

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO
DE RECURSOS HÍDRICOS

MATHEUS DA ROCHA UCHÔA DE PAULA

MACRÓFITAS AQUÁTICAS COMO INDICADORAS DA QUALIDADE DA ÁGUA NO
IGARAPÉ DO MINDU EM MANAUS - AM

MANAUS

2023

MATHEUS DA ROCHA UCHÔA DE PAULA

MACRÓFITAS AQUÁTICAS COMO INDICADORAS DA QUALIDADE DA ÁGUA NO
IGARAPÉ DO MINDU EM MANAUS - AM

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação Stricto
Sensu em Gestão e Regulação de
Recursos Hídricos - Profª da
Universidade do Estado do Amazonas
(UEA) como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em
Gestão e Regulação de Recursos
Hídricos.

Área de Concentração: Instrumentos da Política de Recursos Hídricos.

Linha de Pesquisa: Metodologias para Implementação dos Instrumentos de Gestão
de Recursos Hídricos.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Astrid Rocha Liberato

Coorientadora: Profa. Dra. Maria Da Glória Gonçalves De Melo

MANAUS

2023

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade do Estado do Amazonas.

D278m DE PAULA, Matheus da Rocha Uchôa
m Macrófitas aquáticas como indicadoras da qualidade da
água no igarapé do Mindu em Manaus - AM / Matheus
da Rocha Uchôa DE PAULA. Manaus : [s.n], 2023.
63 f.: color.; 30 cm.

Dissertação - ProfÁgua - Mestrado Profissional em Rede
Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos -
Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2023.
Inclui bibliografia
Orientador: Profa. Dra. Maria Astrid Rocha Liberato
Coorientador: Profa. Dra. Maria da Glória Gonçalves de
Melo

1. Biodiversidade. 2. Eutrofização de corpos hídricos.
3. Plantas aquáticas. I. Profa. Dra. Maria Astrid Rocha
Liberato (Orient.). II. Profa. Dra. Maria da Glória Gonçalves
de Melo (Coorient.). III. Universidade do Estado do
Amazonas. IV. Macrófitas aquáticas como indicadoras da
qualidade da água no igarapé do Mindu em Manaus -
AM

MATHEUS DA ROCHA UCHÔA DE PAULA

MACRÓFITAS AQUÁTICAS COMO INDICADORAS DA QUALIDADE DA ÁGUA NO
IGARAPÉ DO MINDU EM MANAUS - AM

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
Stricto Sensu em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos -
ProfÁgua da Universidade do Estado do Amazonas (UEA)
como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre
em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Área de Concentração: Instrumentos da Política de Recursos Hídricos.

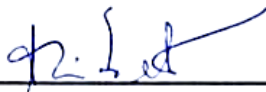
Linha de Pesquisa: Metodologias para Implementação dos Instrumentos de Gestão
de Recursos Hídricos.

Defendida em 04 de Março de 2023

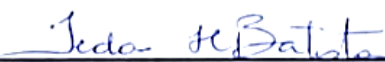
Orientadora: Profa. Dra. Maria Astrid Rocha Liberato

Coorientadora: Profa. Dra. Maria Da Glória Gonçalves De Melo

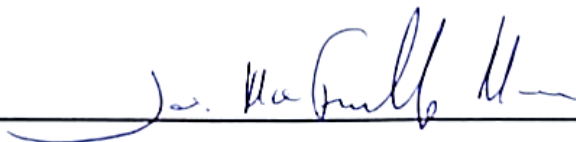
BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Maria Astrid Rocha Liberato
(Presidente e Orientadora)



Profa. Dra. Iêda Hortêncio Batista
(UEA)



Prof. Dr. Jair Max Fortunato Maia
(UEA)

MANAUS

2023

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a Deus, Pai criador e inteligência suprema do Universo, ao meu amado Cristo Jesus, aos meus irmãos da Espiritualidade Irmã e Amiga, a minha família, a todos os que me ajudaram durante essa linda jornada e a todos os amigos que ainda não conheci.

“Se vocês tiverem fé do tamanho de uma semente de mostarda, podem dizer a essa montanha: 'Vá daqui para lá', e ela irá. E nada será impossível para vocês.”

Jesus Cristo

Nota: Trecho de Mateus 17:20

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Pai Criador, meu Deus todo poderoso, que me possibilitou o dom da vida, a força, a coragem e a determinação necessárias para conclusão deste trabalho, bem como tudo em minha vida. Agradeço ao meu amado Mestre Jesus pela luz e presença em minha jornada terrena, bem como meus mentores espirituais que sempre me auxiliam a orar e vigiar meus pensamentos.

Agradeço a minha orientadora, Profa. Dra. Maria Astrid Liberato por me orientar de forma exemplar durante todas as etapas do meu mestrado, por apontar meus erros visando meu desenvolvimento acadêmico-profissional, por me instigar a desenvolver meu próprio conhecimento de forma autônoma e independente e por me possibilitar uma experiência positiva e engrandecedora no meio acadêmico-científico.

Agradeço a minha coorientadora, Profa. Dra. Maria da Glória Gonçalves de Melo, por me orientar e me auxiliar em todas as etapas do projeto, me ajudando a pensar fora da caixa, ter novas ideias e manter a calma para executá-las.

Agradeço a toda a equipe do Laboratório ILUM, do HUB de Tecnologia e Inovação da Escola Superior de Tecnologia - EST/UEA, a Profa. Dra. Ieda Hortêncio Batista, e aos meus amigos Beatriz Enóla Ribeiro da Silva e João Carlos de Queiroz Neto por todo o auxílio e treinamento durante as análises químicas do meu trabalho e por me possibilitarem realizá-las em suas instalações, bem como durante a fase de coletas, que não foi nada fácil.

Agradeço aos meus pais, Ilmar Altino Uchôa de Paula e Nilda França da Rocha Paula, por estimularem meus sonhos, por me incentivarem a nunca desistir, por cederem seu tempo, paciência e sanidade para que pudesse cumprir minhas obrigações e por sempre se esforçarem e em me ajudar nos momentos difíceis.

Agradeço a minha irmã, Andreza da Rocha Uchôa de Paula, por me ajudar psicologicamente durante minhas crises de estresse e ansiedade e por me ensinar que desistir não é uma opção.

A Universidade do Estado do Amazonas (UEA) por me fornecer uma educação de qualidade e por me mostrar que a área de atuação de um biólogo é muito mais ampla do que eu podia imaginar.

Por fim, agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE No. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento, bem como à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM pelo apoio financeiro em forma de bolsa.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Coordenadas dos pontos de amostragem.....	29
TABELA 2 - Classes de estado trófico e suas principais características.....	34
TABELA 3 - Resultado das análises físico-químicas utilizando a Sonda Hanna multiparâmetros e o turbidímetro nos nove pontos do igarapé do Mindu, durante a primeira coleta.....	37
TABELA 4 - Resultado das análises físico-químicas utilizando a Sonda Hanna multiparâmetros e o turbidímetro nos nove pontos do igarapé do Mindu, durante a segunda coleta.....	37
TABELA 5 - Resultado das análises químicas de fósforo total e nitrogênio total nas amostras da primeira coleta.....	39
TABELA 6 - Resultado das análises químicas de fósforo total e nitrogênio total nas amostras da segunda coleta.....	39
TABELA 7 - Resultado do Protocolo de Avaliação Rápida de Rios (PAR) aplicado na primeira coleta. A pontuação de 0 a 40 representa áreas consideradas “impactadas”, de 41 a 60 áreas “alteradas” e de 61 a 100 áreas.....	40
TABELA 8 - Resultado do Protocolo de Avaliação Rápida de Rios (PAR) aplicado na segunda coleta. A pontuação de 0 a 40 representa áreas consideradas “impactadas”, de 41 a 60 áreas “alteradas” e de 61 a 100 áreas.....	41
TABELA 9 - Resultado do cálculo Índice do Estado Trófico (IET) nas duas coletas. A pontuação =47 corresponde a um estado ultraoligotrófico, $47 < \text{IET} = 52$ oligotrófico, $52 < \text{IET} = 59$ mesotrófico, $59 < \text{IET} = 63$ eutrófico, $63 < \text{IET} = 67$ supereutrófico e > 67 Hipereutrófico.....	42

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Principais hábitos das macrófitas aquáticas: A) Anfíbias; B) Emergentes ou emersas; C) Com folhas flutuantes ou flutuantes fixas; D) Epífitas; E) Submersas livres; F) Submersas enraizadas ou fixas; G) Flutuantes livres.....	22
FIGURA 2 - Pontos de coleta no igarapé do Mindu.....	28
FIGURA 3 - Sonda Hanna multiparâmetros (modelo HI9829); B) Análise realizada no ponto 1; C) Turbidímetro Hanna (modelo HI98703-02); D) Análise aferida no ponto 1.....	30
FIGURA 4 - A) Acondicionamento das amostras; B) Reator para DQO modelo HI839800-02; C) Fotômetro multiparâmetro para análise de água e efluentes modelo HI83399-02; D) Amostras com reagentes para fósforo total; E) Amostras com reagentes para nitrogênio total.....	31
FIGURA 5 - A) Fotografia da nascente do Mindu; B) Fotografia do Parque Municipal do Mindu.....	32
FIGURA 6 - Observação visual da ausência de espécies de macrófitas aquáticas nos nove pontos de coletas durante a primeira coleta em junho de 2022.....	35
FIGURA 7 - Observação visual da ausência de espécies de macrófitas aquáticas nos nove pontos de coletas durante a segunda coleta em janeiro de 2023.....	36
FIGURA 8 - Infante de <i>Caiman</i> sp encontrado na margem direita do igarapé do Mindu no ponto de coleta número 5, durante a segunda coleta.....	41
FIGURA 9 - A) Ponto 1 durante a primeira coleta; B) Ponto 1 durante a segunda coleta.....	44
FIGURA 10 - A) Ponto 2 durante a primeira coleta; B) Ponto 2 durante a segunda coleta.....	44
FIGURA 11 - A) Ponto 3 durante a primeira coleta; B) Ponto 3 durante a segunda coleta.....	45
FIGURA 12 - A) Ponto 4 durante a primeira coleta; B) Ponto 4 durante a segunda coleta.....	45
FIGURA 13 - A) Ponto 5 durante a primeira coleta; B) Ponto 5 durante a segunda coleta.....	46
FIGURA 14 - A) Ponto 6 durante a primeira coleta; B) Ponto 6 durante a segunda coleta.....	47

FIGURA 15 - A) Ponto 7 durante a primeira coleta; B) Ponto 7 durante a segunda coleta; C) Descarga direta de efluentes não tratados; D) Formação de espuma na água.....	47
FIGURA 16 - A) Ponto 8 durante a primeira coleta; B) Ponto 8 durante a segunda coleta.....	48
FIGURA 17 - A) Ponto 9 durante a primeira coleta; B) Ponto 9 durante a segunda coleta.....	49

LISTA DE SIGLAS

AM – Amazonas

ANA – Agência Nacional de Águas

CERH – Conselho Estadual de Recursos Hídricos

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

EST – Escola Superior de Tecnologia

IET – Índice de Estado Trófico

L – Litro (s)

mg – Miligrama (s)

OD – Oxigênio Dissolvido

PAR – Protocolo de Avaliação Rápida de Rios

pH – Potencial hidrogeniônico

SEMMAS – Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade

sp. – Espécie

spp. – Espécies

UEA – Universidade do Estado do Amazonas

UFAM – Universidade Federal do Amazonas

µg – Micrograma (s)

RESUMO

O crescimento desordenado da população brasileira, a falta de infraestrutura e o baixo investimento na área de saneamento básico geram graves problemas ambientais, como a contaminação de nascentes, rios, lagos e igarapés por meio do descarte inadequado de efluentes de origem doméstica e industrial diretamente em seus leitos, sem nenhuma forma de tratamento prévio. Uma maneira eficiente e barata de observar possíveis desequilíbrios nos parâmetros da água de um corpo hídrico, como o pH, excesso de nutrientes de origem orgânica e a temperatura, é através da presença em abundância ou total ausência de macrófitas, plantas de hábitos aquáticos, em suas margens ou superfície. Indicadoras da qualidade da água, as macrófitas podem ser empregadas no processo de enquadramento de corpos hídricos, mais especificamente na etapa de implementação do programa de efetivação onde são discutidas ações de despoluição, termos de ajustamento, monitoramento e divulgação do estado de preservação do corpo hídrico em questão. O objetivo deste trabalho foi realizar uma análise no igarapé do Mindu, cidade Manaus-AM, com a finalidade de identificar a presença ou ausência de macrófitas aquáticas em nove pontos ao longo do curso do igarapé, bem como determinar a caracterização e o estado de conservação de cada ponto. As metodologias adotadas foram: observações in loco das condições do corpo hídrico, com auxílio de registros fotográficos em conjunto da aplicação de um Protocolo de Avaliação Rápida de Rios (PAR), e a análise físico-química da água (fósforo e nitrogênio totais, pH, oxigênio dissolvido, temperatura, condutividade, sólidos dissolvidos e turbidez), em cada ponto visitado no período da cheia do igarapé, com uma repetição no período da vazante. Não foram encontradas macrófitas aquáticas em nenhum dos pontos analisados, em ambos os períodos de coleta (cheia e vazante), os resultados do PAR sugerem que apenas o ponto referente a nascente do igarapé apresentou características de um corpo hídrico preservado nas duas observações, enquanto que as análises físico-químicas indicaram que todos os pontos apresentaram, em um ou em ambos os períodos de coleta, valores de fósforo, nitrogênios totais, oxigênio dissolvido e pH fora do padrão estabelecido pela legislação brasileira para corpos lóticos de água doce.

PALAVRAS-CHAVE: Biodiversidade. Eutrofização de corpos hídricos. Plantas aquáticas.

ABSTRACT

The disorderly growth of the Brazilian population, the lack of infrastructure and the low investment in the area of basic sanitation generate serious environmental problems, such as the contamination of springs, rivers, lakes and streams through the inadequate disposal of effluents of domestic and industrial origin directly into their beds, without any form of prior treatment. An efficient and inexpensive way to observe possible imbalances in the water parameters of a watershed, such as pH, excess nutrients of organic origin and temperature, is through the presence in abundance or total absence of macrophytes, plants with aquatic habits, in its margins or surface. Indicators of water quality, macrophytes can be used in the classification process of water bodies, more specifically in the implementation stage of the effectiveness program where depollution actions, terms of adjustment, monitoring and dissemination of the state of preservation of the water body are discussed in question. The objective of this work was to carry out an analysis in the Mindu river, in the city of Manaus-AM, with the purpose of identifying the presence or absence of aquatic macrophytes in nine points along the course of the stream, as well as determining the characterization and conservation status from each point. The methodologies adopted were: in loco observations of the conditions of the water body, with the aid of photographic records together with the application of a Rapid River Assessment Protocol (RAP), and physical-chemical analysis of the water (total phosphorus and nitrogen, pH, dissolved oxygen, temperature, conductivity, dissolved solids and turbidity), at each point visited during the flood period of the river, with a repetition during the ebb period. No aquatic macrophyte plants were found at any of the analyzed points, in both collection periods (flood and ebb), the RAP results suggest that only the point referring to the source of the river presented characteristics of a water body preserved in both observations, while the physical-chemical analyzes indicated that all points presented, in one or both collection periods, phosphorus and total nitrogen, dissolved oxygen and pH values outside the standard established by Brazilian legislation for freshwater lotic bodies.

KEYWORDS: Biodiversity. Eutrophication of water bodies. Aquatic plants.

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	16
2 – REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 – Saneamento básico na cidade de Manaus.....	19
2.2 – Processo de eutrofização	20
2.3 – Macrófitas aquáticas.....	21
2.4 – Macrófitas aquáticas como bioindicadoras.....	23
2.5 – Enquadramento	24
2.6 – As quatro etapas da Proposta de Enquadramento.....	25
2.7 – As macrófitas aquáticas como auxílio ao monitoramento da qualidade da água na fase diagnóstica do enquadramento de corpos hídricos.	27
3 - MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1 - Área de estudo e delimitação dos pontos de coleta.....	28
3.2 - Laboratórios e Permissões.....	29
3.3 – Análises físico-químicas	30
3.4 – Coletas das amostras e análise de fósforo e nitrogênio totais	31
3.5 – Caracterização do estado de conservação dos pontos de coleta e observação da presença de macrófitas aquáticas.....	32
3.6 – Caracterização do estado trófico dos pontos de coleta	33
4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4.1 – Resultado das observações da presença de macrófitas aquáticas no igarapé do Mindu.....	35
4.2 – Análises aferidas com a sonda multiparâmetros	36
4.3 – Análises de fósforo e nitrogênio total.....	38
4.4 – Somatória de pontos do Protocolo de Avaliação Rápida de Rios (PAR).....	40
4.5 – Resultado do cálculo Índice do Estado Trófico (IET).....	42
4.6 – Caracterização dos pontos de coleta	43
4.7 – Fatores estressantes para o crescimento das macrófitas	49
4.8 – Possível remoção mecânica das macrófitas pela dragagem do igarapé.....	50
5 – CONCLUSÃO.....	51
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
7 - ANEXO 1: CARTA DE SOLICITAÇÃO.....	58
8 - ANEXO 2: AUTORIZAÇÃO Nº 03/2022 – DMCAP/SEMMAS.....	59

9 - ANEXO 3: PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO RÁPIDA DE RIOS (PAR), ADAPTADO DO PROTOCOLO DA AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DE OHIO (EUA) ...	61
10 - ANEXO 4: PROTOCOLO DE HANNAFORD ET AL. (1997)	62

1 - INTRODUÇÃO

Atualmente todos os municípios e demais comunidades ribeirinhas, da Região Norte brasileira, têm seus efluentes completamente drenados e despejados nos rios e igarapés que cortam seus territórios urbanos, as atividades cotidianas da população resultam em processos prejudiciais ao ambiente, de grandes ou pequenas proporções. Dentre esses o de eutrofização resulta no aumento da concentração de nutrientes em ecossistemas aquáticos, causando alterações em todos os aspectos de tais ecossistemas (SANTOS, 2020; SOUZA, 2020).

A capital do Estado do Amazonas, Manaus, está entre as principais poluidoras da região, sua população e indústria despejam seus efluentes diretamente nos igarapés, sem nenhuma forma de tratamento prévio, sendo o mais conhecido o igarapé do Mindu, pertencente a microbacia do São Raimundo cuja foz deságua sobre o rio Negro, o que resulta em um impacto ambiental em cadeia vez que os poluentes seguem através do rio contaminado os seguintes como o Solimões, o Amazonas e, por fim, o Oceano Atlântico (SOUZA, 2020).

Segundo Souza Filho e colaboradores (2019), o Igarapé do Mindu não possui enquadramento aprovado e é tratado como corpo hídrico dulcícola de classe 2 segundo as normas estabelecidas pela Resolução CONAMA 357/2005, onde todo corpo hídrico não enquadrado, de águas doces, é automaticamente considerado de classe 2, enquanto os de águas salinas e salobras como classe 1, exceto se as condições de qualidade atuais forem melhores, determinando a aplicação da classe mais rigorosa correspondente.

O enquadramento é um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, tem como objetivo classificar as águas, de acordo com o seu tipo (superficial, subterrânea e sua salinidade), em classes segundo os usos preponderantes, devendo ser orientado por três olhares: 1º) a constatação da realidade atual dos corpos hídricos – “o rio que temos”; 2º) o conhecimento da visão da sociedade sobre o futuro que deseja para esses corpos hídricos – “o rio que queremos”; e 3º) a pactuação da situação possível de ser mantida ou alcançada, levando em conta os limites técnicos, sociais e

econômicos para o alcance de metas de qualidade para determinado corpo hídrico, em um horizonte de tempo estabelecido – “o rio que podemos ter” (Agência Nacional de Águas – ANA, 2019).

Quanto a classificação e destinação das águas superficiais, a Resolução CONAMA nº 357, de 17/03/2005 estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e as diretrizes para enquadramento de cada tipo de água (doce, salobra e salina) em diferentes classes conforme as exigências para cada tipo de destinação. Quanto maior o número da classe correspondente, menos exigente se torna o nível de qualidade da água e quanto menor for o número (a classe especial sendo a que exige o melhor nível de qualidade de água), maior o seu rigor e restrição de uso para o seu enquadramento.

Indo de encontro com sua classificação, o estudo realizado por Souza Filho e colaboradores (2020) constatou que o igarapé do Mindu se encontra atualmente descaracterizado, com parâmetros de água que sugerem um avançado estado de eutrofização de seu leito como o pH elevado, baixos teores de oxigênio dissolvido, alta concentração de amônia e elevada de condutividade elétrica, em total desacordo com as características pertencentes a um corpo hídrico de classe 2, estabelecidas pela legislação Brasileira.

Tendo em vista a importância da classificação das águas para destinação de seu uso e sua manutenção, o processo de enquadramento do corpo hídrico é fundamental para a preservação das características físico-químicas de seu leito bem como assegurar o recurso hídrico necessário para suprir a demanda de atividades humanas como irrigação de campos, dessedentação de animais, o uso em indústrias e para o consumo diário e recreativo pela população (FLEXA et al, 2021).

Com o intuito de monitorar os efeitos da eutrofização do igarapé do Mindu e alcançar a meta do “rio que queremos”, pode-se empregar o uso de diversos tipos de ferramentas, tais como a observação da presença ou da ausência de macrófitas aquáticas, plantas que se desenvolvem na superfície da lâmina d’água, se proliferam em ambientes eutrofizados, vez que suas raízes absorvem o excesso de nutrientes, como nitrogênio e fósforo oriundos de efluentes urbanos não tratados, direto da coluna d’água. Por esse motivo essas plantas são excelentes bioindicadores da qualidade da água, muito utilizadas no monitoramento de corpos hídricos afetados pelo processo

de eutrofização cuja observação da presença ou da ausência dessas plantas se apresenta como uma alternativa de baixo custo quando comparada a outros métodos de recuperação desses ambientes (VASCONCELOS, 2018).

Ainda pode-se aproveitar o interessante metabolismo natural de certas espécies de macrófitas aquáticas, capazes de realizar o processo de fitorremediação e remoção de resíduos tóxicos, como microplásticos e metais pesados, diretamente da linha d'água, acumulando esses resíduos nos tecidos de suas raízes, uma alternativa acessível e considerada sustentável de recuperar ambientes aquáticos poluídos (SANTOS, 2020).

A realização de estudos sobre a presença de macrófitas aquáticas em corpos d'água com parâmetros de qualidade em desacordo com sua classe de enquadramento, como no caso do igarapé do Mindu, permite a avaliação do grau de contaminação dos mesmos ao fornecerem evidências da poluição através da quantificação do acúmulo de poluentes e na identificação dos efeitos resultantes da presença desses poluentes em corpos d'água.

A possibilidade do uso destas plantas aquáticas como uma alternativa viável e de baixo custo para a fitorremediação, recuperação e monitoramento de ambientes aquáticos eutrofizados, é promissora e pode ser aproveitada no processo de enquadramento de corpos hídricos, mais especificamente durante as etapas de diagnóstico e a de implementação do programa de efetivação onde são discutidas ações de despoluição, termos de ajustamento, monitoramento e divulgação. O objetivo deste trabalho foi realizar uma análise no igarapé do Mindu, cidade Manaus-AM, com a finalidade de identificar a presença ou ausência de macrófitas aquáticas em nove pontos ao longo do curso do igarapé, bem como determinar a caracterização e o estado de conservação de cada ponto.

2 – REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 – Saneamento básico na cidade de Manaus

Em se tratando da Região Amazônica, todos os municípios e demais comunidades ribeirinhas têm seus efluentes completamente drenados pelos rios e igarapés que cortam as mesmas. Especificamente na cidade de Manaus, dentre os diversos tipos de compostos contaminantes, despejados nas águas dos igarapés pela população e pela indústria, os principais sendo de origem plástica, como fibras de tecidos sintéticos, pigmentos, embalagens e micro e nanopartículas degradadas, o que resulta em um impacto ambiental em cadeia, que afeta diretamente o rio Negro e, conseqüentemente, o rio Amazonas e por fim as águas do oceano Atlântico (SOUZA, 2020). O estudo publicado por Loiola (2022) forneceu dados sobre a contaminação das águas do igarapé do Mindu por metais pesados ao encontrar, em amostras de água, cerca de 10 elementos metálicos distintos: Alumínio, Bário, Cálcio, Magnésio, Ferro, Manganês, Potássio 103, Rubídio, Silício e Sódio.

À medida que a cidade de Manaus se expande horizontalmente, em direção as regiões metropolitanas norte, leste e oeste, havendo uma limitação ao sul devido a barreira, intransponível, do rio Negro, Amazonas e do rio Tarumã e limitações pontuais em áreas de preservação e de grande relevância como Reserva Florestal Adolpho Ducke e as terras do Exército Brasileiro, os problemas ocasionados pela falta de saneamento e de tratamento de efluentes, domésticos e industriais, se tornam mais evidentes e difíceis de contornar (FILHO et al, 2019).

Isso se deve ao fato de que esse crescimento horizontal não vem acompanhado de planejamento urbano, e ocorre de forma desordenada. De acordo com o ranking de saneamento, apresentado pelo Instituto Trata Brasil (2021), a cidade de Manaus está entre as 15 piores cidades com maior deficiência na coleta de esgoto, ocupando a posição 89 das 100 cidades analisadas, com apenas 19,90% de atendimento na área urbana, não abrangendo toda a população resulta em um lançamento, in natura, de 80,01% de todo o esgoto produzido pela população diretamente nos igarapés e córregos da cidade, contaminando e descaracterizando as águas desses corpos hídricos (TRATA BRASIL, 2021).

Segundo Viana (2018), dentre os corpos hídricos mais importantes da cidade de Manaus, o igarapé do Mindu é um dos mais conhecidos, seu curso d'água é o mais extenso da área urbana, com cerca de 22 quilômetros de extensão ele dá origem à microbacia do Mindu com superfície de 66,02 km², este sendo o principal tributário para a bacia do São Raimundo, cortando a cidade de Manaus no sentido nordeste-sudeste km. Sendo um corpo d'água extenso e estratificado, o igarapé do Mindu apresenta diferentes níveis topográficos, que variam de cerca de 30 a 100m, tendo suas nascentes localizadas no bairro Cidade de Deus, próximas a reserva Adolpho Ducke, especificamente no Parque Nascentes do Mindu, e a foz situada na zona próxima ao rio Negro (SOUZA, 2020).

Segundo Cassiano (2012), devido a sua extensão, o igarapé do Mindu apresenta um gradiente em sua paisagem, ocasionado pelos diferentes processos de ocupação de suas margens pela população de Manaus, com evidências de modificações em sua dinâmica natural. Grande parte de seus trechos apresentam sinais de assoreamento e obstrução devido a retirada da mata ciliar circundante, a construção de moradias irregulares nas margens ou no próprio leito do igarapé e pelo descarte inadequado dos efluentes urbanos diretamente em suas águas, resultando na eutrofização do igarapé.

2.2 – Processo de eutrofização

Segundo Santos (2020), as comunidades humanas atuais sofrem, diariamente, com diversos problemas ambientais decorrentes das atividades cotidianas dos indivíduos que as compõem, desde o descarte inadequado do lixo domiciliar a despejo de efluentes das mais diversas origens em corpos d'água como rios, igarapés, lagos e mares. Tais atividades resultam em processos prejudiciais ao ambiente, de grandes ou pequenas proporções, como por exemplo a eutrofização, processo onde ocorre o aumento da concentração de nutrientes em ecossistemas aquáticos, resultando em um crescimento de produtividade e, conseqüentemente, a alterações em todos os aspectos de tais ecossistemas.

Segundo Garcia (2015), o processo de eutrofização se dá pelo enriquecimento do meio, causado pelo acúmulo de nutrientes, como o nitrogênio e o fósforo, e de poluentes de origem urbana, o que resulta na proliferação de macrófitas, algas e

cianobactérias na superfície de corpos hídricos. De acordo com Santos (2020), o processo de eutrofização pode causar alterações nas características da água, desde a cor, o sabor, na redução dos níveis de oxigênio dissolvido, a turbidez, entre outras, resultando no aumento da mortalidade de organismos aquáticos, na proliferação de algas e macrófitas e na inviabilização do uso e do consumo da água pela população.

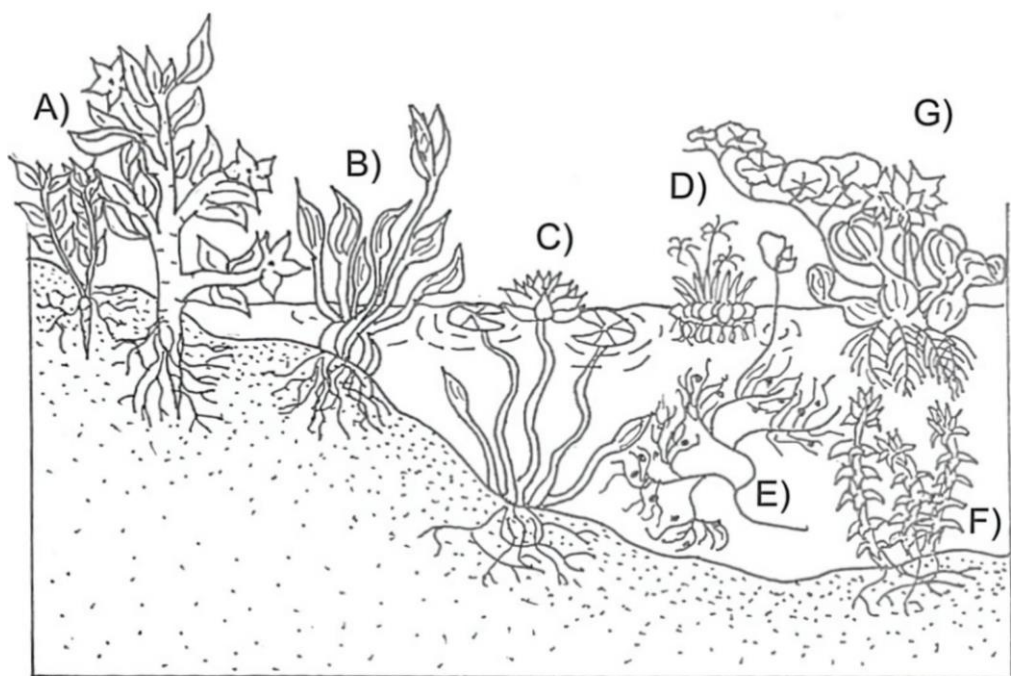
O constante acúmulo destes poluentes nos corpos d'água resulta na contaminação do ambiente como um todo, que por fim acaba afetando o ser humano. A fim de remediar os efeitos da poluição dos corpos hídricos, oriundos dos efluentes urbanos, pode-se empregar o uso de diversos tipos de tratamentos para a remoção de resíduos tóxicos, dentre estes a fitorremediação é um processo bastante promissor e eficaz vez que é acessível, possui um baixo custo e é considerada uma alternativa ecológica. Este tipo de tratamento utiliza plantas, conhecidas como macrófitas, que realizam o mecanismo fisiológico da rizofiltração, em que as raízes destas plantas absorvem poluentes dispersos na água, resultando na descontaminação de corpos d'água com o acúmulo de metais pesados, efluentes domésticos e industriais (SANTOS, 2020).

2.3 – Macrófitas aquáticas

Existem várias espécies de macrófitas, plantas com hábitos aquáticos, e cada uma delas possui diferentes adaptações morfofisiológicas e químicas de acordo com seus biótipos e ocorrências. No Brasil, as macrófitas são classificadas em: anfíbias: plantas capazes de viver tanto fora da água como em áreas alagadas; aquáticas emergentes ou emersas: plantas enraizadas no fundo, parcialmente submersas e parcialmente fora da água; com folhas flutuantes ou flutuantes fixas: plantas enraizadas no fundo com caule e/ou folhas flutuantes; epífitas: se instalam sobre outras plantas aquáticas; submersas livres: não enraizadas no fundo, com folhas e caules submersos; aquáticas submersas enraizadas ou fixas: enraizadas no fundo, totalmente submersas; flutuantes livres: não enraizadas no fundo, podendo ser levadas pela correnteza, vento ou animais, suas folhas e caules ficam acima da lâmina d'água (figura 1) (VIANA, 2005; VASCONCELOS, 2018).

Essas plantas contribuem com a diversidade biológica dos ecossistemas aquáticos tendo grande importância por serem fonte de alimento e abrigo para as diversas formas de vida que habitam tais ecossistemas (VASCONCELOS, 2018).

Figura 1 – Principais hábitos das macrófitas aquáticas: A) Anfíbias; B) Emergentes ou emersas; C) Com folhas flutuantes ou flutuantes fixas; D) Epífitas; E) Submersas livres; F) Submersas enraizadas ou fixas; G) Flutuantes livres.



Fonte: Adaptado de VIANA, 2005.

De acordo com Vasconcelos (2018), as macrófitas aquáticas flutuantes livres, que se desenvolvem na superfície da lâmina d'água de corpos hídricos, se proliferam rapidamente em ambientes eutrofizados, vez que suas raízes absorvem os nutrientes direto da coluna d'água. Esse rápido crescimento ocorre devido às altas concentrações de poluentes, como nitrogênio e fósforo, em tais ambientes. Por esse motivo essas plantas são muito utilizadas na recuperação de corpos aquáticos eutrofizados, poluídos com efluentes de origem urbana.

2.4 – Macrófitas aquáticas como bioindicadoras

Em se tratando da implementação dos instrumentos de gestão em recursos hídricos previstos na Lei 9.433/97, as macrófitas aquáticas agem como excelentes bioindicadoras da qualidade da água, podendo ser utilizadas no diagnóstico dos níveis de poluição de bacias (VASCONCELOS, 2018).

Esse diagnóstico é possível devido as informações obtidas ao se estudar o ambiente onde essas plantas se desenvolvem, vez que estas se proliferam em condições de alta concentração de poluentes possibilitando a análise qualitativa das condições ambientais a partir da identificação e caracterização de cada planta, uma alternativa viável e de baixo custo para o processo de recuperação de corpos d'água eutrofizados (RODRIGUES, 2016), bem como podem servir de instrumento a gestão das águas e no desenvolvimento de cronogramas de ações a médio e longo prazo que visam a fitorremediação e recuperação desses corpos.

Vale ressaltar que nem todas as espécies de macrófitas aquáticas são bioindicadoras ou podem ser utilizadas para a fitorremediação de ambientes eutrofizados, pois diversas delas ou não possuem as características metabólicas necessárias ou necessitam de mais estudos para identificar e comprovar sua implementação como instrumentos de monitoramento e descontaminação de corpos hídricos, seu excesso pode ser prejudicial pois podem impedir a penetração da luz e a oxigenação no ambiente aquático (SANTOS, 2020).

De acordo com Santos (2020), as espécies que possuem estudos conclusivos sobre o seu uso como bioindicadoras da qualidade da água são: Aguapé (*Eichhornia crassipes*), Orelha de onça (*Salvinia minima*) e Musgo d'água (*Azolla caroliniana*), utilizadas em ações de descontaminação de corpos hídricos comprometidos por diversos poluentes, como metais pesados. O Alface-d'água (*Pistia stratiotes*) precisa ser mais bem estudada, mas possui potencial na descontaminação de reservatórios de água contaminados por metais pesados, a partir do processo de biorremediação e biotransformação.

Essas espécies podem ser empregadas no processo de enquadramento de rios na Classe 2, a partir de rios atualmente com qualidade Classe 3 ou 4, vez que são capazes de interferir tanto na geografia do rio, atuando no controle da erosão (evitam

o assoreamento dos rios) e na regularização dos fluxos de água (amortecem os picos de enchentes), como na caracterização da flora e da fauna associada, possuem a capacidade de modificar e controlar a qualidade das águas mantendo o ciclo de reprodução da fauna aquática e servindo de refúgio para animais em desenvolvimento, contribuindo com a diversidade biológica dos ecossistemas aquáticos tendo grande importância ao servirem alimento para as diversas formas de vida que os habitam (SALATI, 2001).

2.5 – Enquadramento

Segundo a ANA (2019) a fim de podermos estabelecer um objetivo de qualidade da água, se faz necessário: aferir a condição atual do rio (o rio que temos); em conjunto com a população moradora da bacia, determinar a condição de qualidade desejada para aquele rio (o rio que queremos); por último, debater e pactuar a meta com os diferentes atores da bacia hidrográfica (o rio que podemos ter), sempre trabalhando e buscando formas de contornar as limitações técnicas, sociais e econômicas encontradas. A elaboração da Proposta de Enquadramento deve ser realizada em conjunto com a população, não apenas pelos técnicos e gestores de bacias, devem ser realizadas consultas públicas, diálogos e encontro técnicos, oficinas de trabalho para capacitação, reuniões públicas e demais atividades que promovam a ampliação do conhecimento, levantamento de informações e contribuições para o processo decisório.

A Resolução CNRH nº 91 de 2008 deve ser utilizada como modelo e guia para realização do enquadramento, caso não haja uma resolução estadual equivalente, nela estão estabelecidos os procedimentos gerais para enquadrar os diferentes tipos de corpos hídricos, sejam eles superficiais ou subterrâneos, seguindo duas diretrizes básicas: 1º) a bacia hidrográfica como unidade de gestão; e 2º) os usos preponderantes mais restritivos, sendo que a Proposta de Enquadramento deve ser realizada em quatro etapas: 1º) diagnóstico; 2º) Prognóstico; 3º) propostas de metas relativas às alternativas de enquadramento; e 4º) programa para efetivação.

2.6 – As quatro etapas da Proposta de Enquadramento

Segundo a ANA (2019) a etapa de Diagnóstico deverá abordar:

A caracterização geral da bacia hidrográfica e do uso e ocupação do solo; a identificação e localização dos usos e interferências que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água; a identificação, localização e quantificação das cargas das fontes de poluição pontuais e difusas atuais; a disponibilidade, demanda e condições de qualidade das águas superficiais e subterrâneas; potencialidade e qualidade natural das águas subterrâneas; mapeamento das áreas vulneráveis e suscetíveis a riscos e efeitos de poluição, contaminação, superexploração, escassez de água, conflitos de uso, cheias, erosão e subsidência, entre outros; identificação das áreas reguladas por legislação específica; arcabouço legal e institucional pertinente; políticas, planos e programas locais e regionais existentes, especialmente os planos setoriais, de desenvolvimento socioeconômico, plurianuais governamentais, diretores dos municípios e ambientais e os zoneamentos ecológico-econômico, industrial e agrícola; caracterização socioeconômica da bacia hidrográfica; e capacidade de investimento em ações de gestão de recursos hídricos.

Complexa e extensa, a lista dos conteúdos, que compõe a etapa de Diagnóstico, expõe a necessidade haver uma articulação e engajamento de múltiplas instituições responsáveis pelas políticas públicas e planejamento setorial com inserção na bacia hidrográfica, muito mais do que apenas os órgãos de meio ambiente e de recursos hídricos.

Na etapa de Prognóstico, os impactos, resultantes da implementação de planos e programas de desenvolvimento, aos recursos hídricos da nação deverão ser avaliados conforme a realidade regional, se concentrando nos efeitos de curto, médio e longo prazos, a fim de criar projeções embasadas em estudos de simulação que permitem avaliar a influência das diversas cargas poluidoras afluentes a ambientes lóticos e lânticos em diferentes regimes hidrológicos.

Já a etapa de elaboração das Propostas de Metas Relativas às Alternativas de Enquadramento, tem como objetivo a manutenção das classes de qualidade de água a serem determinadas para os corpos hídrico analisados, sempre em conformidade com os diversos cenários de curto, médio e longo prazo. Um conjunto de parâmetros norteadores de qualidade de água e das vazões de referência devem ser selecionados

a fim de que se possa realizar as propostas de metas, sempre se orientando pelos usos pretensos dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, levando em consideração as duas etapas anteriores, criando assim a base para as ações primárias de prevenção, controle e recuperação da qualidade das águas do corpo hídrico a ser enquadrado. É nessa etapa em que ocorrem as principais discussões que levam à seleção da proposta de enquadramento mais adequada ao corpo hídrico estudado.

A última etapa é do Programa para Efetivação do Enquadramento onde devem constar as devidas propostas de ações de gestão, seus prazos de execução bem como os planos de investimentos e os instrumentos de compromisso. Esses instrumentos de compromisso devem abranger recomendações para os órgãos gestores de recursos hídricos e de meio ambiente, integração ou adequação de seus respectivos instrumentos de gestão; recomendações de ações educativas, preventivas e corretivas, de mobilização social e de gestão; propostas dirigidas aos poderes públicos federal, estadual e municipal para adequação dos respectivos planos, programas e projetos de desenvolvimento e dos planos de uso e ocupação do solo às metas estabelecidas na proposta de enquadramento; e subsídios técnicos e recomendações para a atuação dos comitês de bacia hidrográfica (ANA, 2019).

Mesmo a Resolução CNRH nº 91/2008 estabelecendo os procedimentos gerais para a orientação e implementação do processo de enquadramento e corpos hídricos, em muitos casos não há a possibilidade ou consenso de construir uma proposta de enquadramento em conjunto com um Plano de Recursos Hídricos a nível de qualidade técnica mínima exigida para a aplicação das tomadas de decisão pelos comitês de bacia. O próprio igarapé do Mindu não possui um plano de enquadramento e, de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, todo corpo hídrico de água doce, não enquadrado, deve ser considerado como pertencente a classe 2, e nesse caso não é uma prática realista pois o igarapé do Mindu, atualmente, não possui as características exigidas para que se enquadre nessa classe, estando descaracterizado e eutrofizado (SOUZA FILHO et al, 2019).

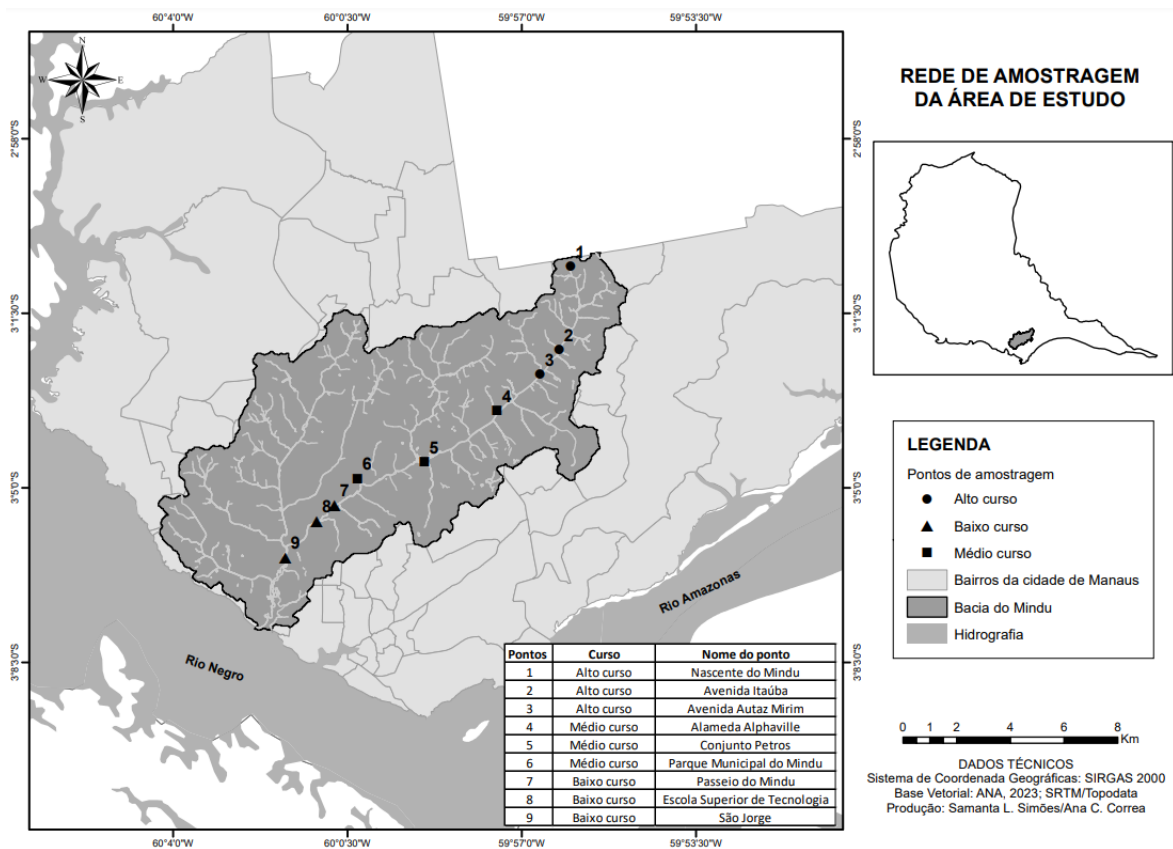
2.7 – As macrófitas aquáticas como auxílio ao monitoramento da qualidade da água na fase diagnóstica do enquadramento de corpos hídricos.

A utilização de macrófitas aquáticas possibilita a análise qualitativa das condições ambientais de corpos d'água de forma viável e de baixo custo para o processo de fitorremediação e recuperação de corpos d'água eutrofizados (SANTOS e BOINA, 2017). São uma alternativa com excelente custo-benefício, quando comparada com análises físicas e químicas, que são mais sofisticadas, porém, com custos mais elevados, podendo ser utilizada na elaboração de modelos inovadores de quantificação e modelagem de cargas de contaminação de corpos hídricos, bem como na identificação de fontes poluidoras, vez que suas raízes tendem a filtrar poluentes da linha d'água, e na formulação de estratégias de controle de poluição, e aprimoramento da gestão de eventos críticos de contaminação, subsidiando a tomada de decisões pelos órgãos gestores e colegiados do sistema de gestão das águas para a realização de um futuro processo de enquadramento e recuperação das águas do igarapé do Mindu (RODRIGUES, 2011).

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Área de estudo e delimitação dos pontos de coleta

Figura 2 - Pontos de coleta no igarapé do Mindu



Fonte: Samanta L. Simões e Ana C. Correa, 2023.

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 59o50' e 60o10' oeste e os paralelos de 02o57' e 03o10' 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. Foram, ao todo, definidos 9 pontos de coletas de dados, cujas coordenadas geográficas de cada ponto estão descritas na Tabela 1.

Tabela 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).

Na Figura 2 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, ambas realizadas de acordo com a metodologia proposta pelo Guia Nacional de Coletas e Preservação de Amostras (CETESB, 2011).

3.2 - 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

uma carta de solicitação (Anexo 1), tendo como retorno a autorização nº 03/2022 – DMCAP/SEMMAS (Anexo 2).

3.3 – 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) conforme a Figura 3 - A), enquanto a turbidez foi aferida com auxílio do turbidímetro Hanna (modelo HI98703-02) conforme a Figura 3 - C):

Figura 3 – A) Sonda Hanna multiparâmetros (modelo HI9829); B) Análise realizada no ponto 1; C) Turbidímetro Hanna (modelo HI98703-02); D) Análise aferida no ponto 1.



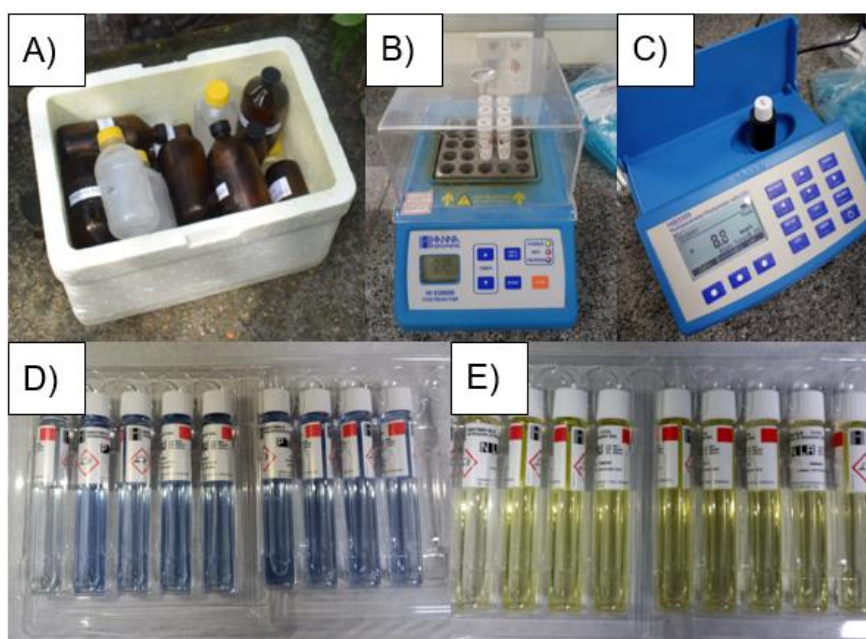
Fonte: A) <https://hannainst.com.br/produto/hi9829-11042-medidor-multiparametro-para-ph-orp-ec-od-turbidez/>; C) <https://hannainst.com.br/produto/hi98703-02-turbidimetro-epa-fast-tracker/>; B) e D)

Autoria própria (2022).

3.4 – 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 (Figura 4 - A)), 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, Figuras 4 - D) e 4 - E) respectivamente). As amostras foram aquecidas com auxílio do reator para DQO (modelo HI839800-02, Figura 4 - B)) e depois aferidas com auxílio do fotômetro multiparâmetro para análise de água e efluentes (modelo HI83399-02, Figura 4 - C)).

Figura 4 – A) Acondicionamento das amostras; B) Reator para DQO modelo HI839800-02; C) Fotômetro multiparâmetro para análise de água e efluentes modelo HI83399-02; D) Amostras com reagentes para fósforo total; E) Amostras com reagentes para nitrogênio total.



Fonte: A), B) e C) Autoria própria (2022); D) e E) Autoria própria (2023).

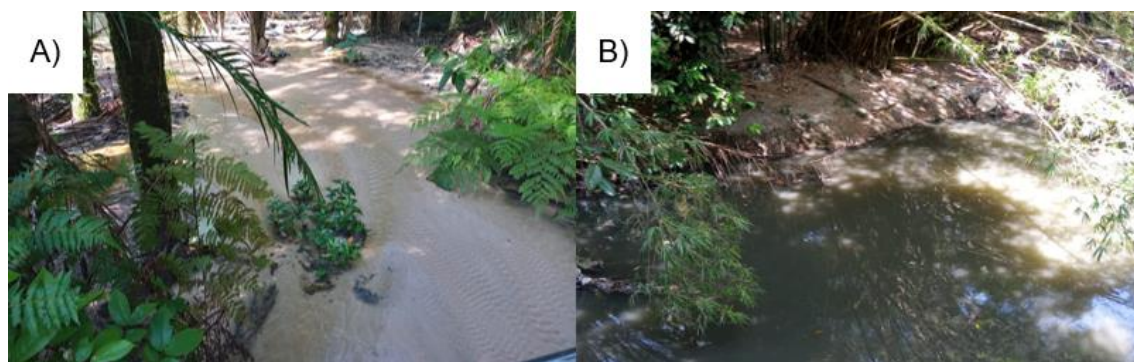
Os ensaios, tanto em campo quanto em laboratório, foram executados em conformidade com as metodologias descritas na Resolução ANA nº 724/2011, na qual defini e indica, como referência técnica, o “Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras de Água, Sedimentos, Comunidades aquáticas e Efluentes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

3.5 – 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) (anexo 3), 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 a erosão e à cobertura vegetal das margens, e do protocolo de Hannaford et al. (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 (anexo 4).

A pontuação de 0 a 40 representa áreas consideradas “impactadas”, de 41 a 60 áreas “alteradas” e de 61 a 100 áreas “naturais” (DE OLIVEIRA BIZZO, MENEZES e DE 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.

Figura 5 – A) Fotografia da nascente do Mindu; B) Fotografia do Parque Municipal do Mindu.



Fonte: A) Autoria própria (2022); B) Autoria própria (2023)

3.6 – Caracterização do estado trófico dos pontos de coleta

A partir dos resultados obtidos das análises químicas de fósforo total, foi possível calcular Índice do Estado Trófico (IET) cuja fórmula, segundo LAMPARELLI (2004) para rios e igarapés:

$IET = 10.(6 - ((0,42 - 0,36.(ln.PT)/ln2))$, onde o fósforo total (PT) é expresso em µg/L.

O cálculo de IET foi utilizado para complementar a classificação e caracterização dos pontos de coleta, realizadas pela aplicação do PAR que se concentra no estado de conservação do corpo d'água, enquanto o IET define seu grau de trofia, ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e sua relação com o crescimento excessivo das algas e o aumento ou completa ausência de macrófitas aquáticas no igarapé.

Os resultados gerados a partir desse índice devem ser entendidos como uma medida do potencial do processo de eutrofização, onde as concentrações de fósforo total na amostra são de suma importância vez que esse nutriente está diretamente ligado ao ciclo que desencadeia esse processo, que segue a classificação apresentada na Tabela 2:

Tabela 2 - Classes de estado trófico e suas principais características.

Valor do IET	Classes de Estado Trófico	Características
= 47	Ultraoligotrófico	Corpos d'água limpos, de produtividade muito baixa e concentrações insignificantes de nutrientes que não acarretam prejuízos aos usos da água.
47<IET= 52	Oligotrófico	Corpos d'água limpos, de baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água, decorrentes da presença de nutrientes.
52 <IET= 59	Mesotrófico	Corpos d'água com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis, na maioria dos casos.
59<IET=63	Eutrófico	Corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, com redução da transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água decorrentes do aumento da concentração de nutrientes e interferências nos seus múltiplos usos.
63<IET=67	Supereutrófico	Corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, de baixa transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem com frequência alterações indesejáveis na qualidade da água, como a ocorrência de episódios florações de algas, e interferências nos seus múltiplos usos.
> 67	Hipereutrófico	Corpos d'água afetados significativamente pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos, associado a episódios florações de algas ou mortandades de peixes, com consequências indesejáveis para seus múltiplos usos, inclusive sobre as atividades pecuárias nas regiões ribeirinhas.

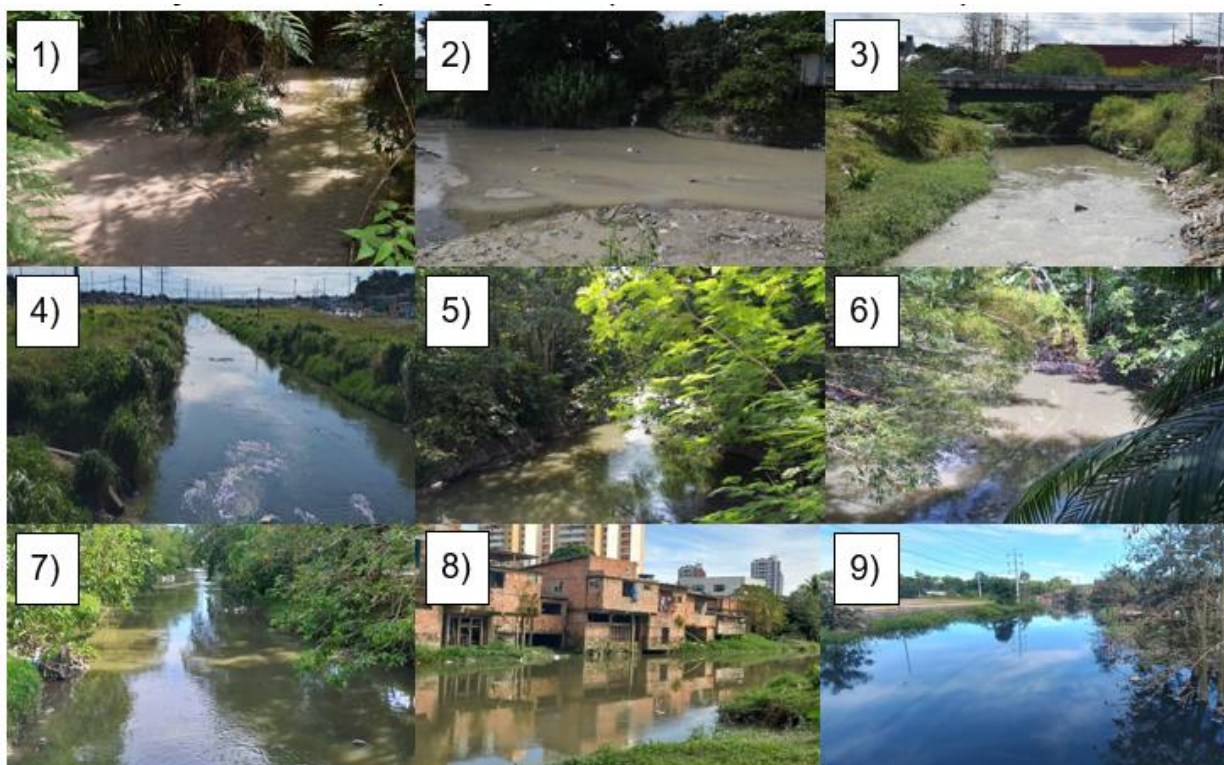
Fonte: CETESB (2007); LAMPARELLI (2004)

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Resultado das observações da presença de macrófitas aquáticas no igarapé do Mindu

Não se observou a presença de macrófitas aquáticas em nenhum dos nove pontos de coleta visitados durante a primeira coleta, em junho de 2022, durante o período da cheia do igarapé do Mindu 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 igarapé, como pode ser observado nas Figuras 6 e 7 respectivamente.

Figura 6 - Observação visual da ausência de espécies de macrófitas aquáticas nos nove pontos de coletas durante a primeira coleta em junho de 2022.



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 7 - Observação visual da ausência de espécies de macrófitas aquáticas nos nove pontos de coletas durante a segunda coleta em janeiro de 2023.



Fonte: Autoria própria (2023).

4.2 – Análises aferidas com a sonda multiparâmetros

Como é possível observar na Tabela 3, a turbidez é 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 4) durante o período da vazante onde há um menor aporte de água e os solutos se concentram nos pontos do alto curso do igarapé. 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 4), indicando um estado de anoxia do rio com possível proliferação de microrganismos anaeróbicos.

Tabela 3 - 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 (µS/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

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 4 - 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 (µS/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

Fonte: Autoria própria (2023).

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

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 3 e 4, os valores encontrados em todos os pontos, com exceção do Ponto 1, 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 $29,24^\circ\text{C}$ e $28,14^\circ\text{C}$ e de acordo com o estudo realizado por Melo e colaboradores (2005), que obtiveram valores variando de $26,0$ a $29,3^\circ\text{C}$ em trechos do igarapé do Mindu, há uma relação entre esses altos valores de temperatura com a ausência ou esgarçamento 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 3), 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 e colaboradores (2020).

4.3 – Análises de fósforo e nitrogênio total

Quanto as análises de fósforo total apenas o Ponto 1, na segunda coleta (Tabela 6), apresentou um valor inferior ao máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 ($0,1 \text{ mg/L}$) para corpos hídricos de água doce de classe 2, os demais pontos, incluindo o próprio ponto 1 durante a primeira coleta (Tabela 5), apresentaram valores superiores a $0,2 \text{ mg/L}$.

Tabela 5 - Resultado das análises químicas de fósforo total e nitrogênio total nas amostras da primeira coleta.

Pontos	Fósforo total (mg/L)	Nitrogênio total (mg/L)
1	0,26	2,60
2	2,64	7,60
3	2,55	8,80
4	1,93	8,20
5	1,94	7,10
6	2,09	6,70
7	1,94	5,70
8	1,94	4,90
9	1,93	4,40

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 6 - Resultado das análises químicas de fósforo total e nitrogênio total nas amostras da segunda coleta.

Pontos	Fósforo total (mg/L)	Nitrogênio total (mg/L)
1	0,06	2,50
2	1,15	11,14
3	1,15	12,00
4	1,05	12,10
5	1,01	11,20
6	0,87	9,40
7	0,84	8,90
8	0,81	8,60
9	0,74	9,10

Fonte: Autoria própria (2023).

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 (Tabelas 5 e 6), não só e evidenciado uma possível contaminação da nascente e do igarapé como um todo, como também

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.

4.4 – Somatória de pontos do Protocolo de Avaliação Rápida de Rios (PAR)

O resultado das somatórias de pontos do PAR aplicado durante a primeira coleta evidenciou 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 estar “Impactados” (Tabela 7). 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 7 - Resultado do Protocolo de Avaliação Rápida de Rios (PAR) aplicado na primeira coleta. A pontuação de 0 a 40 representa áreas consideradas “impactadas”, de 41 a 60 áreas “alteradas” e de 61 a 100 áreas.

Pontos	Somatória	Resultado
1	89	Natural
2	38	Impactada
3	26	Impactada
4	40	Impactada
5	42	Alterada
6	54	Alterada
7	40	Impactada
8	33	Impactada
9	42	Alterada

Fonte: Autoria própria (2022).

Quanto aos resultados da somatória de pontos do PAR aplicado durante a segunda coleta (Tabela 8) houve diferença apenas no resultado do Ponto 5 em comparação com o PAR da coleta anterior. Essa diferença nas condições ambientais,

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 (Figura 8), 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.

Tabela 8 - Resultado do Protocolo de Avaliação Rápida de Rios (PAR) aplicado na segunda coleta. A pontuação de 0 a 40 representa áreas consideradas “impactadas”, de 41 a 60 áreas “alteradas” e de 61 a 100 áreas.

Pontos	Somatória	Resultado
1	89	Natural
2	38	Impactada
3	26	Impactada
4	40	Impactada
5	65	Natural
6	54	Alterada
7	40	Impactada
8	33	Impactada
9	42	Alterada

Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 8 – Infante de *Caiman* sp encontrado na margem direita do igarapé do Mindu no Ponto de coleta número 5, durante a segunda coleta.



Fonte: Autoria própria (2023).

4.5 – Resultado do cálculo Índice do Estado Trófico (IET)

Como é possível observar na Tabela 9, houve uma diferença na classificação trófica dos pontos entre a primeira coleta e a segunda. O Ponto 1 apresentou um valor de IET referente a um corpo hídrico oligotrófico (limpos, de baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água, decorrentes da presença de nutrientes) na primeira coleta, enquanto na segunda apresentou um valor referente a um corpo ultraoligotrófico (limpo, de produtividade muito baixa e concentrações insignificantes de nutrientes que não acarretam prejuízos aos usos da água).

Tabela 9 - Resultado do cálculo Índice do Estado Trófico (IET) nas duas coletas. A pontuação =47 corresponde a um estado ultraoligotrófico, $47 < \text{IET} = 52$ oligotrófico, $52 < \text{IET} = 59$ mesotrófico, $59 < \text{IET} = 63$ eutrófico, $63 < \text{IET} = 67$ supereutrófico e > 67 Hipereutrófico.

Pontos	Valor do IET 1	Classes de Estado Trófico	Valor do IET 2	Classes de Estado Trófico
1	48,80	Oligotrófico	41,19	Ultraoligotrófico
2	60,84	Eutrófico	56,53	Mesotrófico
3	60,66	Eutrófico	56,53	Mesotrófico
4	59,21	Eutrófico	56,05	Mesotrófico
5	59,24	Eutrófico	55,85	Mesotrófico
6	59,63	Eutrófico	55,08	Mesotrófico
7	59,24	Eutrófico	54,89	Mesotrófico
8	59,24	Eutrófico	54,71	Mesotrófico
9	59,21	Eutrófico	54,24	Mesotrófico

Fonte: Autoria própria (2023).

Os demais pontos, durante a primeira coleta, apresentaram valores referentes a corpos hídricos eutróficos (alta produtividade em relação às condições naturais, com redução da transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água decorrentes do aumento da concentração de nutrientes e interferências nos seus múltiplos usos), entretanto na segunda coleta apresentaram valores referentes a um corpo hídrico em estado mesotrófico (produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis, na maioria dos casos).

Essa aparente “melhoria” na qualidade das águas durante a segunda coleta só é notável no Ponto 1, nos demais pontos o resultado do cálculo de IET pode não

representar um quadro geral ou representativo, vez que não leva em conta o aumento da concentração de nitrogênio total observado também durante a segunda coleta (Tabela 6).

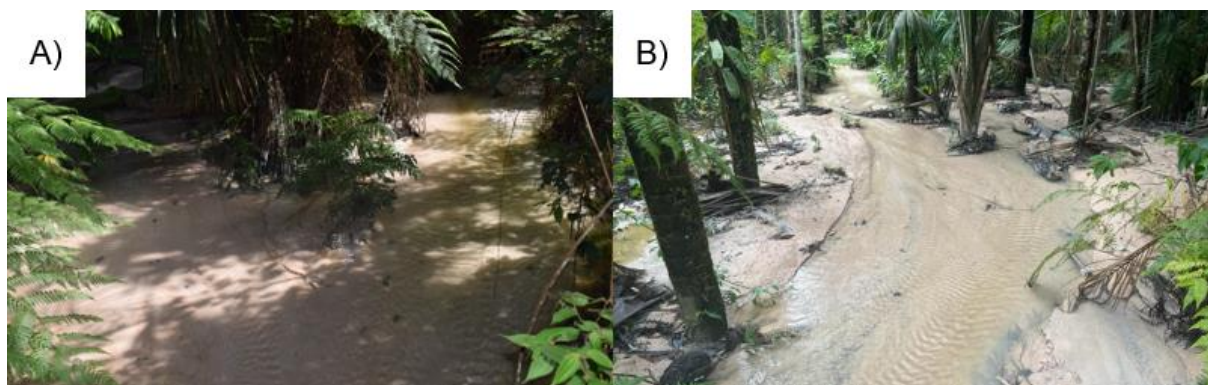
Segundo Campos e Teixeira (2019) o elemento fósforo pode estar presente nas águas de um corpo hídrico sob diferentes formas, entre elas o fosfato orgânico, fosfolipídios, ácidos nucleicos, nucleoproteínas, açúcares fosforilados, coenzimas e na forma de fosfato inorgânico, ortofosfatos, polifosfatos, os de origem orgânica sendo oriundos da decomposição de matéria orgânica na água. Já os compostos nitrogenados como amônia, nitrito e nitrato estão associados ao metabolismo de organismos anaeróbicos na água.

Os resultados obtidos indicam que durante a primeira coleta havia maior quantidade de compostos orgânicos suspensos na água, enquanto na segunda coleta houve uma possível maior atividade microbiana, sendo necessários mais estudos para comprovar essa mudança na dinâmica dos parâmetros da água bem sobre como essa interação entre o aporte de matéria orgânica e a atividade microbiana estão relacionados ao estado trófico dos pontos de coleta.

4.6 – Caracterização dos pontos de coleta

O igarapé do Mindu possui três nascentes, todas inseridas dentro do Parque das Nascentes do Mindu, localizado na rua Andorinha no Bairro Cidade de Deus da cidade de Manaus, criado em 2006 por meio do Decreto 8.351 de 17 de março de 2006 – SEMMAS. Das três nascentes, a primeira (Lat. -3,00924; Lgn. -59,93359), foi selecionada como primeiro ponto de coleta. Como pode-se observar na Figura 9 - A), na primeira coleta a nascente se encontrava totalmente desprovida de espécies de macrófitas aquáticas, o mesmo resultado se repetiu durante a segunda coleta (Figura 9 – B)). Seguindo a metodologia proposta pelo PAR, o Ponto 1 apresentou as melhores condições ambientais de todos os nove pontos visitados nas duas coletas, aparentando um estado natural, com sua vegetação original preservada, sem alterações antrópicas na estrutura de suas margens e presença de vida animal em suas águas (pequenos anfíbios), entretanto sem a presença de macrófitas (Figura 9).

Figura 9 – A) Ponto 1 durante a primeira coleta; B) Ponto 1 durante a segunda coleta.



Fonte: A) Autoria própria (2022); B) Autoria própria (2023).

O Ponto 2 fica localizado na avenida Itaúba, a principal do bairro Jorge Teixeira na Zona Leste de Manaus, apresentou parâmetros físico-químicos de qualidade água e condições ambientais completamente diferentes do ponto anterior, como pode ser observado na Figura 10, um dado preocupante tendo em vista a proximidade com a nascente do igarapé.

Figura 10 – A) Ponto 2 durante a primeira coleta; B) Ponto 2 durante a segunda coleta.



Fonte: A) Autoria própria (2022); B) Autoria própria (2023).

O Ponto 2 apresentou alterações antrópicas bem evidentes, há nesse ponto assoreamento das margens, construções urbanas de habitação humana, despejo de efluentes (de origem doméstica) não tratados diretamente nas águas do igarapé, alteração na cor e cheiro das águas que apresentavam coloração esverdeada e cheiro de ovo podre e ausência de vida animal (Figura 10), sendo classificado como impactado (vide as tabelas 7 e 8).

O Ponto 3 fica localizado na avenida Autaz Mirim, outra via do bairro Jorge Teixeira, apresentou parâmetros físico-químicos de qualidade água e condições ambientais similares ao ponto anterior, classificado como impactado pelo resultado

obtido pelo PAR aplicado em ambas as coletas (tabelas 7 e 8). As margens apresentaram assoreamento avançado, vegetação ciliar invasora e ineficiente para a estruturação dos taludes, atividade e construções humanas diretamente nas margens, não havendo espaço para o crescimento da vegetação ripária e alterações na coloração e odor das águas, similar ao ponto anterior (Figura 11).

Figura 11 – A) Ponto 3 durante a primeira coleta; B) Ponto 3 durante a segunda coleta.



Fonte: A) Autoria própria (2022); B) Autoria própria (2023).

O Ponto 4 fica localizado na alameda Alphaville, uma via com várias pontes e inserida no bairro São José Operário na Zona Leste de Manaus, apresentou parâmetros físico-químicos de qualidade água e condições ambientais semelhantes aos dois pontos anteriores, sendo considerado impactado pelo resultado do PAR aplicado (tabelas 7 e 8), entretanto não havia presença de assoreamento nas margens devido à presença de mata ciliar composta por gramíneas e espécies vegetais ruderais que possibilitam a estabilidade dos taludes. A alteração na cor da água foi mais expressiva durante a segunda visita ao local, que apresentava uma coloração esverdeada intensa e com aspecto lamacento (Figura 12 – B).

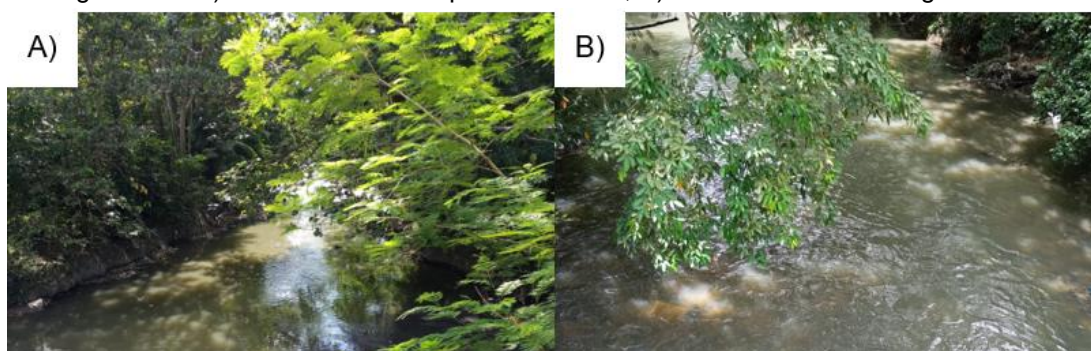
Figura 12 – A) Ponto 4 durante a primeira coleta; B) Ponto 4 durante a segunda coleta.



Fonte: A) Autoria própria (2022); B) Autoria própria (2023).

O Ponto 5, localizado no Conjunto Habitacional Petros no bairro Aleixo, Zona Centro-Sul de Manaus, foi o único dos 9 pontos de coleta cujos resultados do PAR divergiram entre a primeira, considerado alterado (Tabela 8), e a segunda coleta, considerado como natural (Tabela 8). O ponto se encontra inserido em meio urbano, porém suas margens possuem mata ciliar original preservada, mantendo várias características naturais como estabilidade dos taludes, diversidade de ambientes, ausência de construções próximas as margens, e a característica que resultou na mudança de classificação entre as visitas ao local: a presença de vida animal (*Caiman* sp) na margem direita do igarapé (Figura 8). Quanto as características visuais da água em si, são muito similares aos pontos anteriores, com exceção do ponto 1, apresentando coloração esverdeada e odor de ovo podre (Figura 13).

Figura 13 – A) Ponto 5 durante a primeira coleta; B) Ponto 5 durante a segunda coleta.



Fonte: A) Autoria própria (2022); B) Autoria própria (2023).

O Ponto 6 está localizado dentro do Parque Municipal do Mindu, administrado pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade – SEMMAS e está inserido no bairro Parque Dez de Novembro na Zona Centro-Sul de Manaus. Por meio da Lei 219, de 11 de novembro de 1993, o parque se tornou uma zona proteção ambiental, contando com uma estrutura de lazer e trilhas para os moradores e visitantes. Entretanto o parque vem sofrendo com pressão ecológica resultante das atividades humanas, como pode ser visualizado na Figura 14. O resultado da soma do PAR aplicado, em ambas as visitas (Tabelas 7 e 8), apontou que a área do parque se encontra alterada sendo observada a presença de lixo e rejeitos de origem humana nas margens, coloração da água esverdeada com aspecto lamacento, odor pútrido de material orgânico em decomposição, ausência de vida animal e assoreamento dos taludes (Figura 14), dados preocupantes tendo em vista que, em teoria, o ponto se localiza dentro de uma área de preservação ambiental.

Figura 14 – A) Ponto 6 durante a primeira coleta; B) Ponto 6 durante a segunda coleta.



Fonte: A) Autoria própria (2022); B) Autoria própria (2023).

O Ponto 7 está localizado no Passeio do Mindu, uma via pública de lazer para a prática de caminhadas, corridas e ciclismo, utilizada por cidadãos de camadas médias e ricas da população (CASSIANO e COSTA, 2012) no bairro Parque Dez de Novembro na Zona Centro-Sul de Manaus, uma área residencial com condomínios de alto padrão e infraestrutura, todavia os resultados da somatória de pontos do PAR aplicado (Tabelas 7 e 8) sugerem que o ponto está impactado. Foi observada a presença de lixo, rejeitos de origem urbana, e descarga direta de efluentes não tratados diretamente no corpo hídrico (Figura 15 C)), a água apresentava coloração esverdeada com o odor mais pungente dos nove pontos analisados, aspecto lamacento, formação de espuma (Figura 15 – D)), e ausência de vida animal e macrófitas aquáticas.

Figura 15 – A) Ponto 7 durante a primeira coleta; B) Ponto 7 durante a segunda coleta; C) Descarga direta de efluentes não tratados; D) Formação de espuma na água.



Fonte: A) e C) Autoria própria (2022); B) e D) Autoria própria (2023).

O Ponto 8 está localizado dentro do campus da Escola Superior de Tecnologia (EST) da Universidade do Estado do Amazonas (UEA) na avenida Darcy Vargas no Bairro Parque Dez de Novembro, Manaus. É interessante notar que o terreno da universidade não possui muros ou grades em sua porção inferior, o igarapé do Mindu simplesmente corta o local, em sua margem direita fica a EST enquanto na margem esquerda há construções urbanas e residências. Os resultados da somatória de pontos do PAR aplicado (Tabelas 7 e 8) sugerem que o local está impactado, muito similar ao Ponto 7, com as mesmas características ambientais observadas (Figura 16) com exceção do odor, menos intenso no Ponto 8.

Figura 16 – A) Ponto 8 durante a primeira coleta; B) Ponto 8 durante a segunda coleta.

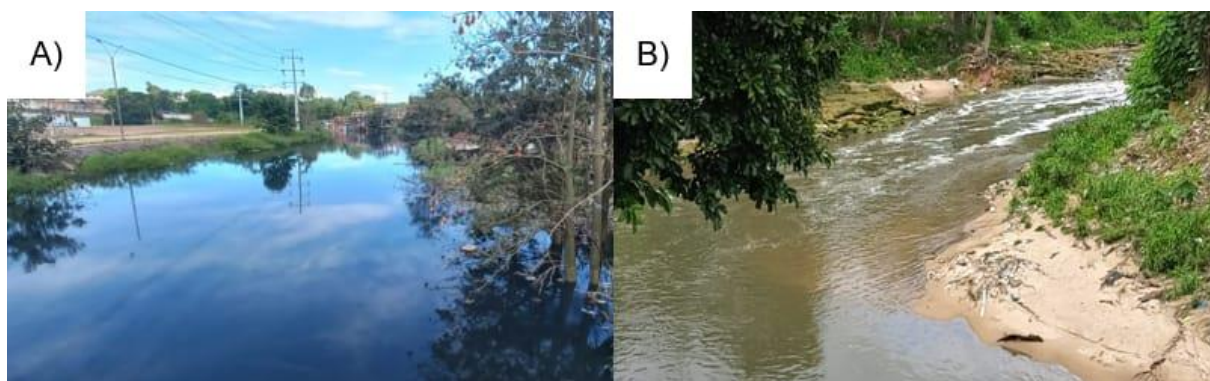


Fonte: A) Autoria própria (2022); B) Autoria própria (2023).

O último ponto de coleta, o de número nove se localiza próximo da foz do igarapé do Mindu, sob a ponte Engenheiro Lopes Braga (conhecida como Ponte do São Jorge), que liga a Avenida Constantino Nery ao bairro São Jorge, na Zona Oeste de Manaus. O resultado da soma do PAR aplicado, em ambas as visitas (Tabelas 7 e 8), apontou que a área próxima a ponte se encontra alterada, apresentando parâmetros semelhantes aos observados durante as visitas ao Ponto 6, com presença de lixo e rejeitos de origem humana nas margens, coloração da água esverdeada com aspecto lamacento, ausência de vida animal e assoreamento dos taludes, entretanto as características visuais da água foram distintas, na primeira coleta (durante a cheia do igarapé), as águas não apresentavam coloração esverdeada e nem os odores fortes que foram observados na segunda coleta no local (Figuras 17 - A) e 17- B) respectivamente.), resultado que indica forte influência da

diluição das águas do igarapé em sua foz onde ocorre a misturas das águas com o rio Negro, durante o período da cheia.

Figura 17 – A) Ponto 9 durante a primeira coleta; B) Ponto 9 durante a segunda coleta.



Fonte: A) Autoria própria (2022); B) Autoria própria (2023).

4.7 – Fatores estressantes para o crescimento das macrófitas

As plantas macrófitas aquáticas possuem uma eficiente plasticidade genética o que garante a esses vegetais amplitude ecológica (colonizam habitats diversos que vão desde fontes termais, lagos, cachoeiras, rios, até ambientes salobros e salgados) e alta adaptabilidade e resiliência a fatores adversos como estressores químicos (nutrientes da água e do sedimento, carbono inorgânico e metais pesados), físicos (morfometria do ecossistema, velocidade da água, temperatura e radiação subaquática) e físico-químico (pH) (WANDERLEY, 2020).

O estado eutrofizado do igarapé do Mindu bem como o resultado das análises das amostras coletadas nos 9 pontos estudados sugere que deveria ocorrer no corpo hídrico bancos de macrófitas ao longo de seu leito, vez que há excesso de nutrientes e fatores que estimulam a proliferação dessas plantas, entretanto os registros fotográficos e a análise do protocolo PAR evidenciam o contrário, há um fator, até então desconhecido, que está impedindo o crescimento dessas plantas.

De acordo com os dados do estudo publicado por Loiola (2022) há cerca de 10 elementos metálicos distintos encontrados em amostras de água recolhidas no igarapé do Mindu (Alumínio, Bário, Cálcio, Magnésio, Ferro, Manganês, Potássio 103, Rubídio, Silício e Sódio) cuja legislação Brasileira estabelece valores máximos de concentração apenas para Bário, Manganês, Alumínio e Ferro, sendo esses dois

últimos encontrados em valores superiores aos estabelecidos (segundo a Resolução CONAMA 357/2005, para águas doces classe II, o valor máximo estipulado para ferro dissolvido é de 300 µg/L e de 100 µg/L para Alumínio dissolvido) nas amostras coletadas (Ferro dissolvido superior a 1400 µg/L, e Alumínio dissolvido superior a 450 µg/L).

O estudo desenvolvido por Souza (2020) comprovou a existência de contaminação por micro e nanoplásticos nas águas do igarapé do Mindu, sendo a nascente o único local do corpo hídrico em que não foram identificados esses plásticos dissolvidos, em todos os demais pontos coletados houve concentrações elevadas desses polímeros biomagnificantes (máxima de 0,40 g/L de microplásticos e de 0,70 g/L de nanoplásticos) e ainda salienta o perigo que esses plásticos representam para a saúde pública, onde quanto menor a granulação do polímero, maior será o seu impacto.

Segundo Wanderley (2020) substâncias estressoras isoladas, como certos tipos de surfactantes e o excesso de nutrientes na água, não interferem no crescimento de várias espécies de macrófitas aquáticas, porém quando esses agentes ocorrem em conjunto num mesmo ambiente (surfactantes com metais pesados, microplásticos e alta temperatura por exemplo) podem não só limitar o crescimento das plantas como também eliminá-las a longo prazo pois, mesmo que essas espécies sejam naturalmente resilientes, há um limite de contaminação que estas são capazes de suportar, sobreviver e se reproduzir, o que pode explicar a ausência de macrófitas aquáticas em um igarapé descaracterizado, eutrofizado e contaminado por diferentes compostos de origem urbana e industrial como o Mindu.

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, nos pontos analisados, podem estar impossibilitando o crescimento das macrófitas aquáticas no Mindu.

4.8 – Possível remoção mecânica das macrófitas pela dragagem do igarapé

Segundo Queiroz e colaboradores (2020) a prefeitura da cidade de Manaus promove, periodicamente, a dragagem de igarapés com a finalidade da remoção mecânica de particulados sólidos suspensos na água, aprofundar e alargar o canal para diminuir os riscos de inundação e promover sua limpeza e manutenção.

Entretanto, esse procedimento é realizado ao retirar e despejar o material do leito (em sua maioria areia) sobre as margens do igarapé, onde a mata ciliar deveria crescer, resultando na remoção da cobertura vegetal e das macrófitas aquáticas fixas que deveriam ocorrer no Mindu. Os sedimentos retirados acabam por retornar para o leito do corpo hídrico pela ação do vento e da precipitação, promovendo um efeito em cadeia de assoreamento dos taludes e mudanças na sinuosidade do rio, o que prejudica o crescimento de macrófitas flutuantes.

Entretanto, o estudo realizado por Queiroz e colaboradores (2020) não informa quantas vezes a prefeitura realiza essas dragagens do leito do Mindu, nem se ela ocorre em todo o igarapé ou apenas em locais específicos dele. Para futuros estudos, sugere-se o levantamento de dados sobre a periodicidade e localização das dragagens realizadas pela prefeitura de Manaus e analisar o impacto que essa ação possa ter sobre o desenvolvimento de macrófitas aquáticas no igarapé do Mindu.

5 – CONCLUSÃO

O presente estudo evidenciou a ausência de macrófitas aquáticas no igarapé do Mindu nos pontos analisados em dois períodos distintos (a cheia e a vazante do igarapé), uma perda de biodiversidade de espécies vegetais aquáticas amazônicas em um dos mais importantes igarapés da cidade de Manaus, a maior capital da Região Norte do Brasil (não contando com a zona metropolitana). Além disso a ausência dessas espécies vegetais aquáticas atua como um importante indicador da qualidade da água no igarapé do Mindu, e evidencia a possível presença de diversos poluentes ocorrendo ao mesmo tempo como efluentes domésticos orgânicos, micro e nanopartículas de plástico, metais pesados como Bário, Manganês, Alumínio e Ferro, todos já observados em amostras de água recolhidas do igarapé em estudos anteriores realizados por Souza (2020) e Loiola (2022).

Porém, essa ausência também pode estar sendo ocasionada por fatores físicos como a dragagem e remoção acidental de indivíduos pelas ações de “limpeza” e “manutenção”, realizadas pela prefeitura de Manaus no igarapé do Mindu.

Dos 9 pontos visitados, apenas o Ponto da nascente (Ponto 1) foi classificado como natural pelo PAR, nas duas coletas realizadas, que mostrou possuir falhas metodológicas e ineficiência em enquadrar os pontos ao apresentar o Ponto 5 como “Alterado”, na primeira coleta, enquanto na segunda apontou como “Natural” devido a

presença de apenas um indivíduo de *Caiman* sp. na margem direita do igarapé. É evidente que o resultado da somatória de pontos do PAR pode destoar da realidade observada ao analisar as características do ambiente de forma objetiva, a presença de vida animal nem sempre é garantia do estado preservado de um local pois só havia um indivíduo juvenil e este poderia não ser um habitante permanente do igarapé.

O cálculo de IET evidenciou uma diferença de classificação de estado em todos os pontos analisados, entre as duas coletas, havendo uma aparente melhora da qualidade da água na segunda coleta, entretanto o cálculo pode não estar representando a realidade ou quadro geral, principalmente quando se observa o aumento da concentração de nitrogênio total nas amostras da segunda coleta, indicador de maior atividade microbiana nas águas do igarapé durante o período da vazante.

Todos os pontos, com exceção do Ponto 1, apresentaram valores de OD inferiores ao mínimo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces, lóxicas, de classe II, e valores de pH, nitrogênio e fósforo totais acima do máximo permitido para essa classe de água e para rios de águas pretas, evidenciando um avançado processo de eutrofização e de descaracterização das águas do igarapé do Mindu, fazendo necessárias mais análises por períodos de tempo maiores do que o contemplado pelo presente estudo afim de confirmar se há, de fato, uma completa ausência de macrófitas no igarapé do Mindu e se esta está sendo ocasionada por múltiplos poluentes na água, pela remoção mecânica não intencional das macrófitas por meio das dragagens realizadas pela prefeitura para a “manutenção” do igarapé, ou por uma combinação dos fatores.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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. Acesso em: 27 de fevereiro. 2023.

CAMPOS, Julyenne Meneghetti; TEIXEIRA, José. Balanço de fósforo e nitrogênio em leitos cultivados com *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 24, p. 1-11, 2019.

CASSIANO, Karla Regina Mendes; COSTA, Reinaldo Corrêa. Análise geográfica de áreas de risco em bacias hidrográficas urbanizadas: a bacia do Mindu em Manaus (AM). **Territorium**, n. 19, p. 155-160, 2012.

CETESB (2007). Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo: 2006. São Paulo: CETESB, 2007.

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.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO/CETESB. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidas. São Paulo: **CETESB**; Brasília: ANA, 2011. p.325.

DE OLIVEIRA BIZZO, Myrella Rodrigues; MENEZES, Juliana; DE ANDRADE, Sandra Fernandes. Protocolos de avaliação rápida de rios (PAR). **Caderno de Estudos Geoambientais-CADEGEO**, 2014.

FLEXA, Gustavo da Silva 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.

GARCIA, Angelica Nunes. A atividade antrópica como acelerador de processos de eutrofização. São Paulo, p. 9, 2015. Disponível em: <http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/pgibt/2013/04/angelica.pdf>. Acesso em: 26 janeiro. 2020.

INSTITUTO TRATA BRASIL. Ranking do saneamento com avaliação dos serviços nas 100 maiores cidades do País. Disponível em: https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/09/Ranking_do_Saneamento_2021_-_tabela_das_100_maiores_cidades_do_Brasil_.pdf. Acesso em: 27 de fevereiro. 2023.

LAMPARELLI, M. C. Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. São Paulo: USP/ Departamento de Ecologia., 2004. 235 f. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, 2004.

LOIOLA, Sara Kethleen Soares de. **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 (INPA) e Universidade do Estado do Amazonas (UEA). Manaus, p. 116, 2022.

MANAUS. **Decreto N° 8.352 de 17 março de 2006.** Regulamenta dispositivos do plano diretor urbano e ambiental de Manaus referente à Criação de Corredores Ecológicos. Disponível em: <https://semmas.manaus.am.gov.br/wpcontent/uploads/2010/10/Decreto-8.351-de-17-de-mar%C3%A7o-de-2006.pdf>. Acesso em: janeiro de 2023.

MANAUS. **LEI N° 219, DE 11 DE NOVEMBRO DE 1993.** Institui o Conselho Municipal do Meio Ambiente, o Fundo Municipal para o Desenvolvimento e meio Ambiente, o Jardim Botânico de Manaus, as Reservas Ecológicas do Mindu e Tarumã. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a1/am/m/manaus/leiordinaria/1993/21/219/leiordinaria-n-219-1993-institui-o-conselho-municipal-do-meioambiente-o-fundomunicipalpara-o-desenvolvimento-e-meio-ambiente-o-jardimbotanico-de-manaus-as-reservas-ecologicas-do-mindu-e-taruma-e-da-outras-providencias>. Acesso em: janeiro de 2023

MELO, Emanuele Gurgel Freitas; SILVA, MSR da; 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.

OLIVEIRA, Juliana de Almeida Silva. **Uso de macrófitas para remoção de metais em efluentes líquidos.** Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 66, 2018.

QUEIROZ, Matheus Silveira et al. Expedição Mindu: Análise Geográfica Do Igarapé Do Mindu. **VII Workshop Internacional sobre Planejamento e Desenvolvimento Sustentável em bacias hidrográficas.** Manaus, p. 921- 932, 2020.

RODRIGUES, Ana Carolina D. et al. Mecanismos de respostas das plantas à poluição por metais pesados: Possibilidade de uso de macrófitas para remediação de

ambientes aquáticos contaminados. **Revista Virtual de Química**, v. 8, n. 1, p. 262-276, 2016.

SALATI, Eneas. Controle de qualidade de água através de sistemas de wetlands construídos. **Fundação Brasileira para o desenvolvimento sustentável**, Rio de Janeiro, p. 19, 2001.

SANTOS, Francine Manrique Canhizares; BOINA, Welliton Leandro de Oliveira. Bioindicadores: utilização de macrófitas aquáticas para avaliação de ambientes lacustres. **Colloquium Vitae**. ISSN: 1984-6436. p. 23-27, 2017.

SANTOS, Gabriel Borges et al. Bioquímica ambiental: as macrófitas aquáticas como fitorremediadoras e bioindicadoras de poluentes. **Revista Macambira**, v. 4, n. 2, p. 42004-42004, 2020.

SILVA, Larissa Albuquerque Marques; SILVA, Thais Tainan Santos; GONÇALVES, Elizabeth Amaral Pastich; SANTOS, Simone Machado. Uso sustentável de macrófitas no tratamento de efluentes: uma revisão sistemática. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 4, n. 4, p. 228-238, 2019.

SOUZA, Gleice Rodrigues. **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 (UFAM). Manaus, p.112, 2020.

SOUZA FILHO, Elton Alves; BATISTA, Ieda Hortêncio; DE ALBUQUERQUE, Carlossandro Carvalho. Levantamento de aspectos físico-químicos das águas da microbacia do mindu em Manaus-Amazonas. **Revista Geográfica da América Central**, vol. 2, nº 63, pág. 341-367, 2019.

SOUZA FILHO, Elton Alves 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, Vera Mônica. **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 (UFERSA). Mossoró, p. 47, 2018.

VIANA, Sabrina Mieko. **Riqueza e distribuição de macrófitas aquáticas no rio Monjolinho e tributários (São Carlos, SP) e análise de sua relação com variáveis físicas e químicas**. Dissertação (Ciências da Engenharia Ambiental) - Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, p. 57, 2005.

VIANA, Milton Costa et al. **Estudo de contaminantes em águas, sólidos totais suspensos e sedimentos de igarapés da zona urbana de Manaus-Amazonas**. Dissertação (Pós-graduação em Química) - Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Manaus, p. 108, 2018.

VON SPERLING, Marcos. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. DESA/UFMG. Belo Horizonte, Vol. 7. p. 452, 2007.

WANDERLEY, Emmanuelle Leite. **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, p.93, 2020.

7 - ANEXO 1: CARTA DE SOLICITAÇÃO

Ao protocolo SEMMAS, Manaus - Solicitação de autorização para desenvolvimento de projeto de pesquisa no Parque das Nascentes do Mindu e no Parque Municipal do Mindu

Prezado secretário Antônio Stroski,

Eu, Matheus da Rocha Uchôa de Paula, aluno regularmente matriculado no Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – Polo UEA, matrícula 2191930010, CPF: 030.866182-64, RG: 279439-3, venho por meio desta carta solicitar a este protocolo, em conformidade com que fora solicitado pela diretora Socorro Monteiro, autorização e permissão para a realização de coletas de amostras de água e registros fotográficos no Parque das Nascentes do Mindu e no Parque Municipal do Mindu com finalidade de levantamento de dados para a minha dissertação de mestrado sobre análise de água e contagem de espécies de macrófitas aquáticas no igarapé do Mindu.

Peço autorização.


MATHEUS DA ROCHA UCHÔA DE PAULA

8 - ANEXO 2: AUTORIZAÇÃO Nº 03/2022 – DMCAP/SEMMAS

Meio ambiente
e Sustentabilidade



Manaus
Prefeitura

Endereço: Rua Augusto B. nº 203 (Área Realizadora) - Vila do Prado, CEP: 69020-520.
Telefone: (92) 3236-7200

TERMO DE COMPROMISSO E AUTORIZAÇÃO PARA A REALIZAÇÃO DE PESQUISA Nº 03/2022 – DMCAP/SEMMAS

1. DADOS DO REQUERENTE

Discente responsável: Matheus da Rocha Uchôa de Paula		Cidade: Manaus
CPF: 030.866.182-64	RG: 2794393-3	
DDD/Telefone:		E-mail: mdrudp.mgr21@uea.br
Orientador responsável: Dra. Maria Astrid Rocha Liberato		Instituição: Universidade do Estado do Amazonas (UEA)
Curso: Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.	Contato:	E-mail: mestradoprogua@uea.edu.br
Endereço:		

2. DADOS DA SECRETARIA

Nome: Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade - SEMMAS	Fone: (92) 3236-6070
Setor Responsável: Departamento de Mudanças Climáticas e Áreas Protegidas – DMCAP	Fone: (92) 3236-7420

3. DESCRIÇÃO DA PESQUISA

TÍTULO: <p>Ausência de macrófitas aquáticas no igarapé do mindu: causas e suas implicações para o enquadramento.</p>
IDENTIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS: <p>O estudo tem como objetivo investigar a presença de macrófitas aquáticas no igarapé do Mindu e os principais fatores que dificultam e/ou impossibilitam seu crescimento. São objetivos específicos desta pesquisa: realizar coletas de amostras de água e registros fotográficos em nove pontos do igarapé; indicar o estado trófico de cada ponto de coleta; elaborar um relatório técnico norteador, direcionado a gestores de bacias, focado na importância das macrófitas aquáticas para o enquadramento de rios.</p>

4. CRONOGRAMA DE ATIVIDADES PARA O PERÍODO DE VIGÊNCIA DO TERMO

O cronograma de atividades encontra-se em anexo a esta autorização.

5. CONDICIONANTES



- O docente responsável deverá ter ciência e dar cumprimento no Protocolo e na Resolução nº 002/2002 – COMDEMA (Regimento de Uso das Unidades de Conservação Municipais);
- Os responsáveis pela pesquisa deverão arcar com os materiais e demais recursos que se fizerem necessários à execução da pesquisa;
- **Em caso de coleta, informar a quantidade e natureza do material, a metodologia de coleta e/ou captura, bem como à instituição onde o material coletado será depositado (para pesquisadores devidamente licenciados pelo Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade - SISBIO);**
- Esta autorização tem prazo de validade equivalente a 01 (um) mês.
- **Ao final da pesquisa o responsável deve apresentar a SEMMAS relatório descritivo e em PDF contendo registros fotográficos e textuais das atividades realizadas, bem como resultados alcançados;**
- Os resultados da pesquisa deverão estar à disposição desta SEMMAS;
- Esta autorização não dispensa a apresentação de outros documentos solicitados *a posteriori*.

6. CONSIDERAÇÕES

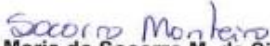
A presente pesquisa possui relevância para ser realizada nos Parques do Mindu e das Nascentes do Mindu uma vez que propõe identificar espécies vegetais que possam auxiliar no processo de recuperação do igarapé do Mindu. Ressalta-se que os dois parques, Mindu e Nascentes, pertencem à microbacia do igarapé do Mindu, estando um localizado nas nascentes e outro próximo, o Mindu, na foz do igarapé. Ambos possuem a mesma classificação dentro do Sistema Nacional de Unidade de Conservação (SNUC), Proteção Integral. Possuem o objetivo básico de preservar os atributos ambientais presentes nas suas áreas, sendo que o Parque das Nascentes protege as principais nascentes do igarapé do Mindu.

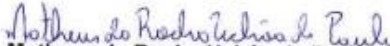
7. AUTORIZAÇÃO

Fica autorizado realização da pesquisa "Ausência de macrófitas aquáticas no igarapé do Mindu: causas e suas implicações para o enquadramento", nos Parques do Mindu e das Nascentes do Mindu, conforme solicitação do pesquisador responsável.

Este documento tem validade para o período de **01 (um) mês** a contar da data da assinatura deste **Termo**, prorrogável por igual período.

Manaus, 29 de dezembro de 2022.


Maria do Socorro M. da Silva
Chefe de Divisão de Análise
Técnica de Áreas Protegidas


Matheus da Rocha Uchôa de Paula
Responsável pela pesquisa

9 - ANEXO 3: PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO RÁPIDA DE RIOS (PAR), ADAPTADO DO PROTOCOLO DA AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DE OHIO (EUA)

Segundo Vargas e Ferreira (2012) a tabela 1, adaptada do protocolo da Agência de Proteção Ambiental de Ohio (EUA), "avalia as características de trechos da drenagem e nível de impactos Caderno de Estudos Geoambientais – CADEGEO v.04, n.01, p.05-13, 2014 8 ambientais decorrentes de atividades antrópicas, dando maior ênfase à qualidade da água e do substrato, e atribuindo menor peso a erosão e à cobertura vegetal das margens":

DESCRIÇÃO DO AMBIENTE			
Localização:			
Data da Coleta: / /		Hora da Coleta:	
Tempo (situação do dia):			
Modo de coleta (coletor):			
Tipo de ambiente: Córrego () Rio ()			
Largura média:			
Profundidade média:			
Temperatura da água:			
PARÂMETROS	PONTUAÇÃO		
	4 pontos	2 pontos	0 ponto
1. Tipo de ocupação das margens do corpo d'água (principal atividade)	Vegetação natural	Campo de pastagem/Agricultura/ Monocultura/ Reflorestamento	Residencial/ Comercial/ Industrial
2. Erosão próxima e/ou nas margens do rio e assoreamento em seu leito	Ausente	Moderada	Acentuada
3. Alterações antrópicas	Ausente	Alterações de origem doméstica (esgoto, lixo)	Alterações de origem industrial/ urbana (fábricas, siderurgias, canalização, retificação do curso do rio)
4. Cobertura vegetal no leito	Parcial	Total	Ausente
5. Odor da água	Nenhum	Esgoto (ovo podre)	Óleo/industrial
6. Oleosidade da água	Ausente	Moderada	Abundante
7. Transparência da água	Transparente	Turva/cor de chá-forte	Opaca ou colorida
8. Odor do sedimento (fundo)	Nenhum	Esgoto (ovo podre)	Óleo/industrial
9. Oleosidade do fundo	Ausente	Moderado	Abundante
10. Tipo de fundo	Pedras/cascalho	Lama/areia	Cimento/canalizado

10 - ANEXO 4: PROTOCOLO DE HANNAFORD ET AL. (1997)

E a tabela 2, adaptada do protocolo de Hannaford et al. (1997), "avalia a 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." (VARGAS; FERREIRA, 2012, p.163). A pontuação de 0 a 40 representa áreas consideradas "impactadas", de 41 a 60 áreas "alteradas" e de 61 a 100 áreas "naturais".

PARÂMETROS	PONTUAÇÃO			
	5 pontos	3 pontos	2 pontos	0 ponto
11. Tipos de fundo	Mais de 50% com habitats diversificadas; pedaços de troncos submersos; cascalho ou outros habitats estáveis.	30 a 50% de habitats diversificadas; habitats adequados para a manutenção das populações de organismos aquáticos.	10 a 30% de habitats diversificadas; disponibilidade de habitats insuficiente; substratos frequentemente modificados.	Menos que 10% de habitats diversificadas; ausência de habitats óbvia; substrato rochoso instável para fixação dos organismos.
12. Extensão de Rápidos	Rápidos e corredeiras bem desenvolvidas; rápidos tão largos quanto o rio e com o comprimento igual ao dobro da largura do rio.	Rápidos com a largura igual à do rio, mas com comprimento menor que o dobro da largura do rio.	Trechos rápidos podem estar ausentes; rápidos não tão largos quanto o rio e seu comprimento menor que o dobro da largura do rio.	Rápidos ou corredeiras inexistentes.
13. Frequência de Rápidos	Rápidos relativamente frequentes; distância entre rápidos dividida pela largura do rio entre 5 e 7.	Rápidos não frequentes; distância entre rápidos dividida pela largura do rio entre 7 e 15.	Rápidos ou corredeiras ocasionais; habitats formados pelos contornos do fundo; distância entre rápidos dividida pela largura do rio entre 15 e 25.	Geralmente com lâmina d'água "lisa" ou com rápidos rasos; pobreza de habitats; distância entre rápidos dividida pela largura do rio maior que 25.
14. Tipos de Substrato	Seixos abundantes (prevalecendo em nascentes).	Seixos abundantes; cascalho comum.	Fundo formado predominantemente por cascalho; alguns seixos presentes.	Fundo pedregoso; seixos ou lamosa.
15. Deposição de Lama	Entre 0 e 25% do fundo coberto por lama.	Entre 25 e 50% do fundo coberto por lama.	Entre 50 e 75% do fundo coberto por lama.	Mais de 75% do fundo coberto por lama.
16. Depósitos Sedimentares	Menos de 5% do fundo com deposição de lama; ausência de deposição nos remansos.	Alguma evidência de modificação no fundo, principalmente como aumento de cascalho, areia ou lama; 5 a 30% do fundo afetado; suave deposição nos remansos.	Deposição moderada de cascalho novo, areia ou lama nas margens; entre 30 a 50% do fundo afetado; deposição moderada nos remansos.	Grandes depósitos de lama, maior desenvolvimento das margens; mais de 50% do fundo modificado; remansos ausentes devido à significativa deposição de sedimentos.

Continuação...				
PARÂMETROS	PONTUAÇÃO			
	5 pontos	3 pontos	2 pontos	0 ponto
17. Alterações no canal do rio	Canalização (retificação) ou dragagem ausente ou mínima; rio com padrão normal.	Alguma canalização presente, normalmente próxima à construção de pontes; evidência de modificações há mais de 20 anos.	Alguma modificação presente nas duas margens; 40 a 80% do rio modificado.	Margens modificadas; acima de 80% do rio modificado.
18 Características do fluxo das águas	Fluxo relativamente igual em toda a largura do rio; mínima quantidade de substrato exposto.	Lâmina d'água acima de 75% do canal do rio; ou menos de 25% do substrato exposto.	Lâmina d'água entre 25 e 75% do canal do rio, e/ou maior parte do substrato nos "rápidos" exposto.	Lâmina d'água escassa e presente apenas nos remansos.
19. Presença de mata ciliar	Acima de 90% com vegetação ripária nativa, incluindo árvores, arbustos ou macrófitas; mínima evidência de desflorestamento; todas as plantas atingindo a altura "normal".	Entre 70 e 90% com vegetação ripária nativa; desflorestamento evidente mas não afetando o desenvolvimento da vegetação; maioria das plantas atingindo a altura "normal".	Entre 50 e 70% com vegetação ripária nativa; desflorestamento óbvio; trechos com solo exposto ou vegetação eliminada; menos da metade das plantas atingindo a altura "normal".	Menos de 50% da mata ciliar nativa; desflorestamento muito acentuado.
20 Estabilidade das Margens	Margens estáveis; evidência de erosão mínima ou ausente; pequeno potencial para problemas futuros. Menos de 5% da margem afetada.	Moderadamente estáveis; pequenas áreas de erosão frequentes. Entre 5 e 30% da margem com erosão.	Moderadamente instável; entre 30 e 60% da margem com erosão. Risco elevado de erosão durante enchentes.	Instável; muitas áreas com erosão; frequentes áreas descobertas nas curvas do rio; erosão óbvia entre 60 e 100% da margem.
21. Extensão de mata ciliar	Largura da vegetação ripária maior que 18 m; sem influência de atividades antrópicas (agropecuária, estradas, etc.).	Largura da vegetação ripária entre 12 e 18 m; mínima influência antrópica.	Largura da vegetação ripária entre 6 e 12 m; influência antrópica intensa.	Largura da vegetação ripária menor que 6 m; vegetação restrita ou ausente devido à atividade antrópica.
22. Presença de plantas Aquáticas	Pequenas macrófitas aquáticas e/ou musgos distribuídas pelo leito.	Macrófitas aquáticas ou algas filamentosas ou musgos distribuídas no rio, substrato com perifiton.	Algas filamentosas ou macrófitas em poucas pedras ou alguns remansos, perifiton abundante e biofilme.	Ausência de vegetação aquática no leito do rio ou grandes bancos macrófitas (p.ex. aguapé).