelecidas no art. 38 da Lei n.º 9.433/97, relacionadas à gestão dos recursos hídricos, é fundamental que haja uma atuação atuante e integrada do Poder Público e da sociedade civil, especialmente,

14 Por serem revestidas de caráter público, para o exercício das competências relacionadas às agências de águas são criados órgãos da administração pública indireta, no caso, autarquia, fundação pública, empresa pública, sociedade de economia mista ou consórcio público, sendo aplicado o regime jurídico de direito público para determinadas atividades das agências, como a realização de contratações.

de representantes dos estados e municípios, até para reforçar a legitimidade de sua atuação, para que esses colegiados possam agir e influir de forma efetiva na gestão da água, o que se aprimora diante da ausência de competência para o exercício do poder de polícia das águas.

Considerações finais

O estudo sobre a governança na gestão de recursos hídricos no Brasil e o papel dos Comitês da Bacia Hidrográfica é fundamental para se compreender os desafios e oportunidades para a implementação desses instrumentos que são fundamentais para a manutenção da qualidade e quantidade hídrica no Brasil.

A governança hídrica brasileira, estruturada a partir da Lei n.º 9.433/97, estabelece um modelo que promove a gestão integrada e participativa dos recursos hídricos, o que representa um avanço em termos de regulação dos recursos hídricos, diante do reconhecimento na legislação da importância da colaboração entre os diversos atores sociais, incluindo o governo, a sociedade civil e os usuários dos recursos.

Em análise às normas previstas na legislação brasileira, em especial, na Lei n.º 9.433/97, e nos tratados internacionais, verifica-se a necessidade de uma abordagem que respeite as particularidades locais e as características socioambientais das bacias. No entanto, a implementação eficaz dessas diretrizes enfrenta um conjunto de desafios variados, que vão desde a falta de recursos financeiros suficientes às necessidades para a preservação dos recursos hídricos, até a baixa participação social nos processos decisórios, o que compromete a legitimidade e a efetividade das ações dos Comitês.

A atuação dos Comitês da Bacia Hidrográfica, embora inovadora, é marcada por limitações que incluem a ausência de suporte técnico e financeiro, a falta de articulação com os governos municipais e estaduais, e a carência de informações públicas sobre os planos da bacia. Essas dificuldades reforçam a necessidade urgente de um fortalecimento das estruturas de governança, em que a capacitação contínua dos membros dos comitês se torna essencial, para que cada integrante, seja usuário de recursos hídricos ou órgãos responsáveis pela condução de ações institucionais, compreendam as suas responsabilidades e desenvolvam competências para uma gestão eficaz dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas.

Além disso, a efetividade desses comitês depende da construção de canais de comunicação e de estratégias que incentivem a participação ativa da sociedade civil, uma vez que serão diretamente impactados pelas decisões adotadas no âmbito do colegiado. A orientação para a governança e a qualificação dos usuários para o processo de tomada de decisão é fundamental para que a gestão dos recursos hídricos seja promovida continuamente, especialmente, em contextos em que comunidades vulneráveis acabam por ser impactadas pela deficiência na gestão dos recursos hídricos.

Conforme o destacado no artigo científico, outro ponto relevante é a importância da interligação entre os diferentes níveis de governança e a criação de planos de ação concretos que envolvam a elaboração de diagnósticos e a definição de metas claras visando à preservação dos recursos hídricos.

A integração entre diversas políticas públicas, como ambientais, infraestrutura e de desenvolvimento regional, podem resultar em uma abordagem mais eficaz para enfrentar as complexidades e os conflitos emergentes nas bacias hidrográficas, especialmente em áreas de uso intensivo, como a geração de energia e a agricultura.

Por fim, os desafios indicados exigem não apenas a participação ativa dos membros dos Comitês da Bacia Hidrográfica, mas também a colaboração entre organizações governamentais e não governamentais, promovendo uma gestão cooperativa que vise à sustentabilidade hídrica para as gerações presentes e futuras, conduzindo à implementação de modelos de governança hídrica que sejam eficazes, dinâmicos, adaptáveis às mudanças e capazes de incorporar inovações tecnológicas que facilitem o monitoramento e a gestão dos recursos hídricos.

Referências

- BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. *Resolução ANA n.º 1.190 de 03 de outubro de 2016*. Aprova o Regulamento do Programa Nacional de Fortalecimento dos Comitês de Bacias Hidrográficas – PROCOMITÊS e dá outras providências. Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/resolucoes/ana/2016/1190-2016.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2024.
- BRASIL. Comitê de Bacia Hidrográfica de Serra da Mantiqueira. *Plano de Capacitação CBH-SM 2022/2023*. Disponível em: <https://sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents//CBH-SM/23244/plano-de-capacitac-a-o-cbh-sm-22-23.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2024.

- BRASIL. *Constituição da República Federativa do Brasil*. Brasília/DF: Senado Federal, 1988.
- BRASIL. Lei n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos e dá outras providências. In: *Diário Oficial da União*, Brasília, 9 de janeiro, 1997.
- BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH. *Resolução n.º 05, de 10 de abril de 2000*. Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%2005.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2024.
- DENNY, D. M. T.; GRANZIERA, M. L. M.; GONÇALVES, A. F. Comitês de bacia hidrográfica: governança e efetividade na gestão de recursos hídricos. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 9, n. 4, p. 227–247, 2020. Disponível em: https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/7955. Acesso em: 02, outubro, 2024.
- DICTORO, V. P.; HANAI, F. Y. A gestão da água: estudo sobre o comitê de bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul e a participação popular nessa bacia. *III Seminário Internacional Ruralidades, Trabalho e Meio Ambiente*. 2015, São Carlos - SP. Trabalhos completos do GT1 - Ruralidades e Meio Ambiente, 2015. V.1, p 1-12. Disponível em: <https://www.sustenta.ufscar.br/arquivos/trabalhos-publicados-e-eventos/dictoro-hanai-gestao-comite-bh.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2024.
- GRANZIERA, M. L. M. *Direito de águas: disciplina jurídica das águas doces*. 5. ed. Indaiatuba: Editora Foco, 2023.
- LIMA, A. J. R.; NERY, J. T. *Revisitando o conceito de bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão e a governança das águas*. 2017. Disponível em: <https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/1846>. Acesso em: 5 mar. 2024.
- NASCIMENTO, L. L.; POZZETTI, V. C. Gestão integrada de recursos hídricos transfronteiriços na Pan-amazônia. *Revista Culturas Jurídicas*, v. 5, n. 11, maio/ago. 2018. Disponível em: <https://periodicos.uff.br/culturasjuridicas/article/view/45066/28918>. Acesso em: 6 mar. 2024.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. *Declaração de Dublin sobre Água e Desenvolvimento Humano*. 1992. Dublin. Disponível em: <http://www.meioambiente.uerj.br/emrevista/documentos/dublin.htm>. Acesso em: 26 fev. 2024.
- ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E O DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO – OCDE. *Princípios da OCDE para a Governança da Água*. 2015. Disponível em: <https://www.oecd.org/cfe/regionaldevelopment/OECD-Principles-Water-portuguese.pdf>. Acesso em: 4 mar. 2024.
- PAGNOCCHESCHI, B. *Governabilidade e Governança das Águas no Brasil*. Instituto de Pesquisa Aplicada – IPEA, 2016. p. 175. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9270/1/Governabilidade.pdf>. Acesso em: 6 mar. 2024.

- PINTO-COELHO, R. M.; HAVENS, K. *Gestão de recursos hídricos em tempos de crise*. Porto Alegre: Artmed Editora, 2016.
- SILVA, A. C. M. Participação na gestão dos recursos hídricos como estratégia para uma regulação de interesse público: uma análise dos Comitês de Bacia Hidrográfica a partir da teoria processual administrativa da regulação. *Revista de Direito Setorial e Regulatório*, Brasília, v. 4, n. 2, p. 19-40, out. 2018.
- TRINDADE, L. L.; SCHEIBE, L. F. A gestão dos recursos hídricos a partir de uma análise das políticas públicas. *Revista Brasileira de Políticas Públicas*, Brasília, v. 4, n. 2, p. 98-116, 2014.
- TRINDADE, L. L.; SCHEIBE, L. F. Gestão das águas: limitações e contribuições na atuação dos comitês de bacias hidrográficas brasileiros. *Revista Ambiente & Sociedade*, São Paulo, v. 22, p. 1-20, 2019.
- TUNDISI, J. G. Governança da água. *Revista UFMG*, Belo Horizonte, v. 20, n. 2, p. 222-235, jul./dez. 2013. Disponível em: <file:///C:/Users/thiag/Downloads/2698-Texto%20do%20artigo-8958-9307-10-20160411.pdf>. Acesso em: 4 mar. 2024.

Utilização de indicadores para a gestão integrada: uma análise do plano estadual de recursos hídricos/AM e a legislação ambiental do município de Parintins/AM

Wallace de Farias Simas

Carlossandro Carvalho de Albuquerque

João D' Anuzio Menezes de Azevedo Filho

Introdução

Os municípios para o referido gerenciamento ambiental como foco aos recursos hídricos precisam desenvolver suas políticas públicas de acordo com peculiaridades administrativas e a compreensão de fatores diversos relacionados como as dimensões territoriais da bacia Amazônica, o crescimento populacional urbano, o aumento do desmatamento, a poluição de mananciais, o despejo inadequado de esgoto, produção excessiva de resíduos sólidos e diversos danos que afetam em diferentes níveis o uso e manejo da água.

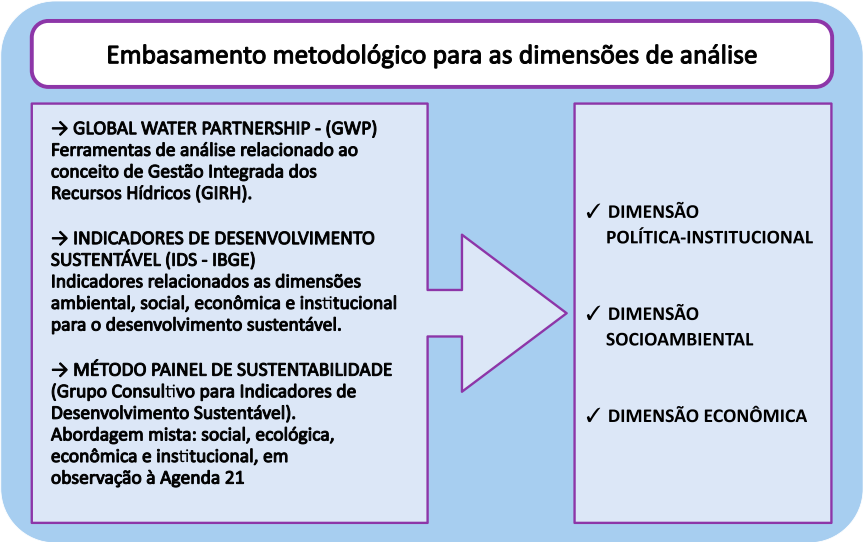
Deste modo, buscando a construção da gestão integrada com o Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH/AM) para a possibilidade de melhorias da eficiência do planejamento político-administrativo do município de Parintins por meio das principais legislações existentes em referência às políticas hídricas nacionais e estadual, políticas urbanas e de saneamento, para se identificar elementos de integração.

Sendo assim, desenvolveu-se um conjunto de dimensões de indicadores para a análise da gestão integrada dos recursos hídricos a nível municipal para Parintins, pois com a aprovação do PERH/AM em 2020, tornou-se urgente e necessário a criação de um planejamento integrado aos recursos hídricos, para que estes sejam vistos como instrumento do desenvolvimento municipal no que tange o saneamento básico, proteção dos mananciais, resíduos sólidos e saúde pública, onde estão inseridas as atenções para o serviço ligado às redes de águas pluviais, rede de abastecimento hídrico e esgotamento sanitário.

Após fundamentação teórica e pesquisa bibliográfica, foi desenvolvido um modelo com três dimensões de indicadores (Política-institucional;

socioambiental; econômica) conforme apresentado na figura 1, por representarem a análise mais satisfatório do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Amazonas e a integração do planejamento municipal visualizada na legislação ambiental do município de Parintins inseridos na Lei Orgânica (Lei municipal nº 01/2004) e leis complementares, no caso o Plano Diretor do Município (Lei municipal nº 375/2006) e o Código Ambiental (Lei municipal nº 387/2006).

Figura 1 - Embasamento teórico para dimensão de indicadores



Fonte: Organizado por Simas (2022)

O desenvolvimento da ferramenta de indicadores terá por base a definição de 6 (seis) etapas de análise (ver figura 2):

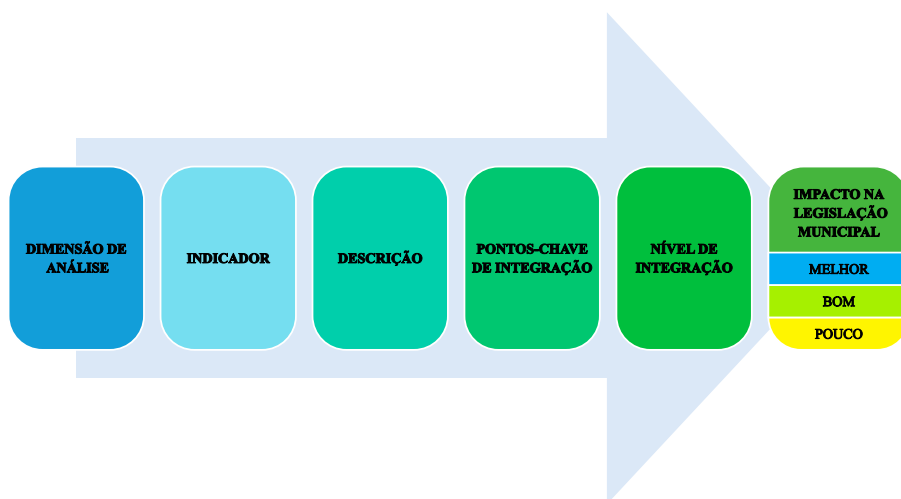
1. Dimensão de análise: política-institucional, socioambiental e econômica. Compreendendo o nível macro nas abordagens voltadas para a gestão dos recursos hídricos. A organização das três dimensões representa a abordagem integrada em solucionar desafios de governança, relacionados a questões políticas, institucionais, sociais, ambientais e econômicas. O que se pode verificar como estruturas fundamentais da gestão hídrica.

2. Indicador: no nível micro com seleção de critérios com características intrínsecas à cada dimensão. Com abordagem de informações de cunho qualitativo e quantitativo. Como diz Miranda (2012), sendo capaz de permitir dizer aos usuários algo que eles precisam saber, sendo inevitavelmente normativos e políticos, éticos na escolha do que vai ser quantificado, a forma de análise e qual será a condição desejável.
3. Descrição: características para definição de aspectos sociais, políticos, ecológicos, institucionais e econômicos inerentes a cada indicador, ressaltando a importância para a gestão integrada dos recursos hídricos. Miranda (2012) lembra que as características dos indicadores em nível local e regional são elaboradas com base na literatura especializada e selecionados os que mais se aplicam a realidade local.
4. Pontos-chave para os indicadores de integração: referência para a possibilidade de integração do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Amazonas (PERH/AM) e a Legislação Ambiental do Município de Parintins, utilizando por base as dimensões que será definido por meio de abordagem das relações objetivas existentes entre o PERH e a legislação ambiental existente em Parintins, correlacionando as temáticas principais tratadas por Carvalho; Curi (2016), Mendes; Guandique (2020), Oliveira; Lima, Sousa (2017). Miranda (2012) França (2019) Lima; Abrucio; Silva, (2014) e OGA-Brasil (2019), servindo como balizadoras para as discussões estruturantes, não sendo propriamente seguidas a rigor, mas sim como suporte nas arguições sobre o grau de desenvolvimento atual, com aspectos que podem ter diferentes escalas de qualificação.
5. Nível de integração: descrição a partir dos pontos-chave dos indicadores de integração será relacionado ao nível de planejamento e gestão, de acordo com o conceito de integração das dimensões, partindo do nível macro (Plano Estadual de Recursos Hídricos) e relacionado ao nível micro (legislação ambiental municipal). Com a perspectiva da possibilidade de avanço a partir do desenvolvimento do planejamento da gestão hídrica do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Amazonas. Com relação à legislação selecionada do município de Parintins, pode-se favorecer três

níveis de impacto de integração (melhor, bom e pouco) no desenvolvimento das políticas públicas.

- Melhor – apresenta forte impacto para a integração com a legislação municipal selecionada. A participação do município é fator importante.
 - Bom – apresenta razoável impacto de integração com a legislação municipal selecionada. A participação do município é fator parcial ou facultativo.
 - Pouco – apresenta fraco impacto de integração com a legislação municipal selecionada. A participação municipal é fator secundário.
6. Impacto na legislação municipal: diante do que foi analisado, é estabelecido para as legislações de Parintins selecionadas, o nível de impacto para o planejamento administrativo, ambiental, social e econômico. De acordo com cada dimensão de indicador, é marcado como é definido os níveis de impacto de integração visualizado por meio das cores. Esta etapa corrobora a 5ª etapa anterior.

Figura 2 - Pontos-chave para a definição das dimensões de integração da gestão de recursos hídricos



Fonte: Organizado por Simas (2022)

Utilização dos indicadores de gestão integrada

A estruturação do modelo utiliza 16 indicadores para a verificação e análise de pontos determinantes para a gestão integrada dos recursos hídricos, com a estrutura convencional adotada abordando dimensões para o desenvolvimento da gestão da água por meio da implementação do Plano Estadual de Recursos Hídricos e questões veiculadas a legislação ambiental de Parintins. Nos quadros 1, 2 e 3 é apresentado a conceituação dos pontos-chave para os diferentes indicadores propostos, divididos nas três dimensões político-institucional, socioambiental e econômica.

Esta análise tentou superar a dificuldade fragmentada desse processo, já que não cabe ao município fazer gestão hídrica, fazendo a união de várias temáticas identificadas nas dimensões dos indicadores ao que é papel do ente estadual que podem causar impacto municipal, que serão apresentados a seguir.

Figura 3 - Indicadores para a gestão integrada dos recursos hídricos

DIMENSÃO DE ANÁLISE	INDICADORES
1. Política institucional	1.1 Implementação para uso e conservação dos recursos hídricos 1.2 Órgãos reguladores e Agências de fiscalização 1.3 Órgãos de monitoramento e avaliação 1.4 Rede de coleta e compartilhamento de informações
2. Socioambiental	2.1 Demanda e oferta de água 2.2 Organizações da Sociedade civil 2.3 Comitês de Bacias Hidrográficas 2.4 Canais de comunicação 2.5 Qualidade das águas 2.6 Áreas protegidas 2.7 Saneamento básico 2.8 Capacitação de profissionais da água 2.9 Avaliação social
3. Econômica	3.1 Estrutura de investimento e financiamento 3.2 Geração de receitas básicas 3.3 Avaliação econômica

Fonte: Organizado por Simas (2022)

Quadro 1 - Definição das dimensões de integração política-institucional, socioambiental e econômica da gestão dos recursos hídricos

DIMENSÃO DE ANÁLISE	INDICADOR	CARACTERÍSTICA DESCRITIVA DO INDICADOR	PONTOS-CHAVE PARA OS INDICADORES DE INTEGRAÇÃO	NÍVEL DE INTEGRAÇÃO	IMPACTO NA LEGISLAÇÃO MUNICIPAL		
1. Dimensão Política - Institucional	1.1 Implementação para uso e conservação dos recursos hídricos.	O desenvolvimento de metas e programas sobre uso, proteção e conservação da água, para o gerenciamento baseado nas políticas dos recursos hídricos que levem em conta diversos pontos interconectados à legislação ambiental municipal . Compreensão da aplicação dos objetivos presente no do PERH/AM vinculados à legislação ambiental de Parintins. Observação do desenvolvimento da implementação dos programas do PERH/AM.	Participação da Secretaria Municipal de Meio Ambiente no colegiado de implementação. Estímulo a projetos de parceria entre o Estado e municípios. Ampliação do desenvolvimento social e econômico pelas diretrizes planejadas.	Avanço no planejamento da implementação. Com bom impacto na integração.	BOM		
					LEI ORGÂNICA	CÓDIGO AMBIENTAL	PLANO DIRETOR

	1.2 Órgãos reguladores e Agências de fiscalização.	Os órgãos reguladores e de fiscalização têm um papel importante para garantir o gerenciamento adequado com práticas que devem seguir as determinações da gestão dos recursos hídricos estadual e nacional. Os órgãos de regulação e fiscalização devem respeitar as partes interessadas locais para desenvolver e implementar políticas alinhadas às necessidades sociais e econômicas dos vários usuários.	Articulação de pontos comuns entre os órgãos e agências para o alcance de metas. Aumento de representantes de usuários e da sociedade civil nos grupos de trabalho dos órgãos gestores e executores. Participação de instituições públicas com finalidade de gestão hídrica. Viabilizar a fiscalização dos serviços ambientais.	Avanços na estruturação da regulação e fiscalização. Com fraco impacto de integração.	POUCO		
					LEI ORGÂNICA	CÓDIGO AMBIENTAL	PLANO DIRETOR

	1.3 Órgãos de monitoramento e avaliação	Destinam-se a dar uma visão holística dos recursos hídricos do Estado do Amazonas com a capacidade humana, técnica e financeira responsáveis pelos fatores socioeconômicos e físicos que influenciam os recursos hídricos.	Dispor de relatório de acompanhamento. Apresentar a periodicidade do relatório. Definir os responsáveis pelo monitoramento. Avaliação das atividades ambientais no município.	Avanço significativo no monitoramento e avaliação, necessidade de melhorias nas ações. Com bom impacto de integração	BOM		
					LEI ORGÂNICA	CÓDIGO AMBIENTAL	PLANO DIRETOR
	1.4 Rede de coleta e compartilhamento de informações.	Capacidade para coleta, sistematização de informações e transferência técnica do conhecimento produzido sobre os recursos hídricos a todos os usuários e sociedade em geral.	Abrangência da coleta das informações. Compartilhamento das informações entre os usuários e sociedade civil. Dispor de regulamento para a coleta e compartilhamento de informações ambientais municipais.	Avanços na coleta e compartilhamento, necessidade de melhorias. Com pouco impacto de integração.	POUCO		
					LEI ORGÂNICA	CÓDIGO AMBIENTAL	PLANO DIRETOR

2. Dimensão Socioambiental	2.1 Demanda e oferta de água.	Avaliação da demanda de água para os diversos usos em qualidade e quantidade compatível com os padrões estabelecidos, de forma a integrar considerações com a segurança hídrica.	Oferecer suporte técnico-científico adequado à demanda e oferta de água. Conhecer as demandas por água nos municípios. Viabilizar a articulação municipal para o suporte às ações de enquadramento.	Avanços na implementação da demanda e oferta da água. Com bom impacto de integração.	BOM		
					LEI ORGÂNICA	CÓDIGO AMBIENTAL	PLANO DIRETOR
	2.2 Organizações da Sociedade civil	Proposta de governança interligada à participação da sociedade civil para a gestão dos recursos hídricos.	Estratégias de mobilização e ampliação para a participação sociedade civil. Participação do Conselho Municipal de Meio Ambiente.	Avanços na implementação das organizações da sociedade civil. Com melhor impacto na integração.	MELHOR		
					LEI ORGÂNICA	CÓDIGO AMBIENTAL	PLANO DIRETOR

	2.3 Comitês de Bacias Hidrográficas	Organização e participação de Comitês de Bacias Hidrográficas para o gerenciamento dos recursos hídricos na escala da bacia.	Identificação de colegiado que discuta as demandas socioambientais.	Avanços na implementação da importância dos comitês. Com bom impacto na integração.	BOM		
					LEI ORGÂNICA	CÓDIGO AMBIENTAL	PLANO DIRETOR
	2.4 Canais de comunicação	Coordenação e cooperação para facilitar o intercâmbio das informações utilizando uma variedade de canais interativos de comunicação para a gestão integrada dos recursos hídricos.	Produção de material gráfico e educativo. Campanhas de sensibilização. Participações nas deliberações.	Avanços na implementação dos canais de comunicação. Com melhor impacto na integração.	MELHOR		
					LEI ORGÂNICA	CÓDIGO AMBIENTAL	PLANO DIRETOR
	2.5 Qualidade das águas	O Conselho Nacional do Meio Ambiente estabelece cinco classes de água doce, cada uma com critérios de qualidade de água apropriados ao uso predominante. Análise da qualidade da água superficial, subterrânea e urbana pela Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO e pelo Índice de Qualidade da Água - IQA.	Monitoramento da qualidade da água. Monitoramento do saneamento básico.	Avanços na implementação do monitoramento. Com melhor impacto na integração.	MELHOR		
					LEI ORGÂNICA	CÓDIGO AMBIENTAL	PLANO DIRETOR

	2.6 Áreas protegidas	Planejamento integrado às Unidades de Conservação compreendendo como espaços territoriais que dispõe de recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituídos pelo poder público.	Recuperação de áreas de preservação permanente rurais e urbanas. Ações de proteção dos mananciais. Fontes de poluição hídrica.	Avanços no planejamento em relação às áreas protegidas. Com melhor impacto na integração.	MELHOR		
					LEI ORGÂNICA	CÓDIGO AMBIENTAL	PLANO DIRETOR
	2.7 Saneamento básico	Informações saneamento, acesso ao abastecimento de água, esgotamento sanitário e resíduos sólidos para assegurar boas condições de saúde e higiene, importante para a caracterização da qualidade de vida da população e para o acompanhamento de políticas públicas de saneamento ambiental. Serviço fundamental para a saúde da população, contribuindo para reduzir o risco e a frequência de doenças associadas aos esgotos conforme as diretrizes nacionais para o saneamento básico.	Políticas municipais de saneamento básico. Subsídios aos municípios para o saneamento básico.	Avanços na implementação do planejamento em relação à importância do saneamento básico. Com melhor impacto de integração.	MELHOR		
					LEI ORGÂNICA	CÓDIGO AMBIENTAL	PLANO DIRETOR

	2.8 Capacitação de profissionais da água	Melhoria da capacitação institucional e técnica-científica como estratégia para a governança efetiva em processo a longo prazo.	Implementação de projetos e ações de capacitação. Incentivo à formação profissional. Treinamento de profissionais dos diferentes setores.	Avanços na compreensão da implementação de capacitação. Com bom impacto na integração.	BOM		
					LEI ORGÂNICA	CÓDIGO AMBIENTAL	PLANO DIRETOR
	2.9 Avaliação social	Análise dos impactos sociais direcionados às partes interessadas referentes à gestão da água, entendendo as necessidades, causas, condições e consequências na vida humana. Identificação dos interessados que podem impactar ou serem impactadas pelos resultados de uma decisão da gestão da água por meio de uma análise sistemática dos impactos sociais.	Articulação para a participação social. Identificar processos descentralizados e participativos. Estratégias de compreensão social.	Avanços na articulação em relação à avaliação social. Com pouco impacto na integração.	POUCO		
					LEI ORGÂNICA	CÓDIGO AMBIENTAL	PLANO DIRETOR

3. Dimensão econômica	3.1 Estrutura de investimento e financiamento	Investimentos a curto e a longo prazo que sustentem a infraestrutura hídrica definindo as formas e fontes de financiamento de acordo com o planejamento eficiente da gestão.	Proposições de planejamento financeiro. Existência de fundo de investimento. Vinculação do financiamento com a melhoria ambiental.	Avanços na estruturação de investimentos e financiamento. Com bom impacto na integração.	BOM		
					LEI ORGÂNICA	CÓDIGO AMBIENTAL	PLANO DIRETOR
	3.2 Geração de receitas básicas	Receitas e subsídios financeiros previstos por normatização para dar suporte econômico e científico visando o desenvolvimento de metas, objetivos e pesquisas necessários ao gerenciamento hídrico.	Gestão financeira dos recursos disponíveis. Formação das fontes de recursos. Receita padronizada.	Avanços na implementação de geração de receitas. Com pouco impacto na integração.	POUCO		
					LEI ORGÂNICA	CÓDIGO AMBIENTAL	PLANO DIRETOR

	3.3 Avaliação econômica	A avaliação econômica é uma ferramenta que calcula os custos potenciais e atribui os benefícios previstos. Visando à eficácia para atingir determinados objetivos, e a escolha do projeto com a maior proporção de benefícios. Compreensão clara dos impactos diretos e indiretos, fatores externos dos projetos propostos, incluindo custos, benefícios ambientais, bem como no contexto da integridade e anticorrupção.	Mecanismos regulatórios do sistema econômico. Instrumentos de avaliação do planejamento econômico. Transparência e prestação de contas das ações sobre recursos hídricos.	Avanço significativo na avaliação econômica, com necessidade de melhorias. Com pouco impacto na integração.	POUCO		
					LEI ORGÂNICA	CÓDIGO AMBIENTAL	PLANO DIRETOR

Fonte: Organizado por Simas (2022)

Considerações finais

Para facilitar a coordenação e cooperação das ações institucionalizadas pelo PERH/AM e a realidade do planejamento ambiental municipal, a ferramenta de indicadores considera que é preciso refletir sobre a adequação das informações, o funcionamento da aplicação para solucionar os problemas encontrados, o preparo técnico dos profissionais envolvidos em desempenhar as tarefas estabelecidas, disponibilidade limitada de fundos, bem como interesse político. Pontos observados na esfera municipal como essenciais para eficiência, precisando de melhoramento imediato e equidade das ações entre todas as esferas administrativas.

Nas dimensões de análise selecionadas, pode-se observar que é vantajoso a integração das ações entre a institucionalização no PERH/AM e atualização das legislações municipais com estruturas ambientais, articulando a gestão do sistema de recursos hídricos com competências locais, visando o planejamento recíproco dos planos, programas, projeto e ações que podem afetar o gerenciamento dos dois sistemas (Estado e Município), considerando a visão sistêmica de sustentabilidade, capaz de dar suporte metodológico prático às ações de governança dos recursos hídricos no Estado do Amazonas.

E compreender que o município de Parintins, em virtude de sua estrutura administrativa e base legal, possui a responsabilidade de pôr em prática as suas competências próprias baseadas nas disposições legais sobre a atuação ambiental que refletem em diversos aspectos da vivência da cidade, comunidades ribeirinhas, terra firme e várzea como moradia, transporte, comércio, saneamento, abastecimento de água, produção de resíduos sólidos, saúde, lazer e outros. Tendo a necessidade de compor arranjos jurídicos, econômicos e ambientais em conjunto com esferas administrativas superiores, que resultem diretamente em melhorias municipais.

O entendimento de que o Plano Estadual de Recursos Hídricos é um instrumento que oportuniza a consolidação o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e que de certo modo, é fundamental para o planejamento eficiente em consonância com o desenvolvimento ambiental, econômico e social do estado do Amazonas.

Assim, a gestão hídrica articulada entre as várias esferas administrativas e institucionais, enfatizando a participação democrática e descentralizada, verificou-se que a melhor maneira de implementar o gerenciamento eficiente das águas é pela ampliação do alcance do que é planejado em práticas locais, dentro das políticas públicas setoriais municipais.

Referências

- AMAZONAS. *Lei nº 3.167*. Política Estadual de Recursos Hídricos. 2007. Disponível em: <http://meioambiente.am.gov.br/legislacao-2/>. Acesso em: 20 jan. 2021.
- AMAZONAS. *Plano estadual de recursos hídricos do Estado do Amazonas*. PERH/AM; resumo executivo. Secretaria do Meio Ambiente. Manaus, AM, 2020. Disponível em: <http://meioambiente.am.gov.br/plano-estadual-de-recursos-hidricos/>. Acesso em: 20 jan. 2021.
- CARVALHO, J. R. M.; CURI, W. F. Sistema de indicadores para gestão de recursos hídricos em municípios: uma abordagem através dos métodos multicritério e multidecisor. *Revista Brasileira De Gestão E Desenvolvimento Regional*, v. 12, n. 2, 2016.
- FRANÇA, F. H. V. *Indicadores de desempenho e recursos hídricos*: proposta de um índice multidimensional para avaliação da implementação de planos de recursos hídricos. 2019.
- GWP. *Global Water Partnership*. ToolBox IWRM. 2020. Disponível em: https://www.gwp.org/en/learn/iwrn-toolbox/About_IWRM_ToolBox/. Acesso em: 10 fev. 2021.
- IBGE. *Indicadores de desenvolvimento sustentável*: Brasil – 2015. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.
- IBGE. *Panorama demográfico do município de Parintins*. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/parintins/panorama>. 2020. Acesso em: 10 jan. 2021.
- LIMA, Â. J. R.; ABRUCIO, F. L.; SILVA, F. C. B. *Governança dos recursos hídricos*: proposta de indicador para acompanhar sua implementação. São Paulo: WWF-Brasil: FGV, 2014. p. 105-122.
- MENDES, J. J.; GUANDIQUE, M. E. G. Índices de gestão municipal dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Munim–MA. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 6, p. 36907-36923, 2020.
- MIRANDA, G. M. *Indicadores do potencial de gestão municipal de recursos hídricos*. 2012. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista.
- OLIVEIRA, R. C. M.; LIMA, P. V. P. S.; SOUSA, R. P. Gestão ambiental e gestão dos recursos hídricos no contexto do uso e ocupação do solo nos municípios. *Gestão & Regionalidade*, v. 33, n. 97, p. 48-64, 2017.
- PARINTINS. *Lei nº 375/2006*. Plano Diretor Municipal. Prefeitura Municipal de Parintins. 2006.
- PARINTINS. *Lei nº 001/2004*. Lei Orgânica do Município de Parintins. Câmara Municipal de Vereadores. 2004.
- PARINTINS. *Lei nº 387/2006*. Código Ambiental do Município de Parintins. Prefeitura Municipal de Parintins. 2006.

Sobre os autores

Alice Soares Picanço. Possui graduação em Licenciatura Plena em Geografia pela Universidade do Estado do Amazonas (2010), Especialização em Turismo e Desenvolvimento Local pela Universidade do Estado do Amazonas (2012), Pós-Graduação em Gestão Ambiental pela Faculdade Kurios (2015), Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos Prof. Água pela Universidade do Estado do Amazonas e Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. E-mail: asp.mgr22@uea.edu.br.

Angela Maria Imakawa. Possui graduação em Ecologia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (1988), mestrado em Ciências Biológicas (Botânica) pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (1996) e doutorado em Agricultura e Biologia Ambiental - The University of Tokyo (2002). Tem experiência na área de Botânica, com ênfase em Fisiologia Vegetal, atuando principalmente nos seguintes temas: ecofisiologia vegetal, ecologia de sementes florestais, Amazônia, etileno, propileno, cultura de tecidos vegetais, regeneração florestal. Atualmente, trabalha no Laboratório de Propagação de Plantas e Recuperação de Áreas Degradadas, na Escola Superior de Tecnologia, Universidade do Estado do Amazonas. E-mail: aimakawa@uea.edu.br.

Angélica Rodrigues Rocha. Engenheira Ambiental, formada pela Uninorte/Laureate International Universities em 2017. Ela possui mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos pela Universidade do Estado do Amazonas (2021) e acumula 13 anos de experiência em Geotecnologias. Técnica em Geodésia e Cartografia pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (2011), Angélica é especialista em Geoprocessamento pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (2022). Atualmente, está cursando uma Pós-Graduação Lato Sensu em Docência na Educação Profissional e Tecnológica no Instituto Federal de Minas Gerais. Entre suas principais áreas de interesse estão Geotecnologias, Recursos Hídricos e a Democratização do Conhecimento sobre Sensoriamento Remoto e Mudanças Climáticas. E-mail: angelica.rocha@outlook.com.

Camila Fuziel Silva. Mestre pelo Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProÁgua.; Graduada em Licenciatura em Geografia pela Universidade do Estado do Amazonas (UEA) e em Tecnologia e Gestão Ambiental pela Faculdade Salesiana Dom Bosco (FSDB). Possui formação técnica em Meio Ambiente pelo Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM) e em Segurança do Trabalho pela Fundação Centro de Análise, Pesquisa e Inovação Tecnológica (FUCAPI). E-mail: camilafuzielsilva@gmail.com.

Carlossandro Carvalho de Albuquerque. Doutor em Geografia pela Universidade Federal do Ceará (2012) e possui ampla experiência nas áreas de recursos hídricos, meio ambiente e sustentabilidade. Atualmente, atua como Professor Associado na Universidade do Estado do Amazonas (UEA), no curso de Geografia e no Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. Sua expertise abrange a análise geoecológica de paisagens, gestão ambiental e o desenvolvimento de tecnologias aplicadas ao monitoramento da qualidade da água, com foco na sustentabilidade e inovação tecnológica. No campo da pesquisa, coordenou e participou de projetos como a “Plataforma de Coleta de Dados para Monitoramento da Qualidade da Água Superficial do Rio Amazonas”, um sistema de sensores que envia dados de parâmetros da água em tempo real. Outros projetos de destaque incluem estudos sobre a dinâmica ambiental de bacias hidrográficas urbanas e análises de impactos ambientais em áreas protegidas. E-mail: cscarvalho@uea.edu.br. / carlossandro.albuquerque@gmail.com.

Dênis Aguiro do Nascimento. É Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos pela Universidade do Estado do Amazonas. Tem várias especializações na área Ambiental e Climatológica. Possui graduação em Agropecuária pelo Centro Universitário da Grande Dourados. É técnico do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Atua em estudos ambientais, gestão dos recursos hídricos e hidrologia de pequenas bacias hidrográficas. E-mail: denisaguiro@yahoo.com.br.

Eriverton Resende Monte. Pós-Doutor em Recursos Hídricos pelo ProfÁgua/Universidade do Estado do Amazonas (UEA). Doutor em Direito Constitucional pela Universidade de Fortaleza (UNIFOR). Mestre em

Ciência Jurídica pela Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI). Especialista em Docência do Ensino Superior pela Universidade Castelo Branco (UCB) e em Direito Penal e Processual Penal pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Graduado em Direito pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Procurador Jurídico da UEA. Professor Colaborador do Programa de Pós-Graduação em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (ProfÁgua/UEA). Atua no ensino de graduação e pós-graduação, com experiência em pesquisa nas áreas de gestão e governança dos recursos hídricos, com ênfase na regulação, gestão institucional e instrumentos da política de recursos hídricos. E-mail: ermonte@uea.edu.br.

Fabio Leite Dias. Tecnólogo em Construção Civil (IFAM), Engenheiro Civil (Ulbra-Manaus), Especialista em Meio Ambiente e Sustentabilidade (Fundação Getúlio Vargas), curso de formação em Hidrologia (IPH-UFRGS), Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (Universidade do Estado do Amazonas-UEA). E-mail: fabioleitedias7@gmail.com.

Fernanda Siza Amaral. Formada em Licenciatura em Ciências Biológicas pela Universidade do Estado do Amazonas (2023), Mestre em Botânica pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (2025). Atua principalmente nos seguintes temas: tecnologia de sementes, morfologia de propágulos, produção de mudas. E-mail: amaralfsiza@gmail.com.

Flávio Wachholz. Professor Associado do Curso de Geografia e do Mestrado Profissionalizante de Gestão e Regulação dos Recursos Hídricos da Universidade do Estado do Amazonas. Pós-doutor em Geografia pela Universidade Federal de Goiás (2013). Doutor em Geografia pela Universidade Estadual Paulista (2011). Graduado e Mestre em Geografia pela Universidade Federal de Santa Maria, em 2004 e 2007, respectivamente. E-mail: fwachholz@uea.edu.br.

Francielen Alves Pereira. Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Zoologia (PPGZOOL) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Mestre Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (ProfÁgua) pela Universidade do Estado do Amazonas (UEA), Polo Parintins/AM (2022). Graduada em Ciências Biológicas pela Universidade do Estado do Amazonas (UEA), Polo Parintins/AM (2017). E-mail: francielenalvesp@gmail.com.

Gabriellen Yasmine de Oliveira Pedreno. Licenciada em Ciências Biológicas pela Universidade do Estado do Amazonas - UEA (2017), Especialista em Biologia e Química - FACIBRA/EDUCANORTE (2018) e Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - UEA/ProfÁgua (2023). Tem experiência na área de cultivo, análise nutricional de cogumelos comestíveis, análise físico-química da qualidade da água e dinâmica fluvial, da variação do regime hidrológico. Atualmente, é professora concursada da Prefeitura Municipal de Barreirinha-AM e atua como Técnica Educacional no Setor Pedagógico da Secretaria Municipal de Educação de Barreirinha-AM. E-mail: gydop.mgr21@uea.edu.br

Ieda Hortêncio Batista. Graduada em Ciências Biológicas, com Mestrado em Ciências do Ambiente e Doutorado em Biotecnologia pela Universidade Federal do Amazonas (2009). Possui, ainda, Pós-Doutorado em Educação Ambiental pela Universidade Federal do Ceará (2010). Atualmente, é Professora Associada da Universidade do Estado do Amazonas (UEA) e docente do Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. Sua trajetória acadêmica e profissional é marcada por sua atuação em microbiologia ambiental, biotecnologia e recursos hídricos, com ênfase em biorremediação, qualidade da água e sustentabilidade. E-mail: ibatista@uea.edu.br.

Jamerson Souza da Costa. Biólogo (2010) pela Universidade do Estado da Bahia (UNEB), Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (2020) pela Universidade do Estado do Amazonas (UEA), Doutorando em Botânica pela Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), tendo como foco de pesquisa avaliar o efeito de múltiplos fatores ambientais e antropogênicos e das mudanças climáticas sobre a biodiversidade e o funcionamento ecossistêmico de florestas Neotropicais, testando teorias e hipóteses em ecologia. Desenvolve pesquisas nas áreas de Ecologia de Ecossistemas, Ecologia de Comunidades, Ecologia Funcional, Fenologia Vegetal, Ecologia da Polinização, Recursos Hídricos e Conservação. E-mail: jamersonjsc@yahoo.com.br.

Joecila Santos da Silva. Doutora em Ciências pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (Rio de Janeiro-Brasil) e pela *Université Toulouse 3 - Paul Sabatier* (Toulouse-França). Professora Associada da Universidade do Estado do Amazonas (UEA), responsável pelo Laboratório de Recursos Hídricos e

Altimetria Espacial da Amazônia (RHASA). Suas atividades estão voltadas para as áreas de Hidrologia e Geociências com aplicação da Altimetria Espacial em hidrossistemas continentais, principalmente na bacia Amazônica. E-mail: joecila@yahoo.fr./ jsdsilva@uea.edu.br.

João D' Anuzio Menezes Azevedo Filho. Doutorado em Geografia Humana pela Universidade de São Paulo (2013). Pós-doutorado em Geografia pela Universidade Federal do Ceará (2022). Professor Associado da Universidade do Estado do Amazonas, Centro de Estudos Superiores de Parintins. Professor permanente do Mestrado Profissional em Gestão e Regulação dos Recursos Hídricos (ProfÁgua/UEA). E-mail: jdazevedo@uea.edu.br.

José Camilo Ramos de Souza. Possui graduação em Licenciatura Plena em Geografia pela Universidade Federal do Amazonas (1995), Bacharelado em Geografia pela Universidade Federal do Amazonas (1998), Especialização em Gestão em Etnodesenvolvimento pela Universidade Federal do Amazonas (2002-2003), Mestrado em Educação pela Universidade Federal do Amazonas - FACHED (2004-2006) e doutorado em Ciências obtido no Programa de Geografia (Geografia Física). Tem experiência na área de Geografia e Educação. Estudo sobre imigrantes japoneses na Amazônia, ribeirinhos da Amazônia e pensamento geográfico da Amazônia. Estudo sobre Gestão das águas e Governança e regulação de recursos hídricos. E-mail: jcamilodesouza@gmail.com.

Luciane Farias Ribas. Doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Amazonas Graduação em Engenharia Civil. Desenvolve pesquisas na área de Engenharia civil, com ênfase em estruturas e materiais de construção, principalmente na pesquisa dos seguintes temas: Beneficiamento e reaproveitamento de resíduos de construções e demolições, argamassas, concreto de alto desempenho, concreto autoadensável, concreto leve, concreto reforçado com fibras e técnicas de microanálise de materiais. Atua, também, em trabalhos na área de gestão na construção civil, Modelagem da informação na Construção Civil (Building Information Modeling - BIM) e Construção Enxuta (Lean Construction). Atualmente docente da Universidade do Estado do Amazonas – UEA. E-mail: lribas@uea.edu.br.

Maria Astrid Rocha Liberato. Doutora em Ciências Biológicas – Botânica, pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Professora Associada – nível B, da Universidade do Estado do Amazonas, atuando na graduação (Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas), e na Pós-graduação (Mestrado Profissional em Gestão e Regulação em Recursos Hídricos – ProfÁgua). Possui experiência em Ecofisiologia vegetal de espécies arbóreas em áreas úmidas. E-mail: astrid.liberato@gmail.com. / mliberato@uea.edu.br.

Maria da Glória Gonçalves de Melo. Doutorado em Agronomia Tropical pela Universidade Federal do Amazonas, Mestrado em Ciências Agrárias pela Universidade Federal do Amazonas e Graduada em Engenharia Florestal, Instituto de Tecnologia da Amazônia. Atualmente é Professora Associado-B da Universidade do Estado do Amazonas, UEA. Professora Permanente no Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, ProfÁgua, coordenadora do Laboratório de Propagação de Plantas e Recuperação de Áreas Degradadas, LABPRAD, da Escola Superior de Tecnologia, EST/UEA. Experiência na área de Recursos Florestais e Engenharia Florestal, com ênfase em Tecnologia de sementes, atuando principalmente nos seguintes temas: vegetação ripária, semente, morfologia e tecnologia de sementes e recuperação de áreas degradadas. Na Pós-Graduação atua na área Instrumentos da Política de Recursos Hídricos e Regulação e Governança de Recursos Hídricos. E-mail: gloriamelo@yahoo.com. / mgmelo@uea.edu.br.

Marta Regina Silva Pereira. Formada em Ciências Biológicas, Mestre e Doutora em Botânica, com estudos realizados no Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA) e na Universidade de Liège, na Bélgica. Especialização que abrange Filogenia, Ecologia e Taxonomia da família Calymperaceae da ordem Bryopsida. Atualmente, é professora na Universidade do Estado do Amazonas (UEA), onde leciona há mais de uma década. Tem expertise em Taxonomia e Florística de Angiospermas complementada pela vasta experiência em docência universitária, ministrando disciplinas como Botânica e Metodologia da Pesquisa nos cursos de Ciências Biológicas, Agroecologia e Gestão Ambiental. Atualmente, coordena um projeto inovador que investiga o potencial biotecnológico de *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb., explorando suas aplicações como alternativa ao mercúrio. Além disso, é professora visitante no programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e

pós-doutoranda no programa de Pós-graduação em Biotecnologia, ambos na Universidade do Estado do Amazonas. E-mail: mrpereira@uea.edu.br.

Matheus da Rocha Uchôa de Paula. Biólogo formado pela UEA (2020), com três PIBICs no INPA, onde recebeu menção honrosa por pesquisa com *Dipteryx odorata*. Mestre pelo ProfÁgua/UNESP-UEA (2024), focado em macrófitas aquáticas flutuantes. Atuou como analista técnico na SEMA-AM e, atualmente, é doutorando no PPG em Ciências de Florestas Tropicais do INPA. E-mail: mdrudp.mgr21@uea.edu.br.

Mateus Ferreira de Oliveira. Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais pela UFAM. Graduado em Engenharia Civil pela Universidade do Estado do Amazonas (UEA/EST). Atuou como pesquisador no Laboratório de Recursos Hídricos e Altimetria Espacial da Amazônia, voltado para o monitoramento de bacias hidrográficas via satélite, além de membro do projeto de extensão Conferência com os universitários: um olhar sobre o saneamento básico. Atuou ainda como pesquisador no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia na área de hidrogeologia e no Instituto Federal do Amazonas na confecção de concretos geopoliméricos.

Neliane de Sousa Alves. Bacharel em Geologia pela Universidade Federal do Amazonas - UFAM (1987), Mestre em Geologia pela Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG (1992) e Doutora em Geografia (Geografia Física) pela Universidade de São Paulo - USP (2013). Atualmente, é Professor Associado da Universidade do Estado do Amazonas - UEA e Vice-Coordenadora do Programa de Mestrado em Geografia - PPGeo. Professora do Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Geografia Física, atuando principalmente nos seguintes temas: Geomorfologia Fluvial, Riscos Geológicos, Geomorfológicos e Hidrológicos, Estudos de Bacias Hidrográficas. E-mail: nsalves@uea.edu.br.

Paulo Cabral Barboza Júnior. Graduado em Tecnologia da Construção Civil (UTAM), Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (UEA/ENS), com Pós-Graduação Lato Sensu em Engenharia Sanitária e Ambiental (FACUMINAS); Saneamento Ambiental (FACUMINAS); Saneamento

e Saúde Ambiental (UFG); Elaboração e Gerenciamento de Projetos para a Gestão Municipal de Recursos Hídricos (IFCE); e em Gestão Ambiental (UEA/EST). E-mail: paulocabraljr@hotmail.com.

Paulo Cezar Arce da Rocha. Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (UEA/2022), Especialista em Educação Ambiental e Sustentabilidade (UCAM/2021), Especialista em Ciências da Natureza, suas Tecnologias e o Mundo do Trabalho (UFPI/2023), Especialista em Biotecnologia (IPEMIG/2024), Especialista em Docência no Ensino Superior (IMES/2024), Graduado em Licenciatura de Ciências Biológicas (UEA/2020), Especialista em Gestão Financeira (UNISUL/2012), Especialista em Gestão e Planejamento Contábil e Tributário (UFAM/2007), Bacharel em Administração (UFMS/2000). E-mail: pcar26@gmail.com.

Silvane Mascarenhas de Almeida. Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Educação na Amazônia (PGEDA/UFAM). Egressa do Programa Institucional de Doutorado Sanduíche no Exterior (PDSE) na Universidade Aberta, Delegação Regional de Coimbra (Portugal)/2024. Desde 2016, Professora de Carreira da Universidade Federal do Amazonas, ICSEZ/Parintins, curso de Administração. Mestre Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (ProfÁgua) pela Universidade do Estado do Amazonas, Polo Parintins/AM. Graduada em Administração pela UFAM (1998). É especialista em Recursos Humanos /UFAM (2000). Possui MBA em Gestão para Excelência pela Faculdade de Tecnologia do SENAI Florianópolis - SC (2012). E-mail: admsilvane@ufam.edu.br.

Rafael Jovito Souza. Possui graduação em Química (Bacharelado e Licenciatura) pela Universidade Federal de Santa Catarina. Desenvolveu suas pesquisas de Mestrado e Doutorado em Química pela Universidade Federal de Santa Catarina (2005), atuando na área de Química Bio-Inorgânica, em síntese, caracterização de compostos e estudos de catálise homogênea. Atualmente realiza pesquisas em Ciências Ambientais, sendo professor adjunto da Universidade do Estado e do Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua. E-mail: rjovito@uea.edu.br.

Romilda Lima Pontes. Educadora, desde de 2012. Graduada em Licenciatura Plena em Geografia/UEA/2010, pós-graduada pelo Centro Universitário Barão de Mauá – ch 456 h/ 2017 e Mestra em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos– ProfÁgua /UEA/ 2024. E-mail: rlp.mgr19@uea.edu.br.

Thiago Flores dos Santos. Pós-Doutor em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos pela Universidade do Estado do Amazonas (UEA). Pós-Doutor em Direito pela Università del Salento (LECCE-Itália). Doutor em Direito Constitucional pela Universidade de Fortaleza (UNIFOR). Mestre em Direito Ambiental pela Universidade do Estado do Amazonas (UEA). Master of Business Administration - MBA em Perícia, Auditoria e Gestão Ambiental pelo Instituto de Pós-Graduação (IPOG). Pós-graduado em Direito Civil e Processual Civil pelo Centro Integrado de Ensino Superior do Amazonas (CIESA). Pós-graduado em Direito Penal e Processual Penal pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Exerce as suas atividades profissionais como professor no Programa de Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos da Universidade do Estado do Amazonas (UEA) e em cursos de Pós-Graduação. Autor da obra jurídica *Licenciamento ambiental: análise sob a ótica do Direito Constitucional Contemporâneo*, lançada pela Editora Lumen Juris e do Manual de Gestão e Fiscalização de Contratos Administrativos do Governo do Amazonas. E-mail: tfs.prh23@uea.edu.br.

Wallace de Farias Simas. Mestre em Gestão e Regulação dos Recursos Hídricos - ProfÁgua - Realizado na Universidade do Estado do Amazonas (UEA), no Centro de Estudos Superiores de Parintins (CESP). Atualmente, é professor da rede pública municipal e estadual na cidade de Parintins/AM. E-mail: wallsimas5@gmail.com.

título Gestão e regulação de recursos hídricos no estado do Amazonas: desafios e soluções para a sustentabilidade - v. I

organizadores Carlossandro Carvalho de Albuquerque
Eriverton Resende Monte
Ieda Hortêncio Batista
José Camilo Ramos de Souza
Maria Astrid Rocha Liberato
Maria da Glória Gonçalves de Melo
Marta Regina Silva Pereira
Thiago Flores dos Santos

tipografias Adobe Aldine
Articulat CF

número de páginas 339



para conhecer mais da *editora UEA* e de nossas publicações,
acesse o qr code abaixo



ueaeditora



O livro *Gestão e regulação de recursos hídricos no estado do Amazonas: desafios e soluções para a sustentabilidade* reúne os artigos e produtos técnicos elaborados por alunos e professores do Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos da Universidade do Estado do Amazonas (ProfÁgua/UEA).

Os artigos e produtos técnicos que constam neste livro oferecem uma análise detalhada de instrumentos e metodologias importantes para a gestão hídrica, a partir de múltiplas perspectivas, e são fruto do esforço coletivo com o objetivo de proporcionar ao leitor reflexões que possam contribuir para o avanço do conhecimento científico sobre a gestão sustentável da água.

Profa. Dra. Ieda Hortêncio Batista
Coordenadora do ProfÁgua/UEA