

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NO LIXÃO A CÉU
ABERTO NO MUNICÍPIO DE APUÍ, AMAZONAS**

ANDRÉ GUIMARÃES COLARES

ORIENTADOR: PROF. DR. BENONE OTÁVIO SOUZA DE OLIVEIRA

**Humaitá, AM
Julho, 2026**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NO LIXÃO A CÉU
ABERTO NO MUNICÍPIO DE APUÍ, AMAZONAS**

ANDRÉ GUIMARÃES COLARES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, do Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

ORIENTADOR: PROF. DR. BENONE OTÁVIO SOUZA DE OLIVEIRA

**Humaitá, AM
Julho, 2026**

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

G963a Guimarães, André Colares
Avaliação dos impactos ambientais no lixão a céu aberto no município de Apuí, Amazonas / André Colares Guimarães. - 2026.
67 f. : il., color. ; 31 cm.

Orientador(a): Benone Otávio Souza de Oliveira.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Humaitá, 2026.

1. Resíduos sólidos urbanos. 2. Lixão a céu aberto. 3. Índice de Qualidade de Aterro. 4. Índice de Qualidade da Água. 5. Amazônia. I. Oliveira, Benone Otávio Souza de. II. Universidade Federal do Amazonas. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. III. Título

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

FOLHA DE APROVAÇÃO

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NO LIXÃO A CÉU ABERTO
NO MUNICÍPIO DE APUÍ, AMAZONAS** (Linha de pesquisa 1 - Componentes e
dinâmicas dos ecossistemas com ênfase no bioma amazônico)

ANDRÉ GUIMARÃES COLARES

Dissertação defendida e aprovada em 29 de junho de 2026, pela comissão julgadora:

 Documento assinado digitalmente
BENONE OTAVIO SOUZA DE OLIVEIRA
Data: 28/08/2026 10:51:26-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Benone Otávio Souza de Oliveira
(PPGCA/UFAM) Orientador/Presidente
Universidade Federal do Amazonas - UFAM

 Documento assinado digitalmente
RENATO ABREU LIMA
Data: 28/08/2026 12:48:42-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Renato Abreu Lima
(PPGCA/UFAM) Membro Interno
Universidade Federal do Amazonas - UFAM

 Documento assinado digitalmente
RODRIGO COUTO ALVES
Data: 28/08/2026 11:02:16-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Rodrigo Couto Alves
(ICET/UFAM) Membro Externo
Universidade Federal do Amazonas - UFAM

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho, primeiramente, a Deus, fonte de força e sabedoria. À minha esposa, Alice Teles, pelo amor, pela paciência e pelo apoio incondicional durante esta jornada. À minha mãe e aos meus irmãos, por estarem sempre ao meu lado e constituírem meu porto seguro. Aos meus filhos, Andrew Teles, Anne Sophie Teles e André Junior Teles, razão de meus esforços e minha maior motivação.

.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por guiar meus passos e renovar minhas forças em cada etapa desta caminhada. À minha família, pelo carinho, incentivo e presença constante ao longo de toda a jornada.

Agradeço à Universidade Federal do Amazonas (UFAM), ao Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente (IEAA) e a toda a equipe do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) pela oportunidade de cursar o mestrado. Ao meu orientador, Prof. Dr. Benone Otávio Souza de Oliveira, por todos os ensinamentos e orientações ao longo do desenvolvimento desta pesquisa. Ao Prof. Me. José Cezar Frozzi, pela paciência, compreensão, dedicação e contribuições na elaboração desta dissertação. Agradeço, de forma especial, às equipes do Laboratório de Análises Clínicas e Microbiológicas e do Laboratório de Análise de Água, Efluentes, Ar, Solo e Petróleo (LAPEF), pela infraestrutura, suporte técnico e viabilização das análises laboratoriais indispensáveis à execução deste trabalho. Aos demais professores do PPGCA, pelas contribuições à minha formação por meio das disciplinas ministradas e dos incentivos pessoais.

Agradeço aos amigos Rodrigo Henrique Risso Aires Alves e Dayana Bitencourt de Moura por toda a ajuda durante a elaboração e execução deste trabalho, e a todos os demais amigos e amigas pelo apoio, incentivo, paciência e empatia. Por fim, agradeço a todos que acreditaram em mim e contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização desta conquista.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	9
LISTA DE QUADROS	10
LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS	11
RESUMO	12
ABSTRACT	13
1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos	16
1.1.1 Objetivo geral	16
1.1.2 Objetivos específicos	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 Resíduos sólidos urbanos e marco legal	17
2.2 Formas de disposição final de resíduos sólidos	18
2.3 Mecanismos de impacto e contaminação ambiental	19
2.4 Gestão de resíduos na Amazônia	20
2.5 Ferramentas de avaliação ambiental	21
2.5.1 Parâmetros do índice de qualidade de aterro de resíduos (IQR)	21
2.5.2 Parâmetros do Índice de Qualidade da Água (IQA)	22
2.5.2.1 Coliformes termotolerantes	22
2.5.2.2 Potencial hidrogeniônico	23
2.5.2.3 Condutividade elétrica	23
2.5.2.4 Demanda bioquímica de oxigênio	23
2.5.2.5 Nitrogênio total e suas formas (Nitrato e Nitrito)	24
2.5.2.6 Fósforo total e Fosfato	24
2.5.2.7 Turbidez	25
2.5.2.8 Sólidos dissolvidos totais (SDT) e Salinidade	25
2.5.2.9 Oxigênio dissolvido (OD)	26
2.5.2.10 Temperatura	26
3 METODOLOGIA	27
3.1 Classificação e delineamento da pesquisa	27
3.2 Caracterização da área de estudo	27
3.3 Caracterização da área de disposição de resíduos	28
3.4 Procedimentos para coleta de dados em campo	29
3.4.1 Avaliação do lixão por meio do Índice de Qualidade de aterro de Resíduos (IQR)	29
3.4.2 Monitoramento da qualidade da água (IQA)	30
3.5 Caracterização dos pontos de monitoramento	37

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1 Caracterização do Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos (IQR).	40
4.1.1 Cálculo do IQR	50
4.2 Caracterização da água do rio Juma.....	51
4.2.1 Parâmetros físico-químicos	51
4.2.2 Nutrientes	52
4.2.3 Matéria orgânica.....	53
4.2.4 Indicadores microbiológicos	54
4.2.5 Avaliação da qualidade da água (IQA)	54
4.2.6 Síntese integrada	55
5 CONCLUSÃO	56
6 RECOMENDAÇÕES	58
6.1 Ações imediatas de caráter operacional	58
6.2 Ações de investigação e monitoramento	58
6.3 Ações de estruturação regional	59
7 REFERÊNCIAS	60
ANEXO A — Curvas médias de variação dos parâmetros do IQA	66
ANEXO B — Planilha do índice de qualidade de aterro de resíduos	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização geográfica do município de Apuí (AM)	28
Figura 2 - Área de disposição de resíduos urbanos no município de Apuí (AM).....	29
Figura 3 - Localização dos pontos de monitoramento da qualidade da água no rio Juma, Apuí (AM)	33
Figura 4 - Ponto de amostragem a montante (P1) no rio Juma, durante o período de estiagem.	37
Figura 5 - Ponto de amostragem a montante (P1) no rio Juma, durante o período chuvoso.....	37
Figura 6 - Ponto de amostragem (P2) a jusante do lixão, durante o período de estiagem.....	38
Figura 7 - Ponto de amostragem (P2) a jusante do lixão, durante o período chuvoso.....	38
Figura 8 - Ponto de amostragem a jusante (P3) no rio Juma, durante o período de estiagem.....	39
Figura 9 - Trecho correspondente ao ponto P3, a jusante, no rio Juma, durante o período chuvoso	39
Figura 10 - Ponto de amostragem a jusante (P4) no rio Juma, durante o período de estiagem...	39
Figura 11 - Amostragem no ponto P4, a jusante, no rio Juma durante o período chuvoso.....	39
Figura 12 - Entrada do lixão sem portaria	42
Figura 13 - Deposição de resíduos diretamente sobre o solo	42
Figura 14 - Encosta sem proteção vegetal	43
Figura 15 - Resíduos sem compactação ou cobertura	43
Figura 16 - Acúmulo de águas pluviais na área de disposição	43
Figura 17 - Escoamento lateral de águas pluviais pela encosta	43
Figura 18 - Escoamento de efluentes no fundo do terreno do lixão.....	44
Figura 19 - Coloração escura na Cachoeira da Morena durante a estiagem	45
Figura 20 - Cachoeira da Morena no período chuvoso	45
Figura 21 - Presença de catadores na área de disposição	46
Figura 22 - Abrigos improvisados na área de disposição	46
Figura 23 - Resíduos de saúde expostos na área de disposição.....	47
Figura 24 - Despejo de efluentes sem controle sobre o solo	47
Figura 25 - Localização do lixão de Apuí (AM) em relação ao núcleo habitacional	49
Figura 26 - Piscicultura em área adjacente ao rio Juma a montante	50
Figura 27 - Pecuária bovina nas margens do rio Juma a montante	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Avaliação do Índice da Qualidade de Aterro de Resíduos – IQR	30
Tabela 2 - Dados das coordenadas geográficas	31
Tabela 3 – Síntese dos procedimentos analíticos empregados no monitoramento da qualidade da água do rio Juma	34
Tabela 4 - Valores de pesos de cada parâmetro do IQA	35
Tabela 5 - Classificação dos valores do IQA nos estados brasileiros	36
Tabela 6 - Resultados das análises da água do rio Juma	51
Tabela 7 – Valores e classificação do IQA para a estação chuvosa ...	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resultados da avaliação da infraestrutura - primeira parte da planilha IQR.	40
Quadro 2 - Resultados da avaliação das condições operacionais – segunda parte da planilha IQR	45
Quadro 3 - Resultados da avaliação das características locacionais – terceira parte da planilha IQR.	48

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

AAM	Associação Amazonense de Municípios
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABREMA	Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente
ALEAM	Assembleia Legislativa do Amazonas
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APHA	American Public Health Association
CE	Condutividade Elétrica
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CT	Coliformes Termotolerantes
DBO _{5,20}	Demanda Bioquímica de Oxigênio
FT	Fósforo Total
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEAA/UFAM	Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente
IPAAM	Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas
IQA	Índice de Qualidade da Água
IQR	Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos
LAPEF	Laboratório de Análise de Água, Efluentes, Ar, Solo e Petróleo
NO ₂	Nitrito
NO ₃	Nitrato
NSF	National Sanitation Foundation
NT	Nitrogênio Total
OD	Oxigênio Dissolvido
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PERS/AM	Política Estadual de Resíduos Sólidos do Amazonas
pH	Potencial Hidrogeniônico
PMGIRS	Plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PO ₄ ³⁻	Fosfato
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SEMA-AM	Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Amazonas
SNIS	Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento
UNT	Unidade Nefelométrica de Turbidez

RESUMO

COLARES, A. G. **Avaliação dos impactos ambientais no lixão a céu aberto no município de Apuí, Amazonas.** 2026. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente, Universidade Federal do Amazonas, Humaitá, 2026.

A disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos (RSU) constitui um desafio ambiental nos municípios amazônicos, especialmente em localidades com limitações na infraestrutura de saneamento. No município de Apuí (AM), a permanência de um lixão a céu aberto representa um passivo ambiental com potencial de afetar o solo, os recursos hídricos e as condições ambientais locais. Nesse contexto, esta pesquisa teve como objetivo avaliar os impactos ambientais associados ao lixão de Apuí por meio da aplicação integrada do Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR) e do Índice de Qualidade da Água (IQA). A pesquisa caracteriza-se como aplicada, de abordagem quali-quantitativa e caráter descritivo-exploratório. O estudo compreendeu levantamento bibliográfico e documental, avaliação das condições locais, estruturais e operacionais da área por meio do IQR adaptado da CETESB e monitoramento da qualidade da água do rio Juma nos períodos de estiagem (outubro de 2025) e chuvoso (março de 2026). Foram analisados parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, comparados, quando aplicável, aos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces de Classe 2. O IQR obtido foi de 2,1, classificando a área como inadequada e evidenciando deficiências estruturais, operacionais e de proteção ambiental, incluindo ausência de impermeabilização do solo, sistemas de drenagem e tratamento de lixiviados e controle operacional adequado. Na avaliação da qualidade da água, foram registradas concentrações de $\text{DBO}_{5,20}$ superiores ao padrão de referência em P1 e P3 durante a estiagem, enquanto o fosfato apresentou maior concentração nesse período, sendo utilizado apenas como parâmetro complementar. No período chuvoso, registrou-se pH de 5,7 em P1, abaixo do limite mínimo estabelecido para águas doces de Classe 2. O IQA, calculado para o período chuvoso, foi de 59 em P1, a montante, e 58 em P4, a jusante, classificando a qualidade da água como Boa em ambos os pontos. A ausência de nitrogênio total e fósforo total na campanha de estiagem impossibilitou o cálculo do IQA nesse período. A identificação de atividades de piscicultura e pecuária a montante evidenciou a existência de outras fontes potenciais de nutrientes, matéria orgânica e microrganismos na bacia. Conclui-se que a aplicação integrada do IQR e do IQA possibilitou caracterizar as condições da área de disposição e da qualidade da água nos trechos monitorados, evidenciando inadequações na disposição dos resíduos e alterações pontuais em parâmetros da água. Entretanto, a presença de múltiplas fontes potenciais e as limitações do delineamento amostral não permitem atribuir exclusivamente ao lixão as alterações observadas, reforçando a necessidade de monitoramento ambiental sistemático e de medidas voltadas ao encerramento e à recuperação da área.

Palavras-chave: Resíduos sólidos urbanos; Lixão a céu aberto; Índice de Qualidade de Aterro; Índice de Qualidade da Água; Amazônia.

ABSTRACT

COLARES, A. G. **Assessment of environmental impacts of the open dumpsite in the municipality of Apuí, Amazonas.** 2026. 67 f. Dissertation (Master's Degree in Environmental Sciences) – Institute of Education, Agriculture and Environment, Federal University of Amazonas, Humaitá, 2026.

Improper disposal of municipal solid waste (MSW) constitutes an environmental challenge in Amazonian municipalities, particularly in areas with limited sanitation infrastructure. In the municipality of Apuí, Amazonas State, Brazil, the continued use of an open dumpsite represents an environmental liability with the potential to affect soil, water resources, and local environmental conditions. In this context, this study aimed to assess the environmental impacts associated with the Apuí open dumpsite through the integrated application of the Landfill Quality Index (LQI) and the Water Quality Index (WQI). This applied research adopted a qualitative and quantitative approach with descriptive and exploratory characteristics. The study comprised a bibliographic and documentary review, assessment of the locational, structural, and operational conditions of the disposal site using the CETESB-adapted LQI, and monitoring of the water quality of the Juma River during the dry (October 2025) and rainy (March 2026) periods. Physical, chemical, and microbiological parameters were analyzed and, when applicable, compared with the standards established by CONAMA Resolution No. 357/2005 for Class 2 freshwaters. The LQI score was 2.1, classifying the disposal site as inadequate and revealing structural, operational, and environmental protection deficiencies, including the absence of soil lining, leachate drainage and treatment systems, and adequate operational control. Water quality assessment showed BOD_{5,20} concentrations above the reference standard at P1 and P3 during the dry period, while phosphate concentrations were higher during this period and were used only as a complementary parameter. During the rainy period, a pH of 5.7 was recorded at P1, below the minimum limit established for Class 2 freshwaters. The WQI, calculated for the rainy period, was 59 at P1, upstream, and 58 at P4, downstream, classifying water quality as Good at both sampling points. The absence of total nitrogen and total phosphorus data during the dry-period campaign prevented calculation of the WQI for this period. The identification of fish farming and cattle ranching activities upstream indicated the presence of additional potential sources of nutrients, organic matter, and microorganisms within the watershed. It is concluded that the integrated application of the LQI and WQI enabled the characterization of both the disposal site's conditions and water quality in the monitored river reaches, revealing inadequate waste disposal conditions and localized changes in water quality parameters. However, the presence of multiple potential sources and the limitations of the sampling design preclude attributing the observed changes exclusively to the dumpsite, reinforcing the need for systematic environmental monitoring and measures aimed at site closure and environmental recovery.

Keywords: Municipal solid waste; Open dumpsite; Landfill Quality Index; Water Quality Index; Amazon.

1 INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) representa um dos grandes desafios ambientais contemporâneos, especialmente em países em desenvolvimento, onde a urbanização acelerada nem sempre é acompanhada por infraestrutura adequada. Estima-se que a geração mundial de resíduos continue em escala ascendente, pressionando os sistemas de gerenciamento e demandando soluções integradas (Oliveira *et al.*, 2016).

No Brasil, em 2022, foram gerados cerca de 77 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos, dos quais aproximadamente 93% foram efetivamente coletados (ABREMA, 2024). Entre os resíduos coletados, cerca de 61% tiveram destinação ambientalmente adequada, predominantemente em aterros sanitários, enquanto aproximadamente 39% ainda foram encaminhados para áreas de disposição final inadequada, como lixões e aterros controlados (ABREMA, 2024). Esse cenário revela que, apesar dos avanços institucionais e normativos promovidos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei n.º 12.305/2010) e por instrumentos regulatórios complementares (BRASIL, 2010), a persistência de modelos de disposição inadequada apresenta potencial de comprometer a qualidade ambiental e a saúde pública, sobretudo em regiões nas quais os percentuais de destinação inadequada permanecem elevados (ABREMA, 2024).

A problemática se intensifica nas regiões Norte e Nordeste, onde se concentram os maiores índices de disposição irregular. Cerca de 41% dos resíduos gerados nessas regiões foram destinados a lixões, refletindo a carência de infraestrutura e recursos técnicos (BRASIL, 2023). Nesse contexto, Nascimento (2023) destaca que essa realidade evidencia falhas críticas na implementação de sistemas de gestão integrada, especialmente em municípios de menor porte.

No Amazonas, a gestão de resíduos ainda apresenta fragilidades estruturais e infraestrutura insuficiente para destinação adequada (BRASIL, 2023), situação que se agrava em municípios do interior como Apuí (AM), onde o descarte a céu aberto representa potencial risco ambiental e sanitário à população e aos ecossistemas locais. Essa vulnerabilidade compromete o solo, a biodiversidade e, sobretudo, os recursos hídricos (Ferreira *et al.*, 2021). A Lei n.º 12.305/2010 estabeleceu diretrizes para a eliminação dos lixões, porém a falta de recursos e fiscalização compromete seu cumprimento (Campos, 2022), quadro reforçado pelo Novo Marco Legal do Saneamento (Lei n.º 14.026/2020), que tornou a extinção dessas áreas uma obrigação legal com prazo definido.

Contudo, embora o prazo legal para a extinção definitiva dessas áreas tenha se encerrado em agosto de 2024, a realidade em municípios como Apuí (AM) demonstra a persistência dessa irregularidade. As limitações técnicas e financeiras enfrentadas pelos municípios do interior do Amazonas para a estruturação de serviços adequados de manejo e disposição final de resíduos configuram um obstáculo significativo ao cumprimento da legislação ambiental (Alves *et al.*, 2020).

A disposição inadequada de resíduos sólidos, como os lixões a céu aberto, constitui obstáculo significativo à efetivação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), gerando impactos ambientais e sociais que comprometem a qualidade dos recursos naturais e a saúde da população. A contaminação do solo e da água pelo líquido lixiviado, a proliferação de vetores e a desvalorização imobiliária figuram entre as consequências diretas dessa prática, especialmente em contextos de vulnerabilidade socioambiental (Lima; Paulo, 2018). No interior da Amazônia, esse cenário se agrava em função da elevada sensibilidade ecológica da região e da escassez de diagnósticos técnicos específicos capazes de orientar ações de remediação eficazes (Jesus, 2021), o que reforça a necessidade de avaliação ambiental sistemática em municípios como Apuí.

A complexidade desses impactos demanda instrumentos de avaliação técnica integrada. Destaca-se, nesse âmbito, o Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR), metodologia da CETESB que permite diagnosticar a adequação operacional de locais de disposição (Borba *et al.*, 2021). Complementarmente, dado o risco de lixiviação e contaminação de águas superficiais por lixões a céu aberto, o Índice de Qualidade da Água (IQA) constitui ferramenta essencial para mensurar a condição ambiental dos corpos hídricos receptores (Menezes *et al.*, 2010). A aplicação integrada desses índices possibilita diagnóstico técnico abrangente das alterações ambientais associadas à disposição irregular de resíduos, articulando a avaliação da fonte poluidora (IQR) à avaliação do corpo hídrico potencialmente sujeito à influência de diferentes fontes antrópicas (IQA).

Diante desse panorama, coloca-se a seguinte questão norteadora: De que forma a aplicação integrada do Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos e do Índice de Qualidade da Água pode contribuir para o diagnóstico das condições ambientais da área de disposição de resíduos de Apuí e da qualidade da água do rio Juma?

A relevância dessa investigação decorre diretamente da lacuna técnica identificada: a análise das condições operacionais do lixão e de seus impactos sobre os corpos hídricos adjacentes constitui ação estratégica para subsidiar o encerramento da área e a transição para

sistemas de disposição ambientalmente adequados. Propõe-se, para tanto, a aplicação integrada de duas ferramentas de avaliação — o IQA, para caracterizar a qualidade da água superficial nos pontos monitorados, e o IQR, adaptado às especificidades de áreas de disposição irregular conforme preconizado pela literatura técnica. A adaptação do IQR permite classificar o nível de precariedade operacional e estrutural do lixão, quantificando os riscos associados à fonte poluidora, enquanto o IQA mensura uma condição observada da qualidade no corpo receptor.

A pesquisa correlaciona-se diretamente a metas específicas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 (ONU, 2019). No âmbito do ODS 6 (Água Potável e Saneamento), o estudo dialoga com a meta 6.3, referente à melhoria da qualidade da água mediante redução da poluição e eliminação do descarte inadequado de efluentes e resíduos. No âmbito do ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), relaciona-se à meta 11.6, que trata da redução do impacto ambiental negativo per capita das cidades, incluindo a gestão adequada de resíduos municipais. Já no âmbito do ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), a pesquisa converge com as metas 12.4 e 12.5, relativas ao manejo ambientalmente adequado de resíduos ao longo de seu ciclo de vida e à redução substancial de sua geração. Essa articulação evidencia que o diagnóstico técnico proposto não se limita à escala local, mas contribui para o cumprimento de compromissos internacionais assumidos pelo Brasil.

Diante do exposto, esta pesquisa teve como objetivo analisar os impactos ambientais do lixão municipal de Apuí (AM), mediante a integração dos indicadores IQR e IQA. Busca-se, com isso, gerar dados técnicos que subsidiem políticas públicas locais voltadas ao encerramento definitivo dessa disposição inadequada e à transição para soluções de gestão de resíduos sólidos urbanos ambientalmente corretas.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar as condições ambientais associadas ao lixão a céu aberto de Apuí (AM), por meio da aplicação integrada do Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos e do Índice de Qualidade da Água, a fim de subsidiar medidas de gestão, mitigação e monitoramento ambiental.

1.1.2 Objetivos específicos

a) Diagnosticar as condições locais, estruturais e operacionais do lixão de Apuí (AM) por meio da aplicação de critérios adaptados do IQR;

b) Avaliar a qualidade da água do rio Juma adjacente à área de disposição de resíduos sólidos, com base em parâmetros físicos, químicos e microbiológicos;

c) Determinar o Índice de Qualidade da Água (IQA) do rio Juma nos pontos de montante e jusante da área de disposição de resíduos sólidos, classificando sua qualidade conforme a metodologia adotada pela ANA (2024);

d) Propor diretrizes técnicas para mitigação dos impactos ambientais potenciais observados, com base na integração dos resultados do IQR e do IQA, subsidiando ações voltadas ao encerramento do lixão.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Resíduos sólidos urbanos e marco legal

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei Federal nº 12.305 (BRASIL, 2010), constitui o marco regulatório fundamental para a gestão desse setor no Brasil. A legislação define resíduos sólidos como materiais, substâncias ou objetos descartados resultantes de atividades humanas, cuja destinação final se procede nos estados sólido ou semissólido. Estão incluídos nesta definição os gases contidos em recipientes e os líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água (BRASIL, 2010).

Segundo Madeira *et al.* (2022), a referida Lei estabeleceu diretrizes estratégicas para a gestão integrada, incluindo prazos específicos para a eliminação gradual dos lixões. Essa modalidade de disposição final é considerada a mais nociva ao equilíbrio ambiental, uma vez que não prevê sistemas de tratamento prévio ou impermeabilização, implicando no despejo direto dos resíduos no solo. Tal prática pode favorecer a contaminação direta de matrizes ambientais, além de comprometer a saúde pública das comunidades adjacentes (Silva, 2012).

A disposição inadequada de resíduos gera impactos multidimensionais, afetando o solo, a atmosfera e, de forma crítica, os recursos hídricos. Entre as consequências observadas, Martins e Ribeiro (2021) destacam a degradação da paisagem, a proliferação de vetores de doenças e a emissão descontrolada de poluentes por queima espontânea. Esses fatores, somados à exposição a substâncias tóxicas, representam riscos sanitários persistentes, especialmente em regiões com carência de infraestrutura de saneamento.

Quanto à caracterização técnica, a norma ABNT NBR 10004:2024 (ABNT, 2024) classifica os resíduos sólidos em duas categorias principais, baseadas em seus riscos potenciais:

- Classe I (Perigosos): resíduos que apresentam propriedades de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade.

- Classe II (Não Perigosos): subdivididos em II A (Não Inertes), que podem apresentar propriedades de biodegradabilidade ou solubilidade em água; e II B (Inertes), que não têm seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade (ABNT, 2024).

A decomposição da fração orgânica presente nos resíduos, majoritariamente da Classe II A em contextos urbanos, resulta na geração de líquido lixiviado. Conforme definido pela ABNT NBR 8419:1992 (ABNT, 1992), o líquido lixiviado é o líquido resultante da percolação de água através dos resíduos, caracterizado por coloração escura, odor forte e elevada Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_{5,20}). Devido à sua composição complexa, o líquido lixiviado está associado a um elevado potencial de contaminação para solos e águas subterrâneas e superficiais (Madeira *et al.*, 2022).

2.2 Formas de disposição final de resíduos sólidos

A disposição final de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil ocorre predominantemente em três modalidades com níveis distintos de controle ambiental: lixões, aterros controlados e aterros sanitários (Alfaia *et al.*, 2017).

Os lixões representam a forma mais rudimentar de descarte, caracterizando-se como depósitos a céu aberto sem qualquer impermeabilização de base ou sistema de tratamento de efluentes e gases. Essa ausência de controle favorece a proliferação de vetores, a emissão de odores e o acesso irregular de catadores e animais (Lima *et al.*, 2017; Martins; Ribeiro, 2021). Juridicamente, o Art. 47 da Lei nº 12.305/2010 proíbe expressamente esta prática (BRASIL, 2010).

O aterro controlado caracteriza-se como uma técnica de confinamento de resíduos sólidos, na qual estes são recobertos por camadas de solo, com o objetivo de reduzir a proliferação de vetores e minimizar o impacto visual (ABNT, 1985). Todavia, destaca-se que essa modalidade não é reconhecida como forma de disposição final ambientalmente adequada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, que estabelece o aterro sanitário como a única solução tecnicamente aceita para tal finalidade (BRASIL, 2010).

Embora o aterro controlado seja objeto de normatização pela ABNT NBR 8849:1985 (ABNT, 1985), a ausência de sistemas de impermeabilização da base, bem como de tratamento adequado de efluentes líquidos e gasosos, compromete sua eficácia ambiental. Dessa forma, na prática, essa técnica constitui uma forma inadequada de manejo de resíduos, uma vez que mantém o potencial de contaminação dos recursos hídricos por lixiviados (Madeira *et al.*, 2022).

Em contrapartida, o aterro sanitário representa a única solução de engenharia sanitária que atende integralmente aos requisitos de disposição final ambientalmente adequada estabelecidos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010). Sua concepção, implantação e operação são disciplinadas pela ABNT NBR 13896:1997 (ABNT, 1997), a qual estabelece critérios técnicos para o manejo de resíduos sólidos não perigosos em sistemas devidamente controlados.

Diferentemente de modalidades menos estruturadas, o aterro sanitário baseia-se na adoção de sistemas de barreiras de estanqueidade, incluindo a impermeabilização da base e das laterais, bem como na implementação de dispositivos de drenagem e tratamento de lixiviados e de captação e manejo de biogás (ABNT, 1997). Ademais, contempla a execução de um plano sistemático de monitoramento ambiental e geotécnico, o que assegura a proteção do solo, das águas subterrâneas e da atmosfera, minimizando os impactos ambientais associados à disposição de resíduos sólidos (Lima; Paulo, 2018; Urban, 2015).

2.3 Mecanismos de impacto e contaminação ambiental

Historicamente, a água foi compreendida como um recurso público inesgotável devido à sua capacidade intrínseca de regeneração (Glória *et al.*, 2017). No entanto, a pressão exercida pelo crescimento populacional e o aumento da demanda hídrica *per capita* têm comprometido a qualidade e a disponibilidade de água doce em escala global (Cajas, 2021). Esse cenário de vulnerabilidade hídrica é agravado pelo aporte inadequado de efluentes domésticos e industriais, que elevam a carga de patógenos e metais pesados nos corpos receptores, intensificando os riscos epidemiológicos e a degradação ambiental (Batista, 2022).

No contexto brasileiro, a disposição final de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) ocorre em lixões, aterros controlados e aterros sanitários, que apresentam níveis contrastantes de conformidade ambiental (Alfaia *et al.*, 2017). Os lixões configuram a modalidade mais nociva, pois consistem no depósito de rejeitos diretamente sobre o solo, sem qualquer barreira de estanqueidade (ABRELPE, 2018). Similarmente, os aterros controlados, embora adotem medidas paliativas como o recobrimento dos resíduos com solo, carecem de sistemas eficazes de impermeabilização e tratamento de lixiviados, perpetuando impactos similares aos dos lixões (Quadros *et al.*, 2018).

A disposição inadequada potencializa a infiltração do percolato ou líquido lixiviado caracterizado por elevada Demanda Bioquímica de Oxigênio ($DBO_{5,20}$). Este efluente apresenta elevado potencial poluidor quando comparado ao esgoto doméstico, o que pode contribuir para a contaminação de solos e aquíferos (Mageswari *et al.*, 2017; Valente *et al.*, 2016; ABREMA,

2024). Ademais, a presença de metais pesados provenientes de resíduos eletroeletrônicos e baterias amplia os riscos de bioacumulação e persistência ambiental (Borba *et al.*, 2021).

Para mitigar tais danos, a conformidade com a ABNT NBR 10004:2024 (ABNT, 2024) e com a Resolução CONAMA nº 420 (BRASIL, 2009) é fundamental para o gerenciamento de áreas contaminadas. Complementarmente, a Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece as diretrizes para a classificação dos corpos hídricos e padrões de qualidade ambiental, definindo limites para o lançamento de efluentes visando a preservação dos usos preponderantes da água (Glória *et al.*, 2017).

2.4 Gestão de resíduos na Amazônia

A implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) na Amazônia enfrenta óbices estruturais e logísticos complexos, agravados pela escassez de recursos financeiros e limitações técnicas municipais. Em decorrência disso, a destinação inadequada em vazadouros a céu aberto (lixões) ou aterros controlados ainda se apresenta como prática predominante na região (Oliveira *et al.*, 2016).

Dados do Censo Demográfico do IBGE (2022) e do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2022) ratificam que a Região Norte detém indicadores de saneamento críticos quando comparados à média nacional (BRASIL, 2023). Sob essa perspectiva territorial, a Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA, 2024) aponta que, do total de 5,6 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) gerados na Região Norte em 2022, cerca de 63,4% do montante coletado teve destinação final inadequada, evidenciando o maior índice de desconformidade entre as macrorregiões brasileiras.

A efetividade da gestão de resíduos na região depende de estratégias adaptadas à realidade local, exigindo a articulação entre esferas governamentais e o comprometimento com o manejo sustentável (Madeira *et al.*, 2022). No Amazonas, a Política Estadual de Resíduos Sólidos (Lei nº 4.457/2017) busca alinhar-se à legislação federal, contudo, o estado ainda carece de infraestrutura que atenda integralmente às normas ambientais (ALEAM, 2018). Nesse contexto, o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) torna-se o instrumento essencial para o diagnóstico e planejamento de metas de universalização (Alves *et al.*, 2020).

O município de Apuí (AM) exemplifica essa fragilidade sistêmica. A operação de um lixão a céu aberto em proximidade ao rio Juma gera riscos ambientais e sanitários severos, dada a potencialidade de transporte de contaminantes para este corpo hídrico (AAM, 2012). Nesse cenário, iniciativas governamentais recentes visam apoiar a transição para modelos de aterro

sanitário, etapa crucial para a mitigação de impactos e para a promoção da sustentabilidade em um ecossistema de alta sensibilidade como o sul do Amazonas.

Nesse contexto, essas ações de modernização encontram respaldo na ABNT NBR 15849 (ABNT, 2010), diretriz que estabelece os critérios para a implantação, operação e encerramento de aterros sanitários de pequeno porte. A aplicação desta norma técnica atua como elemento balizador fundamental para a realidade de pequenas municipalidades, uma vez que flexibiliza exigências construtivas complexas sem comprometer os requisitos mínimos de proteção ambiental, como a impermeabilização de base e o controle do fluxo de líquidos lixiviados.

2.5 Ferramentas de avaliação ambiental

2.5.1 Parâmetros do Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR)

O Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR) constitui um instrumento de avaliação desenvolvido pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) para diagnosticar as condições de operação e de adequação ambiental das instalações de disposição final de resíduos sólidos domiciliares (CETESB, 2022). Trata-se de uma metodologia baseada em questionário padronizado, que considera variáveis locais, estruturais e operacionais, permitindo classificar a unidade quanto às suas condições de funcionamento e ao atendimento dos requisitos ambientais estabelecidos pela legislação vigente (CETESB, 2022; Lima *et al.*, 2017).

As variáveis relacionadas às características do local e à infraestrutura de apoio avaliam a adequação da área de disposição final quanto aos aspectos geológicos, locais e estruturais. Nesse conjunto, consideram-se parâmetros como a distância de núcleos habitacionais e de corpos hídricos superficiais, a vida útil remanescente, bem como a existência de cerca perimetral e guarita de controle. Segundo Lima *et al.* (2017), a infraestrutura de apoio representa a primeira barreira de proteção da unidade, ao restringir o acesso e reduzir conflitos com o uso do solo e com áreas ambientalmente sensíveis.

As variáveis relacionadas às condições operacionais e às medidas de proteção ambiental avaliam a eficiência técnica do manejo dos resíduos. Entre os aspectos observados, destacam-se a qualidade do recobrimento diário, a impermeabilização da base, a eficiência dos sistemas de drenagem e tratamento de lixiviados e a captação de biogás. De acordo com Guerra *et al.* (2010), a deficiência desses componentes pode favorecer processos de contaminação do solo e dos recursos hídricos, comprometendo a segurança ambiental da área de disposição final.

As variáveis relacionadas às condições sanitárias e a outras informações complementares analisam os impactos imediatos à saúde pública e ao meio ambiente do

entorno. Nesse grupo, incluem-se a presença de catadores e animais na área, a ocorrência de vetores, a emissão de odores e a prática de queima de resíduos a céu aberto (CETESB, 2022). A avaliação desses elementos é fundamental para identificar o grau de precariedade sanitária da unidade e sua conformidade com os princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010).

2.5.2 Parâmetros do índice de qualidade da água (IQA)

O monitoramento de águas superficiais e subterrâneas consiste na medição contínua ou periódica de parâmetros de qualidade e quantidade, essencial para caracterizar bacias hidrográficas, identificar tendências e subsidiar a gestão de recursos hídricos (Miranda *et al.*, 2021).

A CETESB adaptou o Índice de Qualidade da Água (IQA), baseado no modelo NSF-WQI originalmente desenvolvido nos Estados Unidos, à realidade brasileira, incorporando nove parâmetros com pesos específicos: oxigênio dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_{5,20}), Potencial Hidrogeniônico (pH), temperatura, turbidez, coliformes termotolerantes (CT), nitrogênio total (NT), fósforo total (FT) e sólido dissolvido total (SDT), priorizando abastecimento público (CETESB, 2022).

2.5.2.1 Coliformes termotolerantes

Os microrganismos pertencentes ao grupo coliforme são amplamente reconhecidos como os indicadores preponderantes de contaminação fecal em matrizes hídricas. A detecção desses organismos fornece uma evidência segura da presença de dejetos de origem humana ou animal, sinalizando, conseqüentemente, o risco potencial de transmissão de patógenos e doenças de veiculação hídrica. Segundo demonstra Von Sperling (2014), essa análise é fundamental para a vigilância sanitária, pois a ocorrência desses indicadores reflete diretamente a integridade da água e sua aptidão para o consumo e uso recreativo.

De acordo com Siqueira *et al.* (2012), os coliformes termotolerantes correspondem a bactérias gram-negativas, de morfologia bacilar, comumente associadas às fezes de seres humanos e de outros animais de sangue quente. Entretanto, ressalta-se que esses microrganismos também podem ocorrer naturalmente em solos, vegetação e diferentes matrizes ambientais, não sendo, portanto, sua presença um indicativo exclusivo de contaminação fecal. Em áreas onde as populações utilizam a água *in natura* para consumo, sua análise é um instrumento crucial de vigilância epidemiológica (Humann *et al.*, 2019).

2.5.2.2 Potencial hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico (pH) mensura a concentração de íons de hidrogênio, indicando o estado de acidez, neutralidade ou alcalinidade do meio aquoso (Omer, 2019). Em ecossistemas amazônicos, esse parâmetro é fortemente influenciado pelo pulso de inundação e pela decomposição da matéria orgânica das florestas alagáveis, como os igapós. Dada a suscetibilidade de grande parte da biota aquática às oscilações do meio, sua análise torna-se um fator determinante para a estabilidade dos ecossistemas e para a compreensão do metabolismo das comunidades biológicas (Silva, 2016).

Nesse sentido, o pH é considerado um indicador fundamental para o monitoramento e controle da poluição hídrica, uma vez que interfere na toxicidade de substâncias e na solubilidade de metais potencialmente tóxicos presentes no sedimento. De acordo com Fernandes *et al.* (2017), a ocorrência de valores extremos — especificamente níveis inferiores a 4,0 ou superiores a 11,0 — pode resultar na mortandade de diversas espécies, reforçando a necessidade de vigilância rigorosa sobre esse parâmetro em áreas sob influência de atividades antrópicas.

2.5.2.3 Condutividade elétrica (CE)

A condutividade elétrica (CE) constitui um indicador direto da concentração de íons dissolvidos na água. Contudo, no monitoramento ambiental, variações acentuadas de CE atuam como um indicador indireto de poluição, sugerindo o descarte de efluentes industriais ou o aporte de lixiviados de alta carga iônica (Philippi Júnior; Romero; Bruna, 2014). Desse modo, níveis elevados de condutividade sinalizam a introdução de espécies iônicas exógenas no sistema aquático.

Segundo Guimarães e Nour (2001), esse incremento pode associar-se ao lançamento de esgoto doméstico e demais despejos orgânicos que, sob decomposição, liberam íons como cálcio, magnésio, potássio, sódio, fosfatos e nitratos. No contexto do rio Juma, essa variável representa um parâmetro complementar relevante para o monitoramento das alterações na carga iônica da água, podendo indicar a influência de diferentes fontes antrópicas presentes na área estudada, cujas características químicas elevam a carga iônica da matriz hídrica, sobretudo em eventos de precipitação intensa que potencializam o escoamento superficial.

2.5.2.4 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO_{5,20})

A DBO_{5,20} representa a quantidade de oxigênio necessária para que microrganismos aeróbios realizem a oxidação da matéria orgânica biodegradável presente na água (Leira *et al.*,

2017). É o principal parâmetro para quantificar o impacto de despejos orgânicos; valores elevados de $\text{DBO}_{5,20}$ resultam na redução drástica do oxigênio dissolvido, colapsando a biodiversidade aquática e inviabilizando os usos múltiplos do recurso hídrico (Poersch *et al.*, 2021).

Os maiores aumentos em termos de $\text{DBO}_{5,20}$ num corpo d'água são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica. A presença de alto teor de matéria orgânica pode induzir ao completo esgotamento do oxigênio da água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática (Philippi Júnior; Roméro; Bruna, 2014).

2.5.2.5 Nitrogênio total e suas formas (Nitrato e Nitrito)

O nitrogênio constitui um elemento essencial na composição de proteínas, clorofila e diversos compostos biológicos fundamentais à vida aquática. Conforme aponta Von Sperling (2014), embora existam fontes naturais desse nutriente, as contribuições de origem antropogênica assumem maior relevância devido ao elevado potencial de contaminação, originando-se predominantemente de efluentes domésticos, resíduos industriais, fertilizantes e excrementos animais. Em concentrações excessivas, este macronutriente atua como um dos principais agentes indutores do processo de eutrofização, manifestando-se em diferentes formas químicas de acordo com o estágio da contaminação.

O Nitrato representa a forma mais estável e móvel desse elemento, sendo utilizado como um indicador de contaminação de longo prazo proveniente de esgotos e lixiviados de aterros (Von Sperling, 2014). Em teores elevados, essa substância pode desencadear a metemoglobinemia infantil, condição clínica que compromete o transporte de oxigênio pela corrente sanguínea (Fabris *et al.*, 2020). Por outro lado, o Nitrito caracteriza-se como uma forma intermediária e instável, indicando poluição orgânica recente ou processos de nitrificação incompletos, além de apresentar elevada toxicidade tanto para seres humanos quanto para a biota aquática (Von Sperling, 2014).

2.5.2.6 Fósforo total e Fosfato

O fósforo é geralmente o nutriente limitante em ecossistemas de água doce. O aporte antropogênico desse elemento, via detergentes, excretas e lixiviados, é o principal indutor da eutrofização cultural, provocando a proliferação excessiva de algas e cianobactérias, o que degrada severamente a qualidade da água (Nishimura, 2020; Batista, 2022).

O nitrogênio e o fósforo no esgoto sanitário provêm principalmente dos excrementos humanos, mas atualmente apresentam fontes significativas em produtos de limpeza domésticos

e industriais, como detergentes e amaciantes de roupas. Nos efluentes industriais, originam-se de proteínas, aminoácidos, ácidos fosfóricos e derivados (Jordão; Pessôa, 2011; von Sperling, 2007).

2.5.2.7 Turbidez

Este parâmetro físico indica o grau de atenuação que um feixe de luz sofre ao atravessar a água, devido à presença de material em suspensão (argila, silte, matéria orgânica). Além do impacto estético, a turbidez elevada pode abrigar microrganismos patogênicos e dificultar processos de desinfecção em estações de tratamento (Rodrigues, 2019).

A turvação da água decorre da presença de material em suspensão que interfere na passagem de luz. Pode ocorrer por partículas de rocha, argila, algas e bactérias insolúveis, ou por esgotos domésticos e erosão (Neitzel; Lindner, 2013). A turbidez reduz a fotossíntese de vegetação submersa e algas, suprimindo populações de peixes e alterando comunidades biológicas aquáticas. Além disso, compromete usos domésticos, industriais e recreacionais (Philippi Júnior; Roméro; Bruna, 2014).

2.5.2.8 Sólidos dissolvidos totais (SDT) e Salinidade

Os sólidos presentes na água podem ser classificados, quanto às características físicas, em suspensos, coloidais e dissolvidos e, quanto à natureza química, em orgânicos e inorgânicos. Os sólidos dissolvidos totais (SDT) correspondem à fração de substâncias dissolvidas na água, constituída principalmente por sais inorgânicos e matéria orgânica dissolvida, sendo sua determinação relevante para a caracterização da qualidade da água (Philippi Júnior; Roméro; Bruna, 2014; von Sperling, 2007).

Concentrações elevadas de sólidos podem alterar características físicas e químicas da água e interferir em seus diferentes usos. Para águas doces de Classe 2, a Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece valor máximo de 500 mg/L para sólidos dissolvidos totais (Brasil, 2005).

A salinidade expressa a concentração de sais dissolvidos na água e relaciona-se à composição iônica do meio aquático. Suas variações podem decorrer de características naturais da bacia hidrográfica e de aportes antrópicos, devendo ser interpretadas em conjunto com outros parâmetros físico-químicos. Conforme a Resolução CONAMA nº 357/2005, são classificadas como águas doces aquelas com salinidade igual ou inferior a 0,5‰ (Brasil, 2005).

2.5.2.9 Oxigênio dissolvido (OD)

O Oxigênio Dissolvido (OD) representa um parâmetro relevante para a manutenção da vida dos organismos aeróbios em sistemas aquáticos. Durante o processo de estabilização da matéria orgânica, a atividade respiratória das bactérias consome o oxigênio disponível no meio, o que pode resultar na queda de sua concentração. Conforme destaca Von Sperling (2007), a magnitude dessa redução pode levar à mortandade de diversas espécies e, em situações de exaustão total, estabelecem-se condições anaeróbias acompanhadas pela emissão de odores desagradáveis.

Além disso, a FUNASA (2014) reforça que, quando os níveis de OD declinam abaixo dos limites críticos estabelecidos pela legislação vigente, ocorre a degradação sistêmica do ecossistema, tornando o OD o indicador importante para mensurar os impactos da poluição hídrica por despejos orgânicos.

2.5.2.10 Temperatura

A temperatura é um parâmetro físico fundamental que determina diversos processos químicos, físicos e biológicos em sistemas aquáticos, exercendo influência direta sobre o metabolismo dos organismos e a taxa de degradação da matéria orgânica. Conforme Von Sperling (2014), essa variável condiciona a solubilidade dos gases, especialmente do oxigênio dissolvido, e acelera a velocidade das reações bioquímicas, o que pode exacerbar os efeitos da poluição orgânica em corpos hídricos que recebem efluentes e lixiviados.

A temperatura regula a taxa das reações metabólicas e a solubilidade dos gases. Águas mais quentes retêm menos oxigênio dissolvido, o que pode exacerbar os efeitos da poluição orgânica (Lira, 2008). Alterações bruscas de temperatura, frequentemente de origem industrial, configuram poluição térmica.

O estado do Amazonas é caracterizado predominantemente pelo clima Equatorial Quente e Úmido, classificado conforme o sistema de Köppen como do tipo Af (tropical chuvoso sem estação seca definida). Segundo Alvares *et al.* (2013), esta classificação implica que a temperatura média do mês mais frio é sempre superior a 18°C. No caso específico do sul do Amazonas, onde se localiza o município de Apuí (AM), observa-se a transição para o tipo Am (monçônico), apresentando uma estação seca mais pronunciada.

De acordo com Fisch *et al.* (1998), essa dinâmica sazonal é marcada por uma baixa amplitude térmica anual, característica de isotermia, com temperaturas médias variando entre 22°C e 28°C. Essa estabilidade térmica, aliada ao regime de chuvas, influencia diretamente o

ciclo hidrológico do rio Juma e a dinâmica de lixiviação nos depósitos de resíduos sólidos da região.

3 METODOLOGIA

3.1 Classificação e delineamento da pesquisa

A presente pesquisa classifica-se como um estudo de natureza aplicada, descritiva, documental e de campo, estruturada sob uma abordagem predominantemente quantitativa com o apoio de observação sistemática (Gil, 2017). O delineamento metodológico fundamenta-se na análise técnica da disposição final de resíduos sólidos e da qualidade da água superficial nas proximidades da área estudada, tendo sido desenvolvido em duas etapas complementares: revisão bibliográfica e pesquisa de campo.

Na primeira etapa, procedeu-se ao levantamento bibliográfico e documental acerca da alteração da qualidade das águas superficiais e das implicações sanitárias associadas à disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos em lixões a céu aberto, com base em normativas como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), normas técnicas da ABNT e Resoluções do CONAMA, além de dados de órgãos oficiais como o SNIS, o IBGE e a SEMA-AM.

Na segunda etapa, foi conduzida a pesquisa de campo, de caráter descritivo e observação sistemática, compreendendo visitas *in loco*, registros fotográficos, análise visual da área de disposição, georreferenciamento dos pontos amostrais e aplicação integrada do Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR) e do Índice de Qualidade da Água (IQA), com coleta de amostras de água destinadas às análises laboratoriais dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos.

3.2 Caracterização da área de estudo

O estudo foi conduzido no município de Apuí (AM), situado no sul do estado do Amazonas (Figura 1). O município integra a região do sul amazonense e está inserido no Projeto de Assentamento (PA) rio Juma, um dos maiores assentamentos rurais da América Latina. A sede municipal localiza-se a uma altitude média de 127 metros, sob as coordenadas geográficas 7°11'10"S e 59°50'29"W. De acordo com o censo demográfico de 2022, Apuí (AM) possui uma população recenseada em 20.648 habitantes (IBGE, 2022).

A dinâmica socioeconômica e logística da região é fortemente dependente da Rodovia Transamazônica (BR-230), cujo tráfego é sazonalmente impactado pelo regime pluviométrico

equatorial, fator que influencia diretamente a gestão dos serviços de saneamento e a acessibilidade às áreas de disposição de resíduos (Reis; Leal, 2020).

Figura 1 - Localização geográfica do município de Apuí (AM)



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

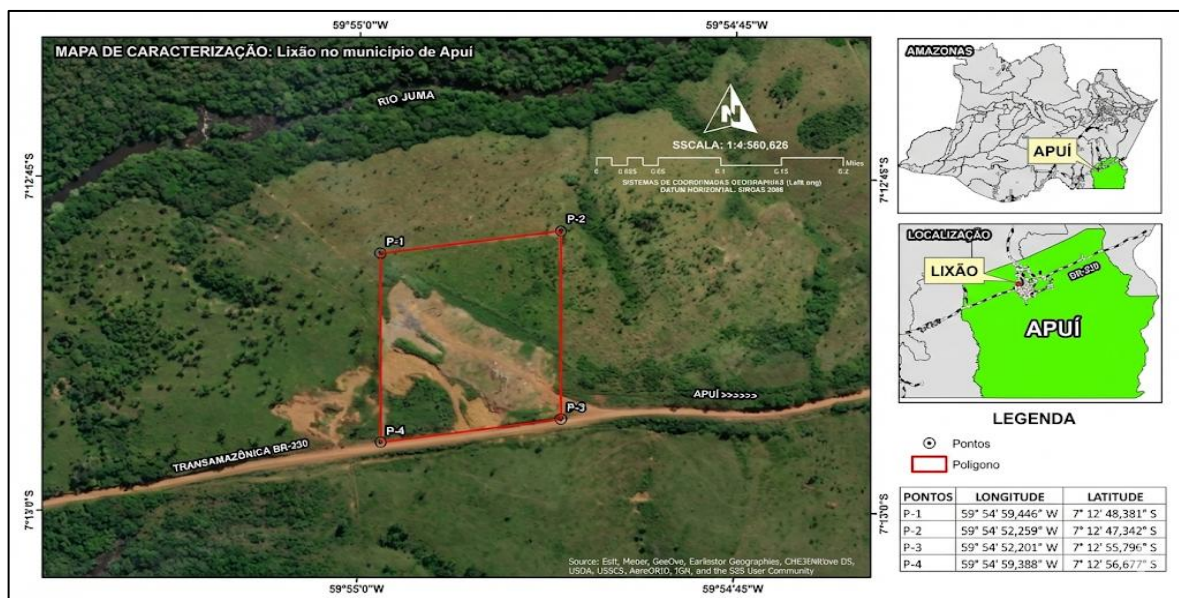
O clima regional é classificado como Am (chuvas de monções), caracterizado por chuvas elevadas com um curto período seco (Alvares *et al.*, 2013). A precipitação pluvial anual oscila entre 2.250 mm e 2.750 mm, com o período chuvoso iniciando-se em outubro. As temperaturas médias anuais mantêm-se entre 25 °C e 27 °C, com umidade relativa do ar elevada, variando de 85% a 90% (Reis *et al.*, 2006).

O relevo do município é heterogêneo, composto por planícies, morros, platôs e chapadas que atingem altitudes de até 400 metros. O modelado topográfico é medianamente dissecado, com predominância de latossolos amarelos distróficos, seguidos por argissolos amarelos e vermelhos (Silva *et al.*, 2020). A cobertura vegetal nativa integra o bioma amazônico, embora sofra pressão da atividade pecuária, principal matriz econômica local, cujas pastagens são frequentemente manejadas com o uso do fogo (Reis *et al.*, 2006).

3.3 Caracterização da área de disposição de resíduos

A área de disposição final de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) de Apuí (AM) é tecnicamente classificada como um lixão a céu aberto (Figura 2). Esta modalidade de descarte infringe as diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), configurando-se como um passivo ambiental que oferece riscos contínuos à saúde pública e ao ecossistema local (AAM, 2012).

Figura 2 – Área de disposição de resíduos urbanos no município de Apuí (AM)



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

O lixão está implantado em área pública municipal, às margens da Rodovia Transamazônica (BR-230), a aproximadamente 2,3 km do núcleo urbano. A área possui extensão de 5,4 ha e perímetro de 934,64 metros (AAM, 2012).

3.4 Procedimentos para coleta de dados em campo

3.4.1 Avaliação do lixão por meio do Índice de Qualidade de aterro de Resíduos (IQR)

A caracterização do lixão do município de Apuí (AM) foi realizada por meio de análise documental, com base em dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e em artigos científicos indexados em bases de dados, bem como por vistoria técnica in loco. A avaliação de campo fundamentou-se no Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR), proposto pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2022).

Esse instrumento consiste em um questionário padronizado, estruturado em conjuntos de variáveis relativas às características de infraestrutura, operacionais e locais da unidade, cuja pontuação varia de 0 a 10. O IQR foi obtido pela soma das pontuações atribuídas às variáveis de infraestrutura, condições operacionais e características locais, dividida pelo fator de normalização previsto na metodologia adotada, conforme a Equação 1.

$$IQR = \frac{\sum P_{Infra} + \sum P_{Oper} + \sum P_{Loc}}{10} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

$\sum P_{Infra}$: Somatório dos pontos de Infraestrutura;

$\sum P_{Oper}$: Somatório dos pontos de Condições Operacionais;

$\sum P_{Loc}$: Somatório dos pontos de Características Locacionais;

10: Fator de normalização decimal.

Após o cálculo, o valor do índice foi confrontado com as faixas de enquadramento estabelecidas pela CETESB, as quais classificam a área como condição inadequada quando $IQR \leq 7,0$ e como condição adequada quando $7,0 < IQR \leq 10,0$, conforme detalhado na Tabela 1. Esse cálculo fornece uma medida integrada da qualidade do manejo e da disposição de resíduos no lixão, possibilitando a identificação de aspectos críticos e de potenciais pontos de melhoria na gestão da área.

Tabela 1 - Avaliação do Índice da Qualidade de Aterro de Resíduos - IQR.

IQR	Enquadramento	Recomendação Técnica
$IQR \leq 7,0$	Condições Inadequadas	Interdição ou remediação imediata
$7,0 < IQR \leq 10,0$	Condições Adequadas	Operação em conformidade técnica

Fonte: CETESB (2022)

3.4.2 Monitoramento da qualidade da água (IQA)

Os pontos de monitoramento foram previamente definidos, georreferenciados e registrados por meio de fotografias. Foram planejadas duas campanhas amostrais, correspondentes aos períodos de estiagem e chuvoso, realizadas, respectivamente, em outubro de 2025 e março de 2026, ambas iniciadas às 7h30. A distribuição espacial dos pontos e suas respectivas condições de acesso são apresentadas na Tabela 2 e nas Figuras 4 a 11.

Para a avaliação da qualidade da água do rio Juma, foram estabelecidos quatro pontos de monitoramento distribuídos espacialmente em relação à área de disposição de resíduos (Figura 3). O ponto P1, localizado a montante, foi adotado como referência para comparação com os trechos a jusante; o ponto P2 foi estabelecido em trecho intermediário, a jusante do lixão e associado ao escoamento em direção ao rio Juma; o ponto P3 foi definido a jusante, em área sob influência de atividades agropecuárias; e o ponto P4, também a jusante, correspondeu a trecho de uso recreativo.

Tabela 2 - Dados das coordenadas geográficas.

Pontos	Coordenadas Geográficas	Descrição do Local	Estiagem out./2025	Período chuvoso mar./2026
P1	07°12'42,7" S; 59°55'19,2" W	Montante - Controle	Coletado e analisado	Coletado e analisado - IQA
P2	07°12'36" S; 59°54'45" W	Jusante, seção intermediária (meio)	Coletado; análise laboratorial não realizada	Não amostrado – condições de acesso e segurança
P3	07°11'54,3" S; 59°54'46,3" W	Jusante, área rural destinada a atividades agropecuárias	Coletado e analisado	Não amostrado – condições de acesso e segurança.
P4	07°11'17" S; 59°54'30,49" W	Jusante, área recreativa do município (balneário)	Coletado; análise laboratorial não realizada	Coletado e analisado - IQA

Fonte: Elaborado pelo Autor (2026);

O planejamento amostral previa a obtenção de duas amostras em cada ponto por campanha, devidamente acondicionadas e transportadas para posterior análise laboratorial. Entretanto, a execução das campanhas foi condicionada às características hidrológicas, às condições de acesso e aos requisitos de segurança observados em campo, além das limitações financeiras relacionadas ao processamento laboratorial das amostras.

No período de estiagem, as condições de acesso possibilitaram a realização das coletas previstas nos pontos P1, P2, P3 e P4. Nos pontos P2 e no P4, embora as amostras necessárias tenham sido coletadas e devidamente acondicionadas, o processamento laboratorial não pôde ser realizado em razão da insuficiência de recursos financeiros destinados às análises. Dessa forma, as ausências de resultados analíticos para esses pontos foram consideradas como dados não disponíveis, sem imputação de valores ou inferência quanto às condições de qualidade da água.

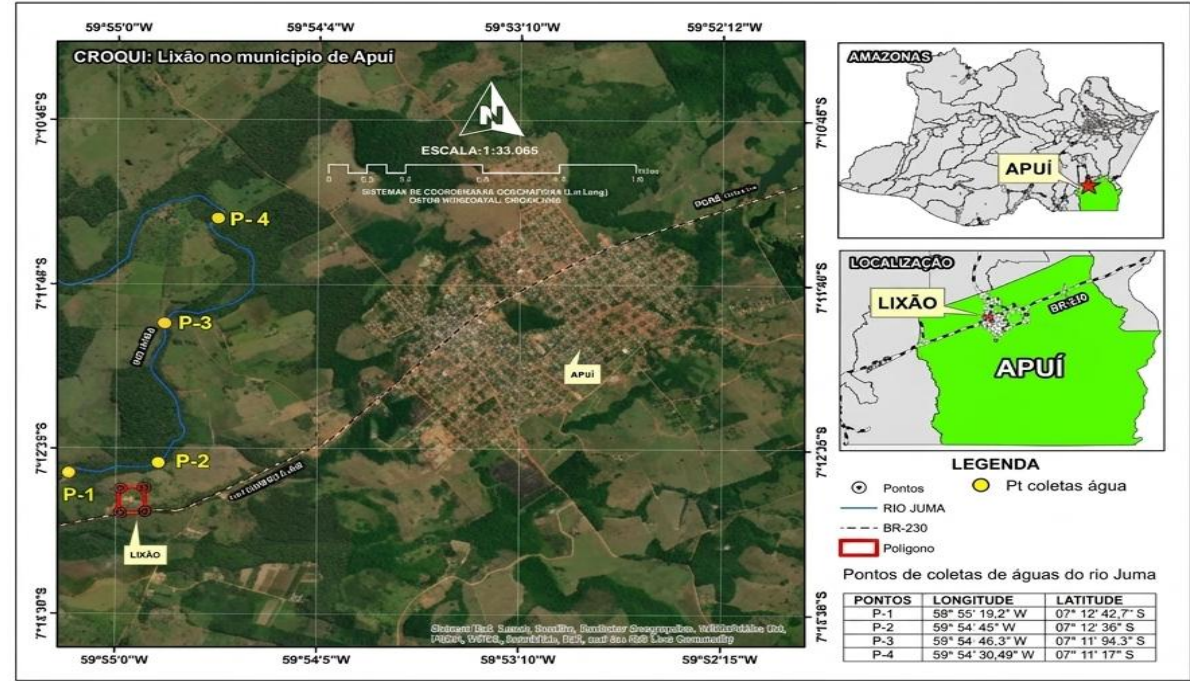
No período chuvoso, a elevação do nível d'água e a inundação das margens alteraram substancialmente as condições de acesso aos pontos P2 e P3. A ausência de locais seguros para o posicionamento do coletor, associada à maior intensidade da correnteza e à instabilidade das margens, inviabilizou tecnicamente a realização das coletas nesses dois pontos. A decisão de não proceder à amostragem foi adotada com base nas condições de segurança observadas em campo, evitando a exposição da equipe a riscos decorrentes do regime hidrológico.

O ponto P1 permaneceu como referência a montante, enquanto os dados obtidos nos pontos a jusante foram utilizados de acordo com a disponibilidade amostral de cada campanha. O conjunto de dados resultante foi tratado como delineamento amostral incompleto, decorrente

de limitações operacionais e financeiras reconhecidas na pesquisa. Assim, as comparações espaciais e sazonais foram realizadas exclusivamente entre os pontos e parâmetros com dados disponíveis, sem imputação de valores ou utilização de médias globais que pudessem introduzir vieses decorrentes da assimetria amostral.

A seleção dos pontos de monitoramento considerou sua posição espacial em relação à área de disposição de resíduos, o sentido de escoamento do rio Juma, as condições de acessibilidade e os requisitos de segurança para a execução das atividades de campo (Figura 3). Nos pontos efetivamente amostrados, as coletas foram realizadas na seção transversal do corpo hídrico, a aproximadamente 10 cm abaixo da superfície da água ou na profundidade correspondente ao ponto de captação, conforme os procedimentos descritos no Manual Prático de Análise de Água da FUNASA (2014).

Figura 3 - Localização dos pontos de monitoramento da qualidade da água no rio Juma, Apuí (AM)



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

A seleção dos pontos de monitoramento considerou sua posição espacial em relação à área de disposição de resíduos, o sentido de escoamento do rio Juma, as condições de acessibilidade e os requisitos de segurança para a realização das atividades de campo. Nos pontos efetivamente amostrados, as coletas foram realizadas na seção transversal do corpo hídrico, a aproximadamente 10 cm abaixo da superfície da água ou na profundidade

correspondente ao ponto de captação, conforme os procedimentos descritos no Manual Prático de Análise de Água da FUNASA (2014).

As amostras destinadas às determinações laboratoriais foram acondicionadas em recipientes apropriados e transportadas em caixas térmicas com gelo, sob temperatura aproximada de 4 °C, visando à preservação de suas características físico-químicas e microbiológicas até o processamento analítico, conforme as recomendações da FUNASA (2014). Os procedimentos de determinação e os laboratórios responsáveis diferiram entre as campanhas, de acordo com os parâmetros avaliados e as condições operacionais da pesquisa.

Na primeira campanha (Tabela 3), correspondente ao período de estiagem, os parâmetros pH, oxigênio dissolvido (OD), sólidos dissolvidos totais (SDT), temperatura, condutividade elétrica e salinidade foram determinados *in situ*, nos respectivos pontos de coleta, utilizando-se a sonda multiparamétrica HI98193 (HANNA Instruments) e o medidor multiparâmetro portátil AKSO, previamente calibrados conforme as recomendações dos fabricantes.

As determinações de nitrato (NO_3), nitrito (NO_2) e fosfato (PO_4^{3-}) foram realizadas no Laboratório de Engenharia Ambiental do Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente da Universidade Federal do Amazonas (IEAA/UFAM), em Humaitá (AM), utilizando-se fotômetro multiparâmetro Micro 20. A turbidez foi determinada no mesmo laboratório, utilizando-se o medidor portátil de turbidez HI98703, com tecnologia Fast Tracker (HANNA Instruments).

As análises de demanda bioquímica de oxigênio ($\text{DBO}_{5,20}$), coliformes totais e coliformes termotolerantes foram realizadas pelo Laboratório de Análise de Água, Efluentes, Ar, Solo e Petróleo (LAPEF), em Porto Velho (RO). A $\text{DBO}_{5,20}$ foi determinada pelo método de incubação a 20 °C durante cinco dias, conforme o método SMEWW 5210 B. As determinações microbiológicas seguiram os procedimentos analíticos adotados pelo laboratório. Como referência metodológica para os parâmetros de qualidade da água, adotou-se o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 2023).

Em razão de limitações financeiras e operacionais, o nitrogênio total (NT) e o fósforo total (FT), variáveis integrantes do IQA, não foram determinados na campanha de estiagem, impossibilitando o cálculo completo do índice para esse período. O fosfato (PO_4^{3-}), embora determinado, foi utilizado exclusivamente como parâmetro complementar na caracterização da qualidade da água e não como substituto do fósforo total no cálculo do IQA. Dessa forma, os

resultados obtidos na estiagem foram submetidos à análise descritiva individual e, quando aplicável, comparados aos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces de Classe 2 (BRASIL, 2005).

Na segunda campanha (Tabela 3), correspondente ao período chuvoso, as amostras obtidas nos pontos efetivamente monitorados foram acondicionadas, preservadas e encaminhadas ao laboratório Diagnósticos Microbiológicos, em Porto Velho (RO), onde foram realizadas as determinações necessárias à caracterização da qualidade da água e ao cálculo do IQA. As análises físico-químicas foram realizadas por métodos de volumetria, colorimetria e potenciometria, conforme o parâmetro avaliado. Para as determinações microbiológicas, foram empregados procedimentos de membrana filtrante, colorimetria e contagem de placas, conforme metodologia informada pelo laboratório e tendo como referência o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

A disponibilidade do conjunto completo de variáveis requeridas pela metodologia possibilitou a determinação do IQA no período chuvoso para os pontos P1, a montante, e P4, a jusante. O índice foi calculado conforme a metodologia adotada pela ANA (2024), baseada no modelo originalmente desenvolvido pela National Sanitation Foundation (NSF), considerando as nove variáveis que compõem o índice e seus respectivos pesos. Assim, o IQA foi determinado para a campanha chuvosa, enquanto a avaliação da estiagem foi fundamentada na análise individual dos parâmetros disponíveis.

Os resultados dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos foram analisados considerando as diferenças entre os períodos hidrológicos e a posição dos pontos em relação à área de estudo. A interpretação considerou, ainda, a presença de outras atividades antrópicas identificadas na bacia de contribuição, evitando atribuir exclusivamente à disposição de resíduos as alterações observadas na qualidade da água.

Tabela 3 – Síntese dos procedimentos analíticos empregados no monitoramento da qualidade da água do rio Juma

Período	Parâmetros	Procedimentos/ métodos	Equipamentos/ referências	Local
Estiagem	pH, OD, SDT, temperatura, condutividade elétrica e salinidade	Determinação <i>in situ</i>	Sonda multiparamétrica HI98193 (HANNA Instruments) e medidor multiparâmetro portátil AKSO	Pontos de coleta
Estiagem	NO ₃ , NO ₂ e PO ₄ ³⁻	Análise laboratorial	Fotômetro multiparâmetro Micro 20	Laboratório de Engenharia Ambiental – IEAA/UFAM

Estiagem	Turbidez	Análise laboratorial	Medidor de turbidez HI98703 Fast Tracker (HANNA Instruments)	Laboratório de Engenharia Ambiental – IEAA/UFAM
Estiagem	DBO _{5,20}	Incubação a 20 °C por cinco dias	SMEWW 5210 B	LAPEF – Porto Velho (RO)
Estiagem	Coliformes totais e termotolerantes	Análise microbiológica	Procedimentos analíticos adotados pelo laboratório; referência APHA, AWWA e WEF (2023)	LAPEF – Porto Velho (RO)
Chuvoso	Parâmetros físico-químicos requeridos para caracterização e IQA	Volumetria, colorimetria e potenciometria, conforme o parâmetro	Procedimentos analíticos do laboratório	Diagnósticos Microbiológicos – Porto Velho (RO)
Chuvoso	Parâmetros microbiológicos	Membrana filtrante, colorimetria e contagem de placas, conforme o parâmetro	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater	Diagnósticos Microbiológicos – Porto Velho (RO)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2026)

Na caracterização do IQA, foram empregados nove parâmetros físico-químicos, definidos conforme as diretrizes da National Sanitation Foundation (NSF), dos Estados Unidos. Para cada parâmetro, foram estabelecidas curvas médias de variação da qualidade da água em função de suas concentrações, além de pesos correspondentes à sua importância relativa no cálculo do IQA/NSF, conforme detalhado na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores de pesos de cada parâmetro do IQA

Parâmetros	Variáveis	Pesos
Físicos	Temperatura	0,10
	Turbidez	0,08
Químicos	pH	0,12
	Oxigênio Dissolvido (OD)	0,17
	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO _{5,20})	0,10
	Nitrogênio Total (NT)	0,10
	Fósforo Total (FT)	0,10
	Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	0,08
Biológicos	Coliformes Termotolerantes	0,15
TOTAL		1,00

Fonte: CETESB (2022), ANA (2024)

Na caracterização do IQA, foram empregados nove parâmetros físico-químicos, definidos conforme as diretrizes da National Sanitation Foundation (NSF), dos Estados Unidos. Para cada parâmetro, foram estabelecidas curvas médias de variação da qualidade da água em

função de suas concentrações, além de pesos correspondentes à sua importância relativa no cálculo do IQA/NSF, conforme detalhado na Tabela 4.

IQA será calculado pelo produto ponderado da qualidade de água correspondentes aos parâmetros conforme a fórmula:

$$IQA = \prod_{i=0}^9 qi^{wi} \quad \text{Equação 2}$$

Fonte: ANA (2024)

Onde:

IQA: Índice de qualidade da água (varia de 0 a 100);

qi : qualidade do i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva curva média de variação de qualidade específica para cada parâmetro, em função da sua concentração ou medida;

wi : peso correspondente ao i -ésimo parâmetro ou subnível, um número entre 0 e 1.

Por fim, os valores obtidos após os cálculos serão confrontados com os valores tabelados pelo Índice para que se defina o padrão de qualidade da água (Tabela 5).

Tabela 5 - Classificação dos valores do IQA nos estados brasileiros.

Valor do IQA (Estados: AL, MG, PR, RJ, RN, RS)	Valor do IQA (Estados: BA, ES, GO, MS, SP)	Qualidade da Água
91-100	80 – 100	Ótima
71 – 90	52 – 79	Boa
51 - 70	37 – 51	Razoável
26 - 50	20 – 36	Ruim
0 - 25	0 – 19	Péssima

Fonte: ANA (2024).

No estado do Amazonas, a interpretação dos resultados do IQA segue os critérios adotados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), modelo também utilizado por estados como Bahia e Goiás. Essa abordagem é adotada pelo Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (IPAAM) em razão da ausência de uma matriz regional própria de classificação desenvolvida pelo órgão estadual, conforme registrado no diagnóstico da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2024).

3.5 Caracterização dos pontos de monitoramento

O ponto P1 foi estabelecido como estação de referência a montante, próximo à ponte sobre o rio Juma, por situar-se anteriormente à área de influência do lixão e permitir a comparação com os pontos localizados a jusante.

No período de estiagem (Figura 4), observaram-se menor volume hídrico, redução da velocidade de escoamento e exposição parcial do leito fluvial, condições associadas à sazonalidade hidrológica amazônica e que favoreceram a amostragem subsuperficial em condições de maior estabilidade hidrodinâmica (Espinoza et al., 2024).

A proximidade da Rodovia Transamazônica (BR-230) foi considerada na interpretação dos resultados, em razão da possibilidade de aporte difuso associado ao escoamento superficial proveniente da via. No período chuvoso (Figura 5), observaram-se elevação do nível d'água, maior intensidade de correnteza e aumento aparente da turbidez. Diante dessas condições, a amostragem foi realizada com procedimentos de segurança, incluindo o uso de colete salva-vidas e cabo de segurança, permitindo a execução do monitoramento e a obtenção dos dados necessários à determinação do Índice de Qualidade da Água (IQA).

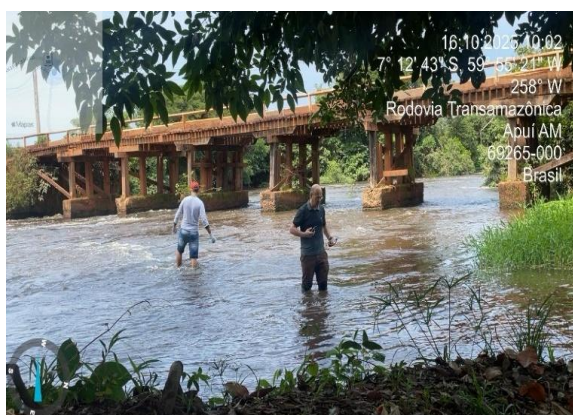


Figura 4 - Ponto de amostragem a montante (P1) no rio Juma, durante o período de estiagem. **Fonte:** Autor (2025).



Figura 5 - Ponto de amostragem a montante (P1) no rio Juma, durante o período chuvoso. **Fonte:** Autor (2026).

O ponto P2, localizado a jusante do lixão, constitui o trecho de escoamento natural do lixiviado em direção ao rio Juma, configurando-se como ponto do meio para a avaliação do impacto direto da fonte poluidora sobre o corpo hídrico. Na estação seca (Figura 6), margens estáveis, acesso viável e fluxo perene do lixiviado permitiram a coleta de amostras com qualidade analítica adequada. Não obstante, a análise laboratorial dos parâmetros físico-químicos não pôde ser concluída em virtude da insuficiência de recursos financeiros destinados ao processamento das amostras.

No período chuvoso (Figura 7), o pulso de inundação do rio Juma, associado ao intenso escoamento pluvial da encosta adjacente, resultou em transbordamento do canal e inundação das margens, promovendo instabilidade do substrato e elevada turbulência hídrica que inviabilizaram tecnicamente a coleta.



Figura 6 - Ponto de amostragem (P2) a jusante do lixão, durante o período de estiagem. **Fonte:** Autor (2025).



Figura 7 - Ponto de amostragem (P2) a jusante do lixão, durante o período chuvoso. **Fonte:** Autor (2026).

O ponto P3, situado nas proximidades da ponte da Vicinal Campo Grande e a jusante da zona de influência direta do lixão, foi selecionado para a análise comparativa na estação seca, em função das condições favoráveis de acesso e coleta, permitindo avaliar os efeitos cumulativos dos efluentes provenientes do ponto P2 sobre a qualidade da água do rio Juma.

As características hidrodinâmicas do trecho, maior profundidade e velocidade de fluxo, favorecem a dispersão de contaminantes na coluna d'água. Adicionalmente, a presença de atividades pecuárias nas proximidades constitui pressão antrópica adicional, a ser considerada na interpretação dos resultados. Na estação seca (Figura 8), as condições operacionais permitiram calibração satisfatória da instrumentação e obtenção de amostras representativas. Na estação chuvosa (Figura 9), porém, o transbordamento do canal e a intensa correnteza inviabilizaram tecnicamente a mensuração dos parâmetros físico-químicos, restringindo o monitoramento do ponto P3 à estação seca.



Figura 8 - Ponto de amostragem a jusante (P3) no rio Juma, durante o período de estiagem. **Fonte:** Autor (2025).



Figura 9 - Trecho correspondente ao ponto P3, a jusante, no rio Juma, durante o período chuvoso. **Fonte:** Autor (2026).

O ponto P4 foi estabelecido a jusante com a finalidade de avaliar as variações na qualidade da água do rio Juma, considerando os processos naturais de diluição, mistura e autodepuração ao longo do curso hídrico. Embora não incluído na análise da estação seca, o ponto foi priorizado no período chuvoso para a determinação do IQA.

No período de estiagem (Figura 10), o trecho apresentou caráter lótico, com fluxo contínuo e profundidade aproximada de 2,0 m no canal principal. Localizado em área de balneário com uso recreativo, o ponto P4 apresentou, no período chuvoso (Figura 11), elevação do nível d'água e maior intensidade de correnteza.

Diante dessas condições hidrodinâmicas, a amostragem foi realizada com procedimentos de segurança reforçados, incluindo o uso de colete salva-vidas e cabo de segurança para o posicionamento do coletor, possibilitando a execução do monitoramento no período chuvoso.



Figura 10 – Ponto de amostragem a jusante (P4) no rio Juma, durante o período de estiagem. **Fonte:** Autor (2025).



Figura 11 - Amostragem no ponto P4, a jusante, no rio Juma durante o período chuvoso. **Fonte:** Autor (2026).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização do Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos - IQR

O Quadro 1 apresenta os resultados da primeira etapa de aplicação do Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR), contemplando os critérios relacionados à estrutura de apoio, frente de trabalho, taludes e bermas, superfície superior e estruturas de proteção ambiental da área de disposição de resíduos.

Quadro 1 - Resultados da avaliação da infraestrutura - primeira parte da planilha IQR.

Item	SUB-ITEM	Avaliação	Pesos	Pontos
ESTRUTURA DE APOIO	1.Portaria, balança e Vigilância	SIM/SUFICIENTE	2	0
		NÃO/INSUFICIENTE	0	
	2.Isolamento Físico	SIM/SUFICIENTE	2	0
		NÃO/INSUFICIENTE	0	
	3.Isolamento Visual	SIM/SUFICIENTE	2	2
		NÃO/INSUFICIENTE	0	
FRETE DE TRABALHO	4.Acesso à frente de descargas	ADEQUADO	3	3
		INADEQUADO	0	
	5.Dimensões da frente de trabalho	ADEQUADO	5	5
		INADEQUADO	0	
	6.Compactação dos Resíduos	ADEQUADO	5	0
		INADEQUADO	0	
TALUDES E BERMAS	7.Recobrimento dos Resíduos	ADEQUADO	5	0
		INADEQUADO	0	
	8.Dimensões e inclinações	ADEQUADO	4	0
		INADEQUADO	0	
	9.Cobertura da terra	ADEQUADO	4	0
		INADEQUADO	0	
SUPERFÍCIE SUPERIOR	10.Proteção Vegetal	ADEQUADO	3	0
		INADEQUADO	0	
	11.Afloramento de lixiviado	NÃO/RAROS	4	0
		SIM/NUMEROSOS	0	
	12.Nivelamento da Superfície	ADEQUADO	5	0
		INADEQUADO	0	
ESTRUTURA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL	13.Homogeneidade da Cobertura	SIM	5	0
		NÃO	0	
	14.Impermeabilização do solo	SIM/ADEQUADA	10	0
		NÃO/INADEQUADA	0	
	15.Profundidade do Lençol Freático X Permeabilidade do Solo	$P > 3 \text{ m}, k < 10^{-6} \text{ cm/s}$	4	0
		$1 \leq P < 3 \text{ m}, k < 10^{-6} \text{ cm/s}$	2	
		INADEQUADA	0	
	16.Drenagem de lixiviado	SIM/SUFICIENTE	4	0
		NÃO/INSUFICIENTE	0	
	17.Tratamento de lixiviado	SIM/ADEQUADO	4	0
		NÃO/INADEQUADO	0	
	18.Drenagem provisória de águas pluviais	SUFICIENTE/DESNECESSÁRIO	3	0
		NÃO/INSUFICIENTE	0	
	19.Drenagem definitiva de águas pluviais	SUFICIENTE/DESNECESSÁRIO	4	0
		NÃO/INSUFICIENTE	0	
	20.Drenagem de gases	SUFICIENTE/DESNECESSÁRIO	4	0
		NÃO/INSUFICIENTE	0	
	21.Monitoramento de Águas subterrâneas	ADEQUADO	4	0
		INADEQUADO	1	
		INEXISTENTE	0	
	22.Monitoramento Geotécnico	ADEQUADO/DESNECESSÁRIO	4	0
		INADEQUADO/INSUFICIENTE	1	

	INEXISTENTE	0	
	SUB TOTAL 1	94	10

Fonte: CETESB (2022), adaptado.

A avaliação do Subtotal 1 do Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR) resultou em 10 pontos de um total de 94 possíveis, correspondendo a 10,6% da pontuação máxima. O resultado evidencia deficiências estruturais, operacionais e ambientais na área de disposição de resíduos de Apuí (AM), caracterizadas pela ausência de elementos essenciais de controle e proteção ambiental previstos na metodologia do IQR.

A pontuação obtida concentrou-se em três critérios avaliados como satisfatórios durante as inspeções de campo. O isolamento visual recebeu 2 pontos em razão da presença de vegetação arbórea e arbustiva nas laterais da área, reduzindo parcialmente a visualização direta dos resíduos a partir do entorno. Entretanto, essa condição não se estende à entrada do lixão, onde a ausência de cerca, portão, barreira física e sinalização possibilita a exposição dos resíduos e o acesso não controlado de pessoas, animais e veículos.

O acesso à frente de descarga recebeu 3 pontos, uma vez que as vias internas permitiam o deslocamento dos veículos coletores até a área de disposição durante as inspeções. As dimensões da frente de trabalho receberam 5 pontos por apresentarem condições compatíveis com a operação observada. Essa adequação, entretanto, restringiu-se ao aspecto dimensional, uma vez que não foram identificadas práticas de compactação e recobrimento dos resíduos após a descarga.

Em contrapartida, os demais critérios avaliados receberam pontuação nula, evidenciando a inexistência ou inadequação das estruturas e dos procedimentos exigidos pela metodologia do IQR. Na estrutura de apoio, verificou-se a ausência de portaria, balança e sistema de vigilância (Figura 12), bem como isolamento físico insuficiente, caracterizado por cercamento parcial restrito a alguns trechos do perímetro lateral e pela inexistência completa de barreira física na entrada do lixão, o ponto de acesso mais crítico da área, possibilitando o ingresso não controlado de pessoas, animais e veículos exatamente pelo local de maior visibilidade e maior fluxo.

Essa condição compromete o controle operacional da área e favorece a disposição irregular de resíduos, situação já descrita por Pereira *et al.* (2013) para o mesmo lixão e posteriormente observada por Nascimento (2023) no município de Lábrea (AM). Conforme a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) e a ABNT NBR 15849:2010, o controle de acesso constitui requisito fundamental para impedir a entrada de resíduos não autorizados,

registrar a movimentação de cargas e subsidiar o gerenciamento operacional do empreendimento.

Durante as visitas de campo, observou-se que o cercamento existente restringe-se a pequenos segmentos do perímetro, sendo insuficiente para impedir acessos não autorizados. A proximidade da área com a rodovia federal também reduz a eficiência do isolamento visual, permitindo a exposição parcial dos resíduos aos usuários da via, condição semelhante à descrita por Guimarães *et al.* (2023) em áreas de disposição inadequada de resíduos em Itacoatiara (AM).



Figura 12 - Entrada do lixão sem portaria. **Fonte:** Autor (2025).



Figura 13 - Deposição de resíduos diretamente sobre o solo. **Fonte:** Autor (2025).

Quanto à frente de trabalho, embora suas dimensões tenham sido consideradas adequadas, os critérios relativos à compactação e ao recobrimento receberam pontuação nula, uma vez que os resíduos eram dispostos diretamente sobre o solo, sem tratamento operacional após a descarga (Figura 13). A ausência dessas práticas favorece a exposição dos resíduos, a proliferação de vetores, a emissão de odores, a geração de lixiviados e a ocorrência de processos de combustão, ampliando os riscos ambientais e sanitários associados à disposição inadequada.

Os critérios referentes aos taludes, às bermas e à superfície superior também apresentaram pontuação nula. Verificaram-se ausência de conformação adequada dos taludes, cobertura com solo, proteção vegetal e nivelamento da superfície. A disposição de resíduos sobre trechos inclinados do terreno, sem estruturas de contenção e proteção superficial (Figura 14), favorece a exposição do solo aos processos erosivos e ao escoamento superficial, evidenciando condições incompatíveis com os requisitos técnicos avaliados pelo IQR.

A situação mais crítica foi observada na estrutura de proteção ambiental (Figuras 15 e 16), cujos critérios receberam pontuação nula. Não foram identificados sistemas de impermeabilização do solo, drenagem e tratamento de lixiviados, drenagem de águas pluviais

e gases, monitoramento das águas subterrâneas ou monitoramento geotécnico. A ausência desses dispositivos aumenta a vulnerabilidade ambiental da área, podendo favorecer a infiltração de lixiviados no solo, o transporte superficial de contaminantes, a emissão não controlada de gases e a instabilidade da massa de resíduos, conforme também observado por Nascimento (2023) em área de disposição inadequada de resíduos no Amazonas.



Figura 14 - Encosta sem proteção vegetal. **Fonte:** Autor (2025).



Figura 15 - Resíduos sem compactação ou cobertura. **Fonte:** Autor (2025).

As observações de campo corroboram as deficiências identificadas pelo IQR. As Figuras 15 a 18 evidenciam ausência de cobertura dos resíduos, acúmulo de águas pluviais e ocorrência de escoamento superficial na área de disposição. Durante o período chuvoso, a combinação entre precipitação e relevo inclinado pode favorecer o transporte superficial de materiais e contaminantes para as porções mais baixas do terreno, ampliando o potencial de mobilização em direção à rede de drenagem local. Condições semelhantes são relatadas por Oliveira *et al.* (2016), Bentes *et al.* (2023) e Guimarães *et al.* (2023) em áreas de disposição inadequada de resíduos na região amazônica.



Figura 16 - Acúmulo de águas pluviais na área de disposição. **Fonte:** Autor (2026).



Figura 17 - Escoamento lateral de águas pluviais pela encosta. **Fonte:** Autor (2026).

A ausência de sistemas de impermeabilização e drenagem favorece o acúmulo e o escoamento de líquidos sobre o terreno inclinado, conforme observado na Figura 18. Durante eventos de precipitação, esse material pode ser mobilizado para as porções mais baixas da área e alcançar a rede de drenagem superficial, configurando uma via potencial de transporte de contaminantes. Essa condição reforça a necessidade de medidas de controle e monitoramento ambiental da área de disposição e de seu entorno.

Esse comportamento é recorrente em áreas de disposição inadequada na Amazônia, onde Hirata *et al.* (2010) documentaram contaminação associada a lixões sem controle em Tefé (AM). Além disso, a ABREMA (2024) informa que 91,9% dos municípios da região apresentam destinação inadequada de resíduos, o que agrava a poluição difusa.



Figura 18 - Escoamento de efluentes no fundo do terreno do lixão. **Fonte:** Autor (2026).

As Figuras 19 e 20 ilustram diferenças visuais observadas entre os períodos hidrológicos. Na estiagem, verificou-se escoamento de coloração escura na área da Cachoeira da Morena, cuja composição química e conexão hidrológica com a área do lixão não foram determinadas neste estudo. No período chuvoso, essa coloração mostrou-se visualmente menos evidente, condição que pode estar associada ao maior volume hídrico e aos processos de diluição e mistura. Entretanto, a diferença visual entre os períodos não permite inferir redução da carga de contaminantes, devendo ser interpretada exclusivamente como característica observacional do trecho avaliado.



Figura 19 - Coloração escura na Cachoeira da Morena durante a estiagem. **Fonte:** Autor (2025).



Figura 20 - Cachoeira da Morena no período chuvoso. **Fonte:** Autor (2026).

O Quadro 2 apresenta os resultados da segunda etapa de aplicação do Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR), referente às condições operacionais da área de disposição, contemplando a presença de catadores, queima de resíduos, ocorrência de moscas e odores, presença de animais, recebimento de resíduos não autorizados, procedimentos operacionais, medidas corretivas, disponibilidade de informações, manutenção dos acessos internos e planejamento para o encerramento da área.

Quadro 2 - Resultados da avaliação das condições operacionais – segunda parte da planilha IQR.

Item	Sub-item	Avaliação	Pesos	Pontos
CONDIÇÕES OPERACIONAIS	23.Presença de Catadores	NÃO	2	0
		SIM	0	
	24.Queima de resíduos	NÃO	2	0
		SIM	0	
	25.Ocorrências de moscas e Odores	NÃO	2	0
		SIM	0	
	26.Presença de animais e aves	NÃO	2	0
		SIM	0	
	27.Recebimento de resíduos de Saúde	NÃO	5	0
		SIM	0	
	28.Recebimento de resíduos Industriais	NÃO	5	0
		SIM	0	
	29.Estruturas e procedimentos	SUFICIENTE/ADEQUADO	10	0
		INSUFICIENTE/INADEQUADO	0	
	30. Medidas Corretivas	SIM	5	0
		NÃO	0	
	31. Dados gerais sobre o aterro	SIM	5	5
		NÃO	0	
	32. Manutenção dos acessos internos	SIM	5	0
		NÃO	0	
	33. Plano de fechamento do aterro	SIM	5	0
		NÃO	0	
SUB TOTAL 2			48	5

Fonte: CETESB (2022), adaptado.

A avaliação das condições operacionais resultou em 5 pontos de um total de 48 possíveis, correspondendo a 10,4% da pontuação máxima do Subtotal 2. O único critério

pontuado foi o item 31, referente à disponibilidade de dados gerais sobre a área de disposição, em razão da existência de informações básicas que permitiram sua localização e caracterização. Essa pontuação, entretanto, restringe-se à disponibilidade dessas informações e não representa conformidade técnica, operacional ou ambiental da área.

Os demais critérios receberam pontuação nula, evidenciando deficiências nas condições operacionais avaliadas pelo IQR. Entre as situações observadas destacaram-se a presença de catadores, a ocorrência de queima de resíduos, moscas e odores, presença de animais e aves, recebimento de resíduos de saúde e industriais, insuficiência de estruturas e procedimentos operacionais, ausência de medidas corretivas, deficiência na manutenção dos acessos internos e inexistência de planejamento para o encerramento da área.

A presença de catadores de materiais recicláveis foi constatada em condições precárias de trabalho, associadas à exposição direta aos resíduos e à ausência de infraestrutura adequada para o desenvolvimento da atividade (Figuras 21 e 22). Condições semelhantes foram relatadas por Ferreira *et al.* (2023) em Capitão Poço (PA), onde 77% dos entrevistados mencionaram riscos ocupacionais, acidentes e situações de preconceito. No lixão de Apuí (AM), as condições observadas evidenciam vulnerabilidade ocupacional e sanitária, situação também descrita em estudos realizados em áreas de disposição inadequada de resíduos nas regiões Norte e Nordeste (Oliveira *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2025).



Figura 21 - Presença de catadores na área de disposição. **Fonte:** Autor (2025).



Figura 22 - Abrigos improvisados na área de disposição. **Fonte:** Autor (2026).

A presença de resíduos de serviços de saúde na área de disposição (Figura 23) evidencia deficiência no controle dos materiais recebidos e representa risco potencial à saúde humana e ao ambiente, em razão das características específicas associadas a essa categoria de resíduos (Santos, 2023).

Também foram observados materiais de outras origens que demandam controle e gerenciamento específicos, reforçando as limitações operacionais identificadas pelo IQR, bem como o despejo de efluente líquido diretamente sobre o solo (Figura 24).



Figura 23 - Resíduos de saúde expostos na área de disposição. **Fonte:** Autor (2025).



Figura 24 - Despejo de efluentes sem controle sobre o solo. **Fonte:** Autor (2025).

A Figura 24 registra o despejo de efluente líquido diretamente sobre o solo por veículo não pertencente ao serviço oficial de coleta municipal, evidenciando deficiência no controle de acesso e no recebimento de materiais na área. A ausência de estruturas destinadas à recepção e ao tratamento desse tipo de efluente configura situação de risco potencial ao solo e às águas subterrâneas e superficiais, especialmente diante da inexistência de impermeabilização e de sistemas de drenagem identificada na avaliação da infraestrutura.

Situação relacionada foi registrada pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) no município de Itapiranga (AM), em agosto de 2025, envolvendo o despejo irregular de esgoto bruto em área de disposição de resíduos. O episódio demonstra a relevância do controle de acesso, da fiscalização e da destinação adequada de efluentes em áreas dessa natureza (IBAMA, 2025).

No lixão de Apuí, a observação registrada na Figura 24, associada às deficiências estruturais e operacionais identificadas pelo IQR, evidencia a necessidade de controle dos materiais e efluentes recebidos. Essas condições são incompatíveis com os princípios de gestão e destinação ambientalmente adequada estabelecidos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) e reforçam a necessidade de medidas de controle, fiscalização e adequação operacional.

A ausência de plano de encerramento constitui outra deficiência relevante, uma vez que limita o planejamento das ações necessárias à interrupção da disposição inadequada, recuperação ambiental e monitoramento posterior da área. Sem essas medidas, os processos

associados à degradação dos resíduos e à mobilização de contaminantes podem persistir após o encerramento das atividades. Nesse contexto, torna-se necessária a elaboração de estratégias de encerramento e recuperação ambiental acompanhadas de monitoramento do solo e dos recursos hídricos, de modo a avaliar a evolução das condições ambientais da área.

O Quadro 3 apresenta os resultados da terceira etapa da aplicação do Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR), correspondente às características locais da área de disposição, contemplando a proximidade de núcleos habitacionais, a distância de corpos hídricos e as condições do sistema viário, trânsito e acesso.

Quadro 3 - Resultados da avaliação das características locais – terceira parte da planilha IQR.

Item	Subitem	Avaliação	Pesos	Pontos
CARACTERÍSTICAS DA ÁREA	34. Proximidade de núcleos habitacionais	Longe ≥ 500 m	2	2
		Próximo ≤ 500 m	0	
	35. Proximidade de corpos hídricos	Longe ≥ 200 m	2	2
		Próximo ≤ 200 m	0	
	36. Condições de sistema viário, trânsito e acesso	Boas	3	2
		Regulares	2	
		Ruim	0	
SUBTOTAL 3			9	6

Fonte: CETESB (2022), adaptado.

A avaliação das características locais resultou em 6 pontos de um total de 9 possíveis. Os critérios referentes à proximidade de núcleos habitacionais e de corpos hídricos atenderam aos afastamentos mínimos estabelecidos pela metodologia adotada, enquanto as condições do sistema viário, trânsito e acesso apresentaram atendimento parcial.

Em relação à proximidade de núcleos habitacionais (Subitem 34), verificou-se que o lixão está localizado a aproximadamente 2,43 km do núcleo habitacional mais próximo, atendendo ao critério de afastamento ≥ 500 m previsto pelo IQR (CETESB, 2022). Embora essa distância reduza a exposição direta da população residente nas proximidades imediatas da área de disposição, não elimina os riscos ambientais e sanitários associados à disposição inadequada de resíduos. Em estudo realizado no município de Humaitá (AM), Oliveira *et al.* (2016) destacaram que a proximidade entre áreas de disposição inadequada e núcleos habitacionais

pode ampliar a exposição da população a odores, vetores e outros impactos associados ao manejo inadequado de resíduos (Figura 25).



Figura 25 – Localização do lixão de Apuí (AM) em relação ao núcleo habitacional. **Fonte:** Autor (2026).

Quanto à proximidade de corpos hídricos (Subitem 35), a área de disposição encontra-se a aproximadamente 247 m da margem do rio Juma, atendendo ao critério de afastamento ≥ 200 m estabelecido pelo IQR (CETESB, 2022). Esse enquadramento locacional, entretanto, deve ser interpretado em conjunto com as condições estruturais e operacionais da área, especialmente diante da ausência de impermeabilização, drenagem e tratamento de lixiviados identificada nos demais componentes do índice.

O afastamento entre áreas de disposição de resíduos e corpos hídricos constitui medida preventiva destinada a reduzir o potencial de transporte de contaminantes para as águas superficiais. Em áreas desprovidas de sistemas de contenção e drenagem, fatores como relevo, precipitação, escoamento superficial e características do solo podem influenciar a mobilização de líquidos e materiais em direção à rede de drenagem local. Gomes (2025) registrou situação semelhante em área de disposição a céu aberto situada a aproximadamente 150 m de um corpo hídrico em Santo Antônio do Matupi (AM), onde foram observadas alterações em parâmetros como coliformes fecais, $\text{DBO}_{5,20}$ e nutrientes. Esses resultados evidenciam a necessidade de avaliar a distância dos corpos hídricos em conjunto com as condições de proteção ambiental e monitoramento da área (ABREMA, 2024).

Durante a caracterização realizada em março de 2026, no período chuvoso, foram identificados, a montante do ponto P1, tanques de piscicultura (Figura 26) e áreas de pastejo bovino próximas às margens do rio Juma (Figura 27). Essas atividades constituem potenciais fontes difusas de nutrientes, matéria orgânica e microrganismos, devendo ser consideradas na

interpretação dos resultados da qualidade da água. Dessa forma, eventuais alterações observadas nos parâmetros monitorados não podem ser atribuídas exclusivamente à área de disposição de resíduos, uma vez que diferentes fontes antrópicas podem contribuir para a composição da água no trecho estudado.



Figura 26 - Piscicultura em área adjacente ao rio Juma a montante. **Fonte:** Autor (2026).



Figura 27 - Pecuária bovina nas margens do rio Juma a montante. **Fonte:** Autor (2026).

4.1.1 Cálculo do IQR

A partir das pontuações obtidas nas três etapas da avaliação, referentes aos aspectos estruturais, operacionais e locacionais da área de disposição de resíduos, determinou-se o valor final do Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR), conforme a metodologia adotada pela CETESB (2022):

$$\text{IQR} = \frac{10 + 5 + 6}{10} = 2,1$$

O valor de 2,1 enquadra a área de disposição de resíduos sólidos urbanos de Apuí (AM) na condição inadequada, conforme a classificação adotada pela CETESB (2022). O resultado evidencia deficiências estruturais, operacionais e de proteção ambiental, especialmente relacionadas à ausência de sistemas de impermeabilização do solo, drenagem e tratamento de lixiviados, controle operacional e planejamento para o encerramento da área.

O resultado obtido apresenta proximidade com valores registrados em outros municípios do estado do Amazonas. Em Humaitá, Oliveira *et al.* (2016) obtiveram IQR de 1,53; em Lábrea, Nascimento (2023) registrou valor de 0,63; e, em Itacoatiara, Guimarães *et al.* (2023) obtiveram IQR de 2,0. Embora existam diferenças entre os valores encontrados, os municípios considerados nesses estudos apresentaram condições inadequadas de disposição final segundo as metodologias empregadas, evidenciando deficiências relacionadas à infraestrutura, operação e proteção ambiental das áreas avaliadas.

4.2 Caracterização da água do rio Juma

Os resultados das análises da água do rio Juma foram avaliados, quando aplicável, com base nos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces de Classe 2 (Tabela 6). A caracterização contemplou duas campanhas amostrais, realizadas nos períodos de estiagem, em outubro de 2025, e chuvoso, em março de 2026, considerando as diferenças sazonais observadas na área de estudo.

Tabela 6 - Resultados das análises da água do rio Juma

Parâmetros	CONAMA 357/2005 Art. 15 V.M.P*	P1 Montante Estação Seca	P3 Jusante Estação Seca	P1 Montante Estação Chuvosa	P4 Jusante Estação Chuvosa
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	≥ 5,00	5,60	7,84	6,0	5,8
pH	6 a 9	7,59	7,55	5,7 ¹	6,1
Condutividade (µS/cm)	N.E.	5,29	4,98	7,6	9,2
Sólidos dissolvidos Totais (mg/L) ²	≤ 500	3,48	3,30	5,00	6,00
Salinidade (ppt)	N.E.	0,28	0,27	0,10	0,10
Temperatura (°C) ³	N.E.	27,2	29,6	24	24
Turbidez (UNT)	≤ 100	13,60	12,70	10,00	11,00
Nitrito (NO ₂) (mg/L)	≤ 1,0	0,00	0,00	0,00	0,00
Nitrato (NO ₃) (mg/L)	≤ 10	1,58	1,74	1,20	1,40
Fosfato (PO ₄ ³⁻) (mg/L)	N.E.	0,233	0,043	0,015	0,017
Fósforo Total (mg/L) ⁴	≤ 0,10	-	-	0,025	0,028
Nitrogênio Total (mg/L)	N.E.	-	-	2,0	2,5
DBO _{5,20} (mg/L)	≤ 5	12,50	10,20	4,07	4,98
Coliformes Totais	N.E.	3,0x10 ³	9,0x10 ³	2,0x10 ³	5,0x10 ³
Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	≤ 1.000	2,0x10 ²	3,0x10 ²	2,0x10 ²	4,0x10 ²

Fonte: Autor (2026). **Notas:** ¹ Valor em desconformidade com o padrão legal (pH < 6,0). ² A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece valor máximo de 500 mg/L para sólidos dissolvidos totais (SDT) em águas doces de Classe 2. ³ A resolução não estabelece faixa de temperatura para corpos hídricos doces Classe II; o Art. 34 trata apenas da variação térmica máxima de 3 °C na zona de mistura de efluentes. ⁴ Limite de 0,10 mg/L P para ambientes lóticos e tributários de ambientes intermediários (Tabela I, Classe 1, aplicada à Classe 2 pelo Art. 15). ⁵ N.E: Não especificado. Valores em **negrito** indicam desconformidade com o VMP. (—) Dados não coletados.

4.2.1 Parâmetros físico-químicos

Os parâmetros físico-químicos apresentaram, em sua maioria, valores compatíveis com os padrões aplicáveis da Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces de Classe 2 (Tabela 6). O oxigênio dissolvido (OD) variou entre 5,60 e 7,84 mg/L na estiagem e entre 5,8

e 6,0 mg/L no período chuvoso, permanecendo acima do limite mínimo de 5,0 mg/L. Os resultados foram superiores aos observados por Nascimento (2023) em Lábrea (AM) e próximos aos registrados por Oliveira *et al.* (2016) em Humaitá (AM). Embora todos os valores tenham atendido ao padrão estabelecido, as concentrações observadas no período chuvoso situaram-se próximas ao limite mínimo, condição que pode estar relacionada à dinâmica sazonal da matéria orgânica e aos processos de consumo de oxigênio no ambiente aquático (Esteves, 2011).

O pH variou entre 7,55 e 7,59 na estiagem e entre 5,7 e 6,1 no período chuvoso. O valor de 5,7 registrado em P1 durante o período chuvoso apresentou-se abaixo do limite mínimo de 6,0 estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005. A redução sazonal do pH pode estar associada ao aumento do aporte de matéria orgânica e de substâncias húmicas provenientes da drenagem da bacia durante o período de maior precipitação, além das características naturais dos sistemas aquáticos amazônicos (Esteves, 2011; ANA, 2024). Valores de acidez também foram registrados por Pereira *et al.* (2013) no rio Juma, indicando que a interpretação desse parâmetro deve considerar tanto a sazonalidade hidrológica quanto as características naturais e antrópicas da bacia.

A turbidez variou entre 10,0 e 13,6 UNT, permanecendo abaixo do limite máximo de 100 UNT estabelecido para águas doces de Classe 2. Os SDT variaram entre 3,30 e 6,00 mg/L, também abaixo do limite de 500 mg/L. A condutividade elétrica apresentou valores entre 4,98 e 9,20 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indicando baixa concentração de íons dissolvidos no período avaliado. A temperatura variou entre 27,2 e 29,6 °C na estiagem e foi de 24 °C nos pontos analisados durante o período chuvoso. Para condutividade elétrica e temperatura, a Resolução CONAMA nº 357/2005 não estabelece VMP específico aplicável à comparação realizada.

4.2.2 Nutrientes

Entre as formas de nitrogênio e fósforo avaliadas, o fosfato (PO_4^{3-}) apresentou maior concentração na estiagem, atingindo 0,233 mg/L em P1 e 0,043 mg/L em P3, enquanto no período chuvoso foram registrados 0,015 mg/L em P1 e 0,017 mg/L em P4. Ressalta-se que a Resolução CONAMA nº 357/2005 não estabelece VMP específico para fosfato, sendo o fósforo total o parâmetro utilizado para o enquadramento legal. Dessa forma, os valores de fosfato foram empregados como informação complementar para a caracterização da disponibilidade de fósforo no ambiente aquático, sem utilização para fins de enquadramento normativo.

As concentrações de fósforo total determinadas no período chuvoso foram de 0,025 mg/L em P1 e 0,028 mg/L em P4, permanecendo abaixo do limite de 0,10 mg/L P adotado para

ambientes lóticos. O nitrogênio total apresentou concentrações de 2,0 e 2,5 mg/L, respectivamente. O nitrito permaneceu abaixo do limite de quantificação nas amostras avaliadas, enquanto o nitrato variou entre 1,20 e 1,74 mg/L, permanecendo abaixo do VMP de 10 mg/L.

A maior concentração de fosfato observada na estiagem (0,233 mg/L em P1) pode estar associada à redução do volume hídrico e da capacidade de diluição, além de possíveis aportes naturais e antrópicos na bacia. No trecho estudado, além da área de disposição de resíduos sólidos, foram identificadas atividades de piscicultura e pecuária a montante dos pontos de coleta, reconhecidas como fontes potenciais de nutrientes. Dessa forma, os resultados devem ser interpretados considerando a influência conjunta da sazonalidade hidrológica e das diferentes atividades antrópicas desenvolvidas na bacia, sem que seja possível, com base em amostragem pontual, atribuir contribuições individuais a cada fonte.

4.2.3 Matéria orgânica

A demanda bioquímica de oxigênio ($DBO_{5,20}$) variou entre 4,07 e 12,50 mg/L, com os maiores valores registrados durante a estiagem. Nos pontos P1 e P3, foram observadas concentrações de 12,50 e 10,20 mg/L, respectivamente, superiores ao limite de 5,0 mg/L estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces de Classe 2. No período chuvoso, os valores foram de 4,07 mg/L em P1 e 4,98 mg/L em P4, permanecendo dentro do padrão estabelecido, embora o resultado de P4 tenha se situado próximo ao limite máximo.

A $DBO_{5,20}$ constitui indicador da quantidade de matéria orgânica biodegradável presente na água e pode ser influenciada por aportes naturais e antrópicos, além das condições hidrológicas do corpo hídrico (Von Sperling, 2014). A redução da vazão durante a estiagem pode diminuir a capacidade de diluição, contribuindo para maiores concentrações de matéria orgânica biodegradável (Esteves, 2011). No período chuvoso, os menores valores observados podem estar relacionados ao aumento do volume hídrico e aos processos de diluição, sem excluir a influência de diferentes fontes de matéria orgânica presentes na bacia.

Os valores registrados na estiagem foram superiores aos observados por Pereira *et al.* (2013) no próprio rio Juma e por Oliveira *et al.* (2016) em Humaitá (AM). Considerando as características da área de estudo, a carga orgânica pode estar associada a múltiplas fontes existentes na bacia de contribuição, incluindo o lixão municipal, atividades agropecuárias e piscicultura identificadas a montante. Os resultados evidenciam, portanto, pressão antrópica sobre o ecossistema aquático, embora as limitações da amostragem pontual não permitam a individualização exata dessas contribuições.

4.2.4 Indicadores microbiológicos

Os coliformes termotolerantes variaram entre 200 e 400 NMP/100 mL nos pontos avaliados, permanecendo abaixo do valor de referência de 1.000 NMP/100 mL adotado para a comparação. Os coliformes totais apresentaram concentrações entre $2,0 \times 10^3$ e $9,0 \times 10^3$, com variações entre pontos e períodos hidrológicos. Entretanto, considerando o delineamento amostral empregado e a realização das campanhas em períodos distintos, essas diferenças não permitem estabelecer um gradiente espacial de contaminação ao longo do trecho monitorado.

De acordo com a APHA, AWWA e WEF (2023), os indicadores microbiológicos são úteis para avaliar alterações sanitárias na qualidade da água, embora a identificação das fontes específicas dependa de informações e análises complementares. Considerando a presença de atividades pecuárias, piscicultura, ocupações rurais e da área de disposição de resíduos na bacia de contribuição, os resultados devem ser interpretados no contexto de múltiplas fontes potenciais, sem individualização da contribuição de cada atividade.

De forma integrada, os resultados evidenciam alterações pontuais na qualidade da água do rio Juma, principalmente relacionadas às concentrações de fosfato e $\text{DBO}_{5,20}$ durante o período de estiagem. Os demais parâmetros permaneceram, em sua maioria, em conformidade com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005. As alterações observadas refletem a influência da sazonalidade hidrológica característica da região amazônica e de diferentes atividades antrópicas existentes na bacia de contribuição, incluindo o lixão, áreas de piscicultura e atividades agropecuárias identificadas a montante dos pontos de amostragem.

Assim, embora o lixão represente um potencial fonte de aporte de matéria orgânica e nutrientes, os resultados obtidos não permitem atribuir exclusivamente a ele as alterações observadas, evidenciando a necessidade de monitoramento contínuo da qualidade da água e da adoção de medidas integradas de gestão ambiental na bacia do rio Juma.

4.2.5 Avaliação da qualidade da água (IQA)

A Tabela 7 apresenta os valores do IQA obtidos nos pontos P1 e P4 durante o período chuvoso e suas respectivas classificações.

Tabela 7 - Valores e classificação do IQA para a estação chuvosa.

Pontos de Amostragem	Localização	IQA	Classificação
P1	Montante (Referência)	59	Boa
P4	Jusante	58	Boa

Fonte: Autor (2026), com base ANA (2024).

Os valores de IQA obtidos nos pontos P1 e P4 durante o período chuvoso foram de 59 e 58, respectivamente, enquadrando ambos na categoria Boa, conforme a classificação adotada (ANA, 2024). A diferença de uma unidade entre os pontos indica pequena variação do índice na campanha avaliada, não sendo suficiente, diante do delineamento amostral, para inferir alteração espacial significativa da qualidade da água.

A classificação “Boa” expressa a avaliação integrada das variáveis que compõem o IQA e não substitui a análise individual dos parâmetros nem implica, isoladamente, atendimento a todos os padrões estabelecidos para águas doces de Classe 2 pela Resolução CONAMA nº 357/2005. Nesse sentido, os resultados do período chuvoso devem ser interpretados conjuntamente com as análises individuais dos parâmetros e com as características ambientais e antrópicas da bacia.

Durante a estiagem, a ausência de dados de nitrogênio total e fósforo total impossibilitou o cálculo completo do IQA. Essa limitação impede a comparação sazonal direta do índice, embora os parâmetros físico-químicos e microbiológicos disponíveis permitam caracterizar as condições da água durante esse período.

Os resultados foram próximos aos registrados por Pereira *et al.* (2013) para o mesmo corpo hídrico (IQA entre 62 e 66) e aos observados por Oliveira *et al.* (2016) em Humaitá (AM), cujos valores variaram entre 52 e 79. Em contraste, Nascimento (2023) registrou IQA entre 32 e 40 em um córrego sob influência de um lixão no município de Lábrea (AM), enquadrando-o na categoria Ruim.

4.2.6 Síntese integrada

De forma integrada, os resultados evidenciaram variações espaciais e sazonais no rio Juma. As principais desconformidades foram observadas para a $DBO_{5,20}$ na estiagem e para o pH em P1 no período chuvoso, enquanto os demais parâmetros com padrões legais aplicáveis permaneceram, em sua maioria, em conformidade com a Resolução CONAMA nº 357/2005.

No período chuvoso, os valores de IQA de 59 em P1 e 58 em P4 classificaram a água como Boa. A ausência de nitrogênio total e fósforo total na estiagem impossibilitou o cálculo do índice, restringindo a comparação sazonal direta.

As diferenças observadas devem ser interpretadas considerando a sazonalidade hidrológica e as múltiplas fontes de contribuição na bacia, incluindo a disposição de resíduos, piscicultura, pecuária e outros usos do solo. Assim, o delineamento amostral não permite atribuir exclusivamente ao lixão as alterações identificadas, reforçando a necessidade de monitoramento sistemático e investigação complementar dessas contribuições.

5 CONCLUSÃO

A aplicação integrada do Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR) e do Índice de Qualidade da Água (IQA) permitiu avaliar as condições estruturais, operacionais e locais da área de disposição final de resíduos sólidos urbanos de Apuí (AM), bem como caracterizar a qualidade da água do rio Juma nos trechos monitorados, subsidiando o diagnóstico ambiental da área de estudo.

A aplicação do IQR resultou em 2,1, classificando a área de disposição como inadequada, conforme a metodologia adotada pela CETESB (2022). O baixo desempenho esteve associado principalmente às deficiências estruturais, operacionais e de proteção ambiental, incluindo ausência de impermeabilização do solo, sistemas de drenagem e tratamento de lixiviados, drenagem de gases, controle operacional e planejamento para o encerramento da área. Em contrapartida, os critérios locais referentes ao afastamento de núcleos habitacionais e corpos hídricos atenderam às distâncias estabelecidas pela metodologia.

A avaliação da qualidade da água do rio Juma, realizada por meio de campanhas pontuais nos períodos de estiagem e chuvoso, demonstrou que a maioria dos parâmetros com padrões legais aplicáveis permaneceu em conformidade com a Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces de Classe 2. As principais desconformidades foram observadas para a $DBO_{5,20}$ durante a estiagem, com valores de 12,50 mg/L em P1 e 10,20 mg/L em P3, superiores ao limite de 5,0 mg/L, e para o pH no período chuvoso, com valor de 5,7 em P1, inferior ao limite mínimo de 6,0. O fósforo apresentou maior concentração na estiagem, especialmente em P1, porém foi empregado exclusivamente como parâmetro complementar, uma vez que não possui valor máximo específico aplicável para o enquadramento adotado.

No período chuvoso, o IQA foi de 59 em P1, a montante, e 58 em P4, a jusante, classificando a qualidade da água como Boa em ambos os pontos, conforme a metodologia adotada (ANA, 2024). A pequena diferença entre os valores indica condições semelhantes do índice nos pontos avaliados durante a campanha, sem que o delineamento amostral permita estabelecer significância estatística para essa variação. Ressalta-se, ainda, que a classificação pelo IQA representa uma avaliação integrada dos parâmetros que compõem o índice e não substitui a análise individual das variáveis nem implica, isoladamente, conformidade com todos os padrões estabelecidos para águas doces de Classe 2.

As inspeções de campo identificaram atividades de piscicultura e pecuária a montante do ponto de referência, constituindo potenciais fontes difusas de nutrientes, matéria orgânica e microrganismos. Associadas às demais formas de uso e ocupação da bacia e à presença da área

de disposição de resíduos, essas atividades demonstram a existência de múltiplas fontes potenciais de influência sobre a qualidade da água. Dessa forma, os resultados obtidos não permitem atribuir exclusivamente ao lixão as alterações observadas, sendo necessário considerar conjuntamente a sazonalidade hidrológica e as diferentes pressões antrópicas presentes na bacia do rio Juma.

A ausência de dados de nitrogênio total e fósforo total na campanha de estiagem impossibilitou o cálculo completo do IQA para esse período, restringindo a comparação sazonal direta do índice. Essa limitação, entretanto, não impede a caracterização da qualidade da água na estiagem com base nos parâmetros físico-químicos e microbiológicos efetivamente determinados, nem interfere no cálculo do IQA realizado para o período chuvoso, no qual foram contempladas as variáveis requeridas pela metodologia adotada.

Em conjunto, os resultados evidenciam a necessidade de adequação da gestão da área de disposição de resíduos sólidos de Apuí, especialmente quanto ao controle operacional, à proteção ambiental e ao planejamento de seu encerramento e recuperação. O monitoramento sistemático da qualidade da água do rio Juma, contemplando diferentes períodos hidrológicos e pontos a montante e a jusante, mostra-se necessário para acompanhar a evolução das condições ambientais e ampliar a capacidade de diferenciação entre as potenciais fontes de aporte existentes na bacia. A integração entre o IQR e o IQA mostrou-se aplicável ao diagnóstico proposto, ao reunir informações sobre as condições da área de disposição e a qualidade do corpo hídrico adjacente, fornecendo subsídios técnicos para ações de recuperação ambiental e aprimoramento da gestão municipal de resíduos sólidos.

6 RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos, nas limitações metodológicas identificadas e nas condições ambientais observadas na área de estudo, propõem-se ações voltadas ao controle dos riscos associados à disposição inadequada de resíduos, ao aprimoramento do monitoramento ambiental e ao planejamento da transição para formas de disposição final ambientalmente adequadas. As recomendações foram organizadas conforme seu caráter operacional e horizonte de implementação.

6.1 Ações imediatas de caráter operacional

- a) **Controle de Acesso e Vetores:** restringir o acesso não autorizado de pessoas e animais à área de disposição, mediante implantação de barreiras físicas, sinalização e procedimentos de controle de entrada, reduzindo riscos sanitários e operacionais.
- b) **Controle do recebimento de resíduos de serviços de saúde (RSS):** interromper o recebimento irregular de RSS na área e assegurar sua segregação, acondicionamento, transporte e destinação por fluxos específicos e legalmente autorizados, em conformidade com a regulamentação aplicável.
- c) **Gestão de águas pluviais e recobrimento dos resíduos:** implantar medidas provisórias de controle do escoamento superficial e da erosão, associadas ao recobrimento periódico da massa de resíduos exposta, com o objetivo de reduzir sua exposição, a proliferação de vetores e a mobilização de materiais pela ação das chuvas.
- d) **Cadastro e inclusão socioproductiva dos catadores:** identificar e cadastrar os trabalhadores que atuam na recuperação de materiais recicláveis na área, promovendo sua inclusão em programas de coleta seletiva, associações ou cooperativas, com condições adequadas de saúde, segurança e organização do trabalho, em consonância com os princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos.
- e) **Planejamento do encerramento e recuperação da área:** elaborar plano específico para o encerramento da disposição inadequada e recuperação ambiental da área, contemplando diagnóstico complementar, medidas de estabilização, controle de águas pluviais e lixiviados, cobertura final e programa de monitoramento pós-encerramento.

6.2 Ações de investigação e monitoramento

- a) **Investigação hidrogeológica:** realizar estudo hidrogeológico para caracterizar a profundidade e a dinâmica do lençol freático, as condições de fluxo subterrâneo e a

vulnerabilidade da área, subsidiando a investigação de eventual ocorrência de contaminação das águas subterrâneas.

- b) Monitoramento de múltiplas matrizes ambientais:** ampliar o monitoramento para águas subterrâneas, solo, sedimentos e lixiviados, de modo a caracterizar possíveis alterações ambientais e acompanhar sua evolução ao longo do tempo.
- c) Monitoramento sazonal da qualidade da água:** estabelecer programa permanente de monitoramento da água superficial do rio Juma, contemplando campanhas nos períodos de estiagem e chuvoso e garantindo a determinação de todos os parâmetros necessários ao cálculo do IQA, além dos parâmetros complementares relevantes à avaliação ambiental da bacia.
- d) Diferenciação das fontes potenciais de aporte:** desenvolver estudos destinados a avaliar as contribuições relativas das diferentes atividades presentes na bacia, incluindo a área de disposição de resíduos, piscicultura, pecuária e outras formas de uso e ocupação do solo, com vistas a reduzir a incerteza quanto à origem das alterações observadas na qualidade da água.

6.3 Ações de estruturação regional

- a) Avaliação de alternativas para disposição final ambientalmente adequada:** realizar estudos de viabilidade técnica, ambiental, territorial e econômica para implantação de solução de disposição final compatível com a legislação vigente, considerando alternativas municipais ou regionalizadas e sistemas de impermeabilização, drenagem e tratamento de lixiviados, manejo de gases e monitoramento ambiental.
- b) Fortalecimento da gestão integrada de resíduos sólidos:** revisar, implementar e acompanhar as ações previstas no Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), com ênfase na coleta seletiva, recuperação de materiais recicláveis, tratamento da fração orgânica, educação ambiental e redução da quantidade de resíduos encaminhados à disposição final.
- c) Monitoramento de longo prazo:** promover estudos continuados que integrem indicadores físico-químicos, microbiológicos, hidrológicos e ecotoxicológicos na bacia do rio Juma, incluindo o período posterior ao encerramento da área, de modo a avaliar a evolução das condições ambientais e subsidiar decisões de gestão e conservação dos recursos hídricos.

7 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2024: informe anual**. Brasília, DF: ANA, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/centrais-de-conteudos/publicacoes/conjuntura-dos-recursos-hidricos>. Acesso em: 12 jul. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE (ABREMA). *Panorama dos resíduos sólidos urbanos no Brasil 2023/2024*. São Paulo: ABREMA, 2024. Disponível em: <https://abrema.org.br>. Acesso em: 21 out. 2024.

ALFAIA, R. G.; COSTA, A. M.; CAMPOS, J. C. **Municipal solid waste in Brazil: a review**. Waste Management & Research, London, v. 35, n. 12, p. 1195-1209, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1177/0734242X17735375>.

ALVARES, C. A. et al. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

ALVES, R. C.; SILVA, N. M.; ANDRADE, M. V. B.; MARQUES, E. L. **Gerenciamento municipal de resíduos sólidos no Amazonas, Brasil**. Research, Society and Development, Vargem Grande Paulista, v. 9, n. 12, p. e28691211139, 2020. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i12.11139>.

AMAZONAS. Assembleia Legislativa do Estado do Amazonas (ALEAM). **Amazonas tem um aterro controlado e 61 lixões a céu aberto, diz GT do Saneamento**. Manaus: ALEAM, 2018. Disponível em: <https://www.ale.am.gov.br/2018/01/11/amazonas-tem-um-aterro-controlado-e-61-lixoes-a-ceu-aberto-diz-gt-do-saneamento>. Acesso em: 10 fev. 2025.

AMAZONAS. Lei n.º 4.457, de 12 de abril de 2017. **Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos do Amazonas – PERS/AM, e dá outras providências**. Diário Oficial do Estado do Amazonas, Manaus, AM, ano 123, n. 33.513, 12 abr. 2017. Disponível em: https://legisla.imprensaoficial.am.gov.br/diario_am/12/2017/4/1053. Acesso em: 12 jul. 2026.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 24th ed. Washington, DC: APHA, 2023.

ASSOCIAÇÃO AMAZONENSE DE MUNICÍPIOS (AAM). **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos: Apuí/AM**. Manaus: AAM, 2012. Disponível em: <https://www.sema.am.gov.br/wp-content/uploads/2024/04/PMGIRS-APUI.pdf>. Acesso em: 1 out. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo: ABRELPE, 2018. Disponível em: <https://www.abrelpe.org.br>. Acesso em: 21 out. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 8419: **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos — procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 8849: **Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10004-1: **Resíduos sólidos — Classificação — Parte 1: Requisitos de classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 13896: **Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15849: **Resíduos sólidos urbanos — aterros sanitários de pequeno porte — diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

BATISTA, L. F. **Avaliação da qualidade da água do Rio Caititu no município de Lábrea**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente, Universidade Federal do Amazonas, Humaitá, 2022.

BENTES, M. F. P. et al. **Os impactos ambientais da deposição de resíduos sólidos e a gestão ambiental no município de Iranduba/AM**. Research, Society and Development, Vargem Grande Paulista, v. 12, n. 1, p. e7012137779, 2023. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v12i1.37779>.

BORBA, W. F. *et al.* **Análise da qualidade da água de poços de monitoramento em área de disposição de resíduos sólidos urbanos no sul do Brasil**. Revista de Geociências do Nordeste, Caicó, v. 7, n. 2, p. 306-316, 2021. DOI: <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2021v7n2ID24522>.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). **Ibama flagra descarte de 10 mil litros de esgoto bruto em lixão a céu aberto no Amazonas**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/noticias/2025/ibama-flagra-descarte-de-10-mil-litros-de-esgoto-bruto-em-lixao-a-ceu-aber>. Acesso em: 17 abr. 2026.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 147, n. 147, p. 3-7, 3 ago. 2010.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Diagnóstico temático: visão geral – manejo de resíduos sólidos urbanos: SNIS 2023, ano de referência 2022**. Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos-snis>. Acesso em: 25 abr. 2026.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 53, p. 58-63, 18 mar. 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. **Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 249, p. 81-84, 30 dez. 2009.

CAJAS, D. G. **Modelagem e simulação computacional das concentrações de oxigênio dissolvido e da demanda bioquímica de oxigênio usando relações cinéticas de Holling**. 2021. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Infraestrutura) – Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2021.

CAMPOS, J. C. **Desafios da implementação da PNRS: lixões e a sustentabilidade financeira dos serviços públicos de manejo de RSU**. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 27, n. 3, p. 411-423, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220210214>.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Inventário estadual de resíduos sólidos urbanos 2022**. São Paulo: CETESB, 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/residuos-solidos/publicacoes-e-relatorios/>. Acesso em: 28 abr. 2026.

ESPINOZA, J. C. *et al.* **Seca que afetou a Amazônia em 2023 causou a maior queda nos níveis dos rios já registrada**. Jornal da Unesp, São Paulo, 24 abr. 2024. Disponível em: <https://jornal.unesp.br/2024/04/24/seca-que-afetou-a-amazonia-em-2023-causou-a-maior-queda-nos-niveis-dos-rios-ja-registrada>. Acesso em: 11 abr. 2026.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826 p.

FABRIS, B. T.; JOÃO, J. J.; BORGES, E. M. **Quantificação de nitrito em água utilizando um scanner de mesa**. Revista Virtual de Química, Niterói, v. 12, n. 3, p. 569-582, 2020. DOI: <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20200048>.

FERNANDES, A. J. D. *et al.* **Avaliação de parâmetros físico-químicos de água dos maciços do Bessa e Intermares/PB**. Revista Principia: Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB, João Pessoa, n. 36, p. 95-104, 2017. DOI: <https://doi.org/10.18265/1517-03062015v1n36p95-104>.

FERREIRA, A. *et al.* **Avaliação socioambiental dos catadores de material reciclável de Capitão Poço/PA**. Revista Licuri, Capitão Poço, v. 2, n. 1, p. 45-60, 2023. Disponível em: <https://editorialicuri.com.br/index.php/ojs/article/view/139>. Acesso em: 15 abr. 2026.

FERREIRA, L. A. *et al.* **Avaliação da qualidade e potabilidade da água subterrânea em áreas rurais no município de Humaitá/AM**. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, Catu, v. 12, n. 3, p. 721-729, 2021. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.003.0057>.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. **Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia**. Acta Amazonica, Manaus, v. 28, n. 2, p. 101-126, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-43921998282126>.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAs**. Brasília, DF: Funasa, 2014. 112 p. Disponível em: <https://repositorio.funasa.gov.br/handle/123456789/491>. Acesso em: 12 abr. 2026.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017. 175 p.

GLÓRIA, L. P.; HORN, B. C.; HILGEMANN, M. **Avaliação da qualidade da água de bacias hidrográficas por meio do Índice de Qualidade da Água – IQA**. Caderno Pedagógico, Lajeado, v. 14, n. 1, p. 103-119, 2017. DOI: <https://doi.org/10.22410/issn.1983-0882.v14i1a2017.1449>.

GOMES, G. W. S. **Influência do lixo a céu aberto na qualidade da água de um corpo hídrico no distrito de Santo Antônio do Matupi/AM**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente, Universidade Federal do Amazonas, Humaitá, 2025. Disponível em: <https://riu.ufam.edu.br/handle/prefix/9198>. Acesso em: 19 mar. 2026.

GUERRA, A. F.; VIDAL, C. M. S.; SOUZA, J. B. **Proposta de melhoria de aterro de resíduos sólidos urbanos para um pequeno município**. Ambiência: Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, Guarapuava, v. 8, n. 2, p. 191-203, 2010.

GUIMARÃES, G. A. *et al.* **Avaliação das áreas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos de Itacoatiara, Amazonas**. Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science, Anápolis, v. 12, n. 2, p. 49-62, 2023. DOI: <https://doi.org/10.21664/2238-8869.2023v12i2.p49-62>.

GUIMARÃES, J. R.; NOUR, E. A. A. **Tratando nossos esgotos: processos que imitam a natureza.** Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, São Paulo, n. 4, p. 19-30, maio 2001.

HIRATA, E. *et al.* **A problemática dos resíduos sólidos urbanos em Tefé, Amazonas.** Sociedade & Natureza, Uberlândia, v. 22, n. 2, p. 313-329, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1982-45132010000200008>.

HUMANN, F. C. *et al.* **Análise de coliformes fecais no Rio Camboriú.** Camboriú: Instituto Federal Catarinense, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Indicadores de saneamento básico no Brasil.** Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/indicadores-de-saneamento-basico>. Acesso em: 20 out. 2024.

JESUS, M. H. **Avaliação do potencial de contaminação de lixões na Bahia – Brasil, utilizando parâmetros do meio físico e de resíduos sólidos urbanos - RSU.** 2021. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/34060>. Acesso em: 17 abr. 2026.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos.** 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011. 560 p.

LEIRA, M. H. *et al.* **Qualidade da água e seu uso em pisciculturas.** Pubvet, Londrina, v. 11, n. 1, p. 11-17, 2017. DOI: <https://doi.org/10.22256/pubvet.v11n1.11-17>.

LIMA, P. G. *et al.* **Avaliação de um aterro sanitário por meio do Índice de Qualidade de Resíduos Sólidos.** Brazilian Journal of Biosystems Engineering, Tupã, v. 11, n. 1, p. 88-106, 2017. DOI: <https://doi.org/10.18011/bioeng2017v11n1p88-106>.

LIMA, P. M.; PAULO, P. L. **Solid-waste management in the rural area of Brazil: a case study in Quilombola communities.** Journal of Material Cycles and Waste Management, Tokyo, v. 20, n. 3, p. 1583-1593, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10163-018-0718-9>.

LIRA, J. B. M. L. **Avaliação preliminar das concentrações de metais pesados nos sedimentos da Lagoa do Araçá, Recife/PE, Brasil.** 2008. 79 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Instituto de Tecnologia de Pernambuco, Recife, 2008.

MADEIRA, G. R.; GONÇALVES, J. A. C.; ALMEIDA, M. S. L. **A contaminação das águas subterrâneas do aterro sanitário de Itabira/MG.** Revista Brasileira de Geografia Física, Recife, v. 15, n. 4, p. 1902-1925, 2022. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.4.p1902-1925>.

MAGESWARI, S. *et al.* **Contamination of groundwater quality due to municipal solid waste disposal: a GIS-based study in Perungudi Dump Yard.** International Journal of Engineering and Technology, Dubai, v. 4, n. 4, p. 952-964, 2017. DOI: <https://doi.org/10.14419/ijet.v4i4.6699>.

MARTINS, J. D.; RIBEIRO, M. F. **O consumismo como fator preponderante para o aumento da geração de resíduos sólidos e os impactos ambientais e na saúde pública.** Revista de Direito Econômico e Socioambiental, Curitiba, v. 12, n. 1, p. 123-152, 2021. DOI: <https://doi.org/10.7213/rev.dir.econ.soc.v12i1.27814>.

MENEZES, J. M. *et al.* **Índice de qualidade de água: métodos e aplicabilidade.** 2010. 189 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

MIRANDA, D. *et al.* **Monitoramento de águas subterrâneas: importância para a gestão integrada.** Águas Subterrâneas, São Paulo, v. 35, n. 1, p. 1-12, 2021. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v35i1.29881>.

NASCIMENTO, L. S. **Análise da qualidade do solo e da água em área de disposição de resíduos sólidos urbanos no município de Lábrea, Amazônia Ocidental, Brasil.** 2023. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente, Universidade Federal do Amazonas, Humaitá, 2023.

NEITZEL, J.; LINDNER, A. **Saneamento ambiental.** Indaial: Uniasselvi, 2013. 245 p.

NISHIMURA, A. S. **Avaliação da remoção dos macronutrientes nitrogênio e fósforo de efluente de abatedouro por fitorremediação.** 2020. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.

OLIVEIRA, B. O. S. *et al.* **Avaliação dos solos e das águas nas áreas de influência de disposição de resíduos sólidos urbanos de Humaitá, Amazonas.** Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 21, n. 3, p. 593-601, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016139420>.

OMER, N. H. **Water quality parameters.** In: SUMMERS, J. K. (ed.). Water Quality: Science, Assessments and Policy. London: IntechOpen, 2019. cap. 2, p. 51-59. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.89657>.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **The Sustainable Development Goals Report 2019.** New York: United Nations, 2019. Disponível em: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2019/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2019.pdf>. Acesso em: 14 maio 2025.

PEREIRA, A. R. *et al.* **Avaliação da qualidade da água superficial na área de influência de um lixão.** Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science, Taubaté, v. 8, n. 3, p. 239-246, 2013. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1160>.

PHILIPPI JÚNIOR, A.; ROMÉRO, M. A.; BRUNA, G. C. (ed.). **Curso de gestão ambiental.** 2. ed. Barueri: Manole, 2014. 1245 p.

POERSCH, A. C. C. *et al.* **Aspectos históricos da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e métodos alternativos com redução no tempo de análise.** Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, Catu, v. 12, n. 6, p. 521-535, 2021. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.006.0043>.

QUADROS, A.; AUDIBERT, J. L.; FERNANDES, F. **Decaimento das emissões de biogás após um ano do encerramento de um aterro controlado de uma cidade de 500.000 habitantes.** Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 39, n. 1, p. 61-68, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0375.2018v39n1p61>.

REIS, N. J. *et al.* (org.). **Geologia e recursos minerais do estado do Amazonas.** Manaus: CPRM/CIAMA, 2006. 125 p. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/2967>. Acesso em: 19 abr. 2025.

REIS, R. G.; LEAL, M. L. M. **Análise das relações de focos de calor e desflorestamento no município de Lábrea, sul do Amazonas.** Revista Brasileira de Meio Ambiente, Jaboatão dos Guararapes, v. 8, n. 3, p. 112-125, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4005123>.

RODRIGUES, G. S. M. **Avaliação do perigo de contaminação do solo em função do sistema de disposição final de resíduos sólidos em valas.** 2019. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru, 2019.

SANTOS, N. M. **Avaliação de impactos ambientais do aterro sanitário em Sousa/PB.** 2023. 84 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Centro de Ciências e

Tecnologia Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2023. Disponível em: <https://dspace.sti.ufcg.edu.br/handle/riufcg/30898>. Acesso em: 14 abr. 2026.

SILVA, A. C. *et al.* Análise da qualidade da água subterrânea: estudo de caso na microbacia do igarapé Nazaré (Ji-Paraná-RO). *Águas Subterrâneas*, São Paulo, v. 34, n. 4, p. 380-391, 2020. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v34i4.29972>.

SILVA, L. M. Estudo da correlação entre o oxigênio dissolvido e a matéria orgânica em diferentes ambientes aquáticos da região amazônica. 2012. 108 f. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) – Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2012. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/3341>. Acesso em: 11 abr. 2026.

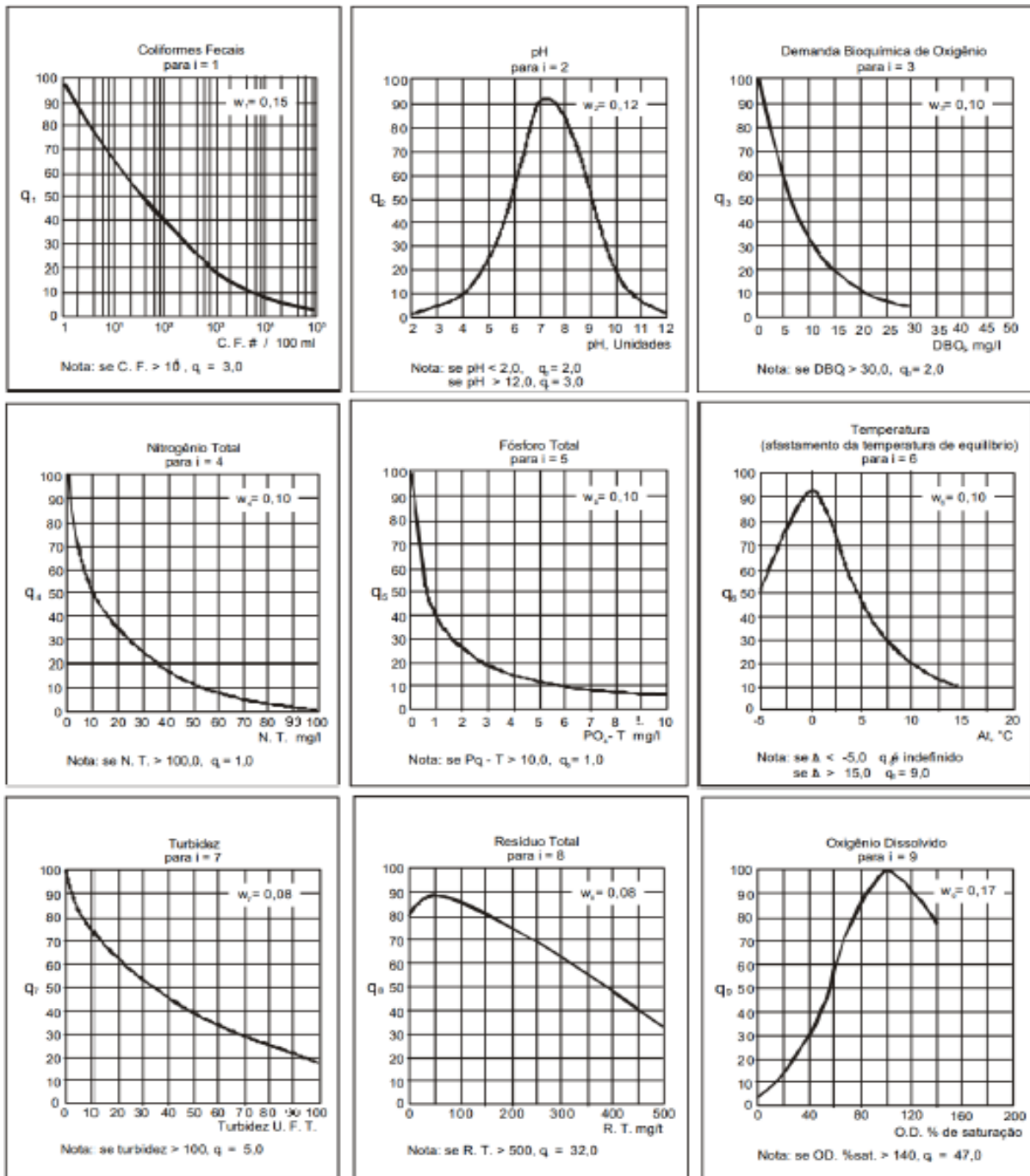
SILVA, R. *et al.* Resíduos a céu aberto no Alto Oeste Potiguar: condições de trabalho dos catadores. *Revista de Tecnologia e Sociedade*, Curitiba, v. 21, n. 1, p. 45-62, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3895/rts.v21n1.19385>.

SIQUEIRA, G. W. *et al.* **Diagnóstico da qualidade da água do rio Parauapebas (Pará – Brasil)**. *Acta Amazonica*, Manaus, v. 42, n. 3, p. 413-422, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672012000300014>.

URBAN, R. C. **Índice de adequação do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos como ferramenta para o planejamento: aplicação no estado de São Paulo**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 20, n. 3, p. 385-392, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020000115003>.

VALENTE, B. S. *et al.* **Impactos ambientais dos resíduos sólidos no município de Pelotas/RS: um olhar fotográfico**. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 97-104, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5902/2236117019777>.

ANEXOS A - Curvas médias de variação dos parâmetros do IQA



Fonte: CETESB (2022).

ANEXO B – Planilha do Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR).

ÍNDICE DA QUALIDADE DE ATERROS DE RESÍDUOS - IQR				
MUNICÍPIO:			DATA:	
LOCAL:			AGÊNCIA:	
BACIA HIDROGRÁFICA:			UGRHI:	
LICENÇA: L.I. ☐ L.O. ☐			TÉCNICO:	

ITEM	SUB-ITEM	AValiação	PESO	PONTOS
ESTRUTURA DE APOIO	1. PORTARIA, BALANÇA E VIGILÂNCIA	SIM/SUFICIENTE	2	
		NÃO/INSUFICIENTE	0	
	2. ISOLAMENTO FÍSICO	SIM/SUFICIENTE	2	
		NÃO/INSUFICIENTE	0	
FRETE DE TRABALHO	3. ISOLAMENTO VISUAL	SIM/SUFICIENTE	2	
		NÃO/INSUFICIENTE	0	
	4. ACESSO À FRENTE DE DESCARGAS	ADEQUADO	3	
		INADEQUADO	0	
FRENTE DE TRABALHO	5. DIMENSÕES DA FRENTE DE TRABALHO	ADEQUADAS	5	
		INADEQUADAS	0	
	6. COMPACTAÇÃO DOS RESÍDUOS	ADEQUADA	5	
		INADEQUADA	0	
TALUDES E BERMAS	7. RECOBRIMENTO DOS RESÍDUOS	ADEQUADO	5	
		INADEQUADO	0	
	8. DIMENSÕES E INCLINAÇÕES	ADEQUADAS	4	
		INADEQUADAS	0	
SUPERFÍCIE SUPERIOR	9. COBERTURA DE TERRA	ADEQUADA	4	
		INADEQUADA	0	
	10. PROTEÇÃO VEGETAL	ADEQUADA	3	
		INADEQUADA	0	
ESTRUTURA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL	11. AFLORAMENTO DE CHORUME	NÃO / RAROS	4	
		SIM / NUMEROSOS	0	
	12. NIVELAMENTO DA SUPERFÍCIE	ADEQUADO	5	
		INADEQUADO	0	
ESTRUTURA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL	13. HOMOGENEIDADE DA COBERTURA	SIM	5	
		NÃO	0	
	14. IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO	SIM/ADEQUADA (N. PREENCHER ITEM 15)	10	
		NÃO/ADEQUADA (N. PREENCHER ITEM 15)	0	
ESTRUTURA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL	15. PROF. LENÇOL FREÁTICO (P) * PERMEABILIDADE DO SOLO (K)	$P > 3 \text{ m}, k < 10^{-6} \text{ cm/s}$	4	
		$3 \leq P < 3 \text{ m}, k < 10^{-6} \text{ cm/s}$	2	
		CONDIÇÃO INADEQUADA	0	
	16. DRENAGEM DE CHORUME	SIM / SUFICIENTE	4	
ESTRUTURA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL		NÃO / INSUFICIENTE	0	
	17. TRATAMENTO DE CHORUME	SIM / ADEQUADO	4	
		NÃO / INADEQUADO	0	
	18. DRENAGEM PROVISÓRIA DE ÁGUAS PLUVIAIS	SUFIC. / DESNECESSÁRIO	3	
ESTRUTURA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL		NÃO / INSUFICIENTE	0	
	19. DRENAGEM DEFINITIVA DE ÁGUAS PLUVIAIS	SUFIC. / DESNECESSÁRIO	4	
		NÃO / INSUFICIENTE	0	
	20. DRENAGEM DE GASES	SUFIC. / DESNECESSÁRIO	4	
ESTRUTURA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL		NÃO / INSUFICIENTE	0	
	21. MONITORAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	ADEQUADO	4	
		INADEQUADO / INSUFIC.	1	
		INEXISTENTE	0	
ESTRUTURA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL	22. MONITORAMENTO GEOTÉCNICO	ADEQUADO / DESNECES.	4	
		INADEQUADO / INSUFIC.	1	
		INEXISTENTE	0	
	SUBTOTAL 1			86

ITEM	SUB-ITEM	AValiação	PESO	PONTOS
OUTRAS INFORMAÇÕES	23. PRESENÇA DE CATADORES	NÃO	2	
		SIM	0	
	24. QUEIMA DE RESÍDUOS	NÃO	2	
		SIM	0	
	25. OCORRÊNCIA DE MOSCAS E ODORES	NÃO	2	
		SIM	0	
	26. PRESENÇA DE AVES E ANIMAIS	NÃO	2	
		SIM	0	
	27. RECEBIMENTO DE RESÍDUOS - AUTORIZADOS	NÃO	5	
		SIM	0	
CARACTERÍSTICAS DA ÁREA	28. RECEBIMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS	SIM (PREENCHER ITEM 29)		☐
		NÃO (IR PARA O ITEM 30)		
	29. ESTRUTURAS E PROCEDIMENTOS	SUFICIENTE / ADEQUADO	10	
		INSUFIC./INADEQUADO	0	
	SUBTOTAL 2.1		10	
	SUBTOTAL 2.2		20	
	30. PROXIMIDADE DE NÚCLEOS HABITACIONAIS	$\geq 500 \text{ m}$	2	
		$\leq 500 \text{ m}$	0	
	31. PROXIMIDADE DE CORPOS DE ÁGUA	$\geq 200 \text{ m}$	2	
		$\leq 200 \text{ m}$	0	
CARACTERÍSTICAS DA ÁREA	32. VIDA ÚTIL DA ÁREA	$\leq 2 \text{ ANOS}$	☐	☐
		$2 < x \leq 5 \text{ ANOS}$	☐	☐
		$> 5 \text{ ANOS}$	☐	☐
	33. RESTRIÇÕES LEGAIS AO USO DO SOLO	SIM	☐	☐
	NÃO	☐	☐	
SUBTOTAL 3		4		

TOTAL MÁXIMO (100)		TOTAL MÁXIMO (110)	
TOTAL MÁXIMO 2.1		TOTAL MÁXIMO 2.2	
sem recebimento de resíduos industriais		com recebimento de resíduos industriais	

IQR - SOMA DOS PONTOS/10		IQR - SOMA DOS PONTOS/11	
sem recebimento de resíduos industriais		com recebimento de resíduos industriais	

CÁLCULO DO IQR	
(sem recebimento de resíduos industriais) $IQR = (SUBTOTALS 1 + 2.1 + 3) / 10 = 10,0$	
(com recebimento de resíduos industriais) $IQR = (SUBTOTALS 1 + 2.2 + 3) / 11 = 10,0$	

IQR	AValiação
0,0 a 7,0	Condições Inadequadas (I)
7,1 a 10,0	Condições Adequadas (A)

Fonte: CETESB (2022).