



RELATÓRIO TÉCNICO

N. ° 001/2025

**ANÁLISE DA QUALIDADE DE ÁGUA BRUTA NA
BACIA DO TARUMÃ AÇU A PARTIR DO ÍNDICE
DE QUALIDADE DE ÁGUAS PRETAS**

IQAáguas pretas

Período: Agosto/2023 à Junho/2025

Solicitante:

**Sr. Gustavo Picanço Feitoza
Diretor Presidente do IPAAM**

**Analista Responsável: Sergio Duvoisin Junior
CRQ: 14101990**



1. Introdução

A bacia hidrográfica do Tarumã-Açu localiza-se nas zonas Norte e Oeste de Manaus, Amazonas, a cerca de 20 km do centro urbano. Com área de drenagem de 1.353,271 km², é classificada como uma bacia de grande porte. Seu perímetro é de 229,122 km, apresentando índice de circularidade de 0,32, e enquadra-se como bacia de 5ª ordem segundo a hierarquia de cursos d'água. A declividade média é de 1,84%, com altitudes variando entre 154 m e 2 m, resultando em amplitude altimétrica de 152 m.

O rio Tarumã-Açu é o principal curso d'água da bacia, recebendo diversos afluentes, como os igarapés do Acará, da Bolívia, Argola, Cabeça Branca, do Branquinho, do Caniço, do Gigante, do Leão, do Mariano, Matrinxã, do Panermão, do Santo Antônio, do São José, do Tiú, além do rio Tarumã-Mirim.

Apesar de possuir áreas de vegetação preservada, a bacia sofre considerável pressão antrópica, evidenciada pela presença de flutuantes, marinas, o aterro sanitário municipal, ocupações irregulares e condomínios, fatores que contribuem para a drenagem inadequada e o descarte incorreto de resíduos, resultando na degradação de rios e igarapés.

Em 19 de outubro de 2009, o Governo do Estado do Amazonas instituiu, por meio do Decreto nº 29.249, o Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Tarumã-Açu (CBH-Tarumã), com a finalidade de auxiliar na gestão dos recursos hídricos, no controle de impactos ambientais e no apoio ao licenciamento ambiental, sob coordenação da Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEMA). O comitê, entretanto, foi desativado pouco tempo depois, sendo reativado apenas em novembro de 2016, com nova diretoria e retomada das atividades de gestão.



O rio Tarumã-Açu é caracterizado por águas correntes de coloração marrom-escura, possuindo aproximadamente 37,612 km de extensão. Sua nascente situa-se no km 40 da BR-174 (Manaus–Boa Vista) e o curso fluvial percorre as zonas Norte e Oeste de Manaus, tendo o trecho inferior como limite ocidental da área urbana, até desaguar na margem esquerda do rio Negro. O leito é predominantemente arenoso e apresenta mata ciliar bem preservada.

O monitoramento da Bacia do Tarumã Açu, pelo grupo de pesquisa “Química Aplicada à Tecnologia”, iniciou no ano de 2021, com a aluna de mestrado Thaís Santiago do Amaral, com oito pontos equidistantes entre si. Os meses de coleta neste primeiro monitoramento foram outubro, novembro e dezembro de 2021, sendo que este trabalho de mestrado se estendeu até março de 2022. De todo o seu trabalho, foi possível nos meses de outubro, novembro e dezembro de 2021 ser calculado o Índice de Qualidade de Água – IQA desses pontos amostrados, importante lembrar que este IQA é o usado na região sudeste (São Paulo) do Brasil.

Entre os anos de 2023 e 2025, especificamente nos meses de novembro/21, março, junho e dezembro/22, e ainda março/23 também foram realizadas amostragens na bacia do Tarumã Açu em quatro pontos, em localidades diferentes ao já mencionado, que compunham o projeto “Implementação da Rede de Monitoramento Qualitativo e Quantitativo do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Amazonas – PERH/AM Fase 1: Manaus”.

E entre os anos de 2022 e 2023, especificamente, nos meses de agosto/22 e fevereiro e maio/23 foram realizadas amostragens na bacia do Tarumã Açu em 15 (quinze) pontos equidistantes entre si, e diferentes em relação aos dois trabalhos já mencionados. Estes 15 (quinze) pontos marcam



o início do monitoramento regular do Tarumã Açu não só com os 09 (nove) parâmetros que fazem parte do Índice de Qualidade de Águas – IQA, mas com 164 parâmetros de monitoramento de qualidade de águas.

De 2023 a 2025, estes quinze pontos distribuídos por toda a bacia do Tarumã Açu têm sido amostrados para análises físicas, químicas, biológicas e metais. Estas análises realizadas vêm fazendo parte da construção do banco de dados do GP-QAT a respeito das principais bacias que banham a cidade de Manaus, entre todos estes dados analisados estão os parâmetros que compõe o IQA_{águas pretas}, criado pelo GP-QAT, quais sejam: oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio amoniacal, fósforo total, condutividade elétrica, turbidez e sólidos dissolvidos.

As coordenadas de cada ponto de coleta mencionados neste relatório técnico estão abaixo relacionadas na tabela 1.

Tabela 1 - Coordenadas Geográficas dos quinze pontos amostrados na Bacia do Tarumã-Açu entre os anos de 2023 e 2025.

PONTOS	Referência Geográfica	
1	3°04'43.7"S	59°77'71.0"W
2	3°04'32.5"S	59°78'72.8"W
3	3°04'27.0"S	59°79'81.3"W
4	3°04'52.7"S	59°81'24.2"W
5	3°04'71.1"S	59°82'42.7"W
6	3°05'21.7"S	59°83'61.1"W
7	3°05'14.4"S	59°84'62.4"W
8	3°03'89.3"S	59°81'80.0"W
9	3°02'84.3"S	59°82'06.2"W
10	3°01'66.0"S	59°82'21.2"W
11	3°00'16.8"S	59°82'41.0"W
12	2°98'63.4"S	59°83'09.2"W
13	3°03'36.1"S	59°80'75.3"W
14	3°01'87.0"S	59°79'70.2"W
15	3°02'79.6"S	59°78'85.6"W

Para uma melhor visualização destes pontos na bacia do Tarumã Açu está apresentado, nas figuras 1 e 2, os mapas de distribuição dos mesmos pela bacia monitorada.

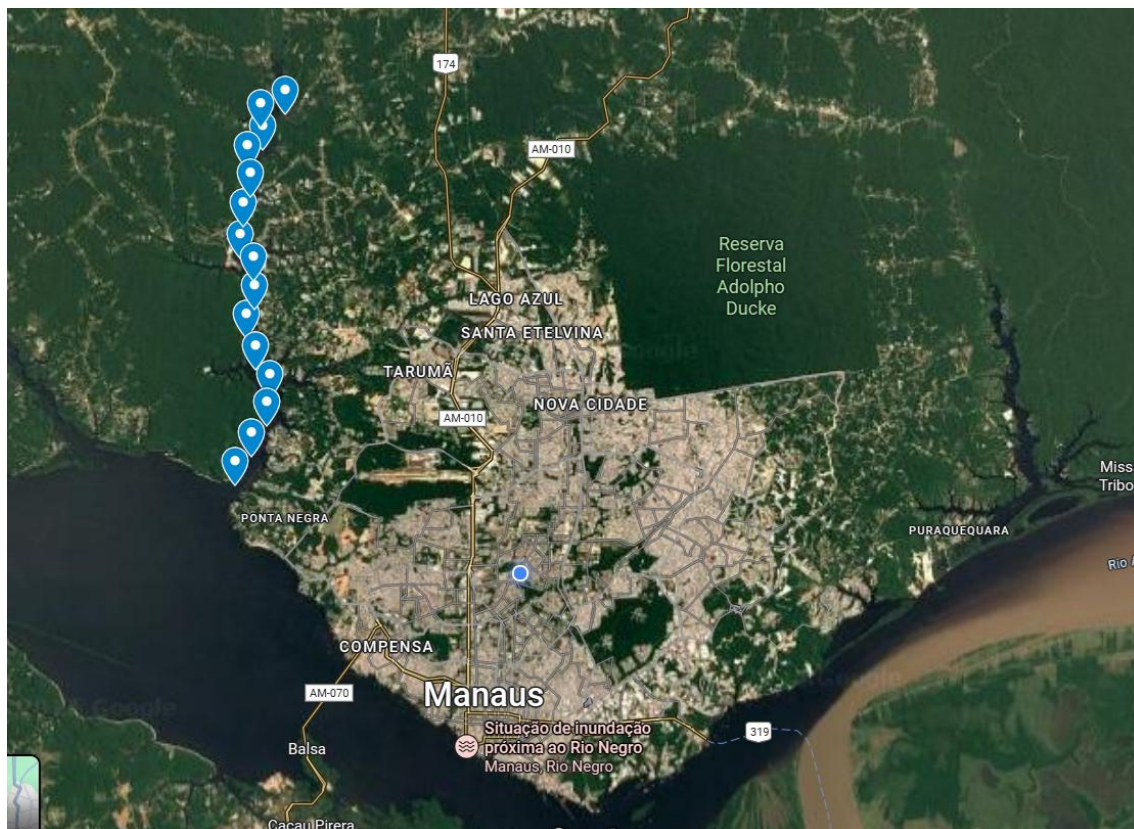


Figura 1 – Distribuição dos pontos monitorados da bacia do Tarumã Açu tendo como referência a cidade de Manaus.

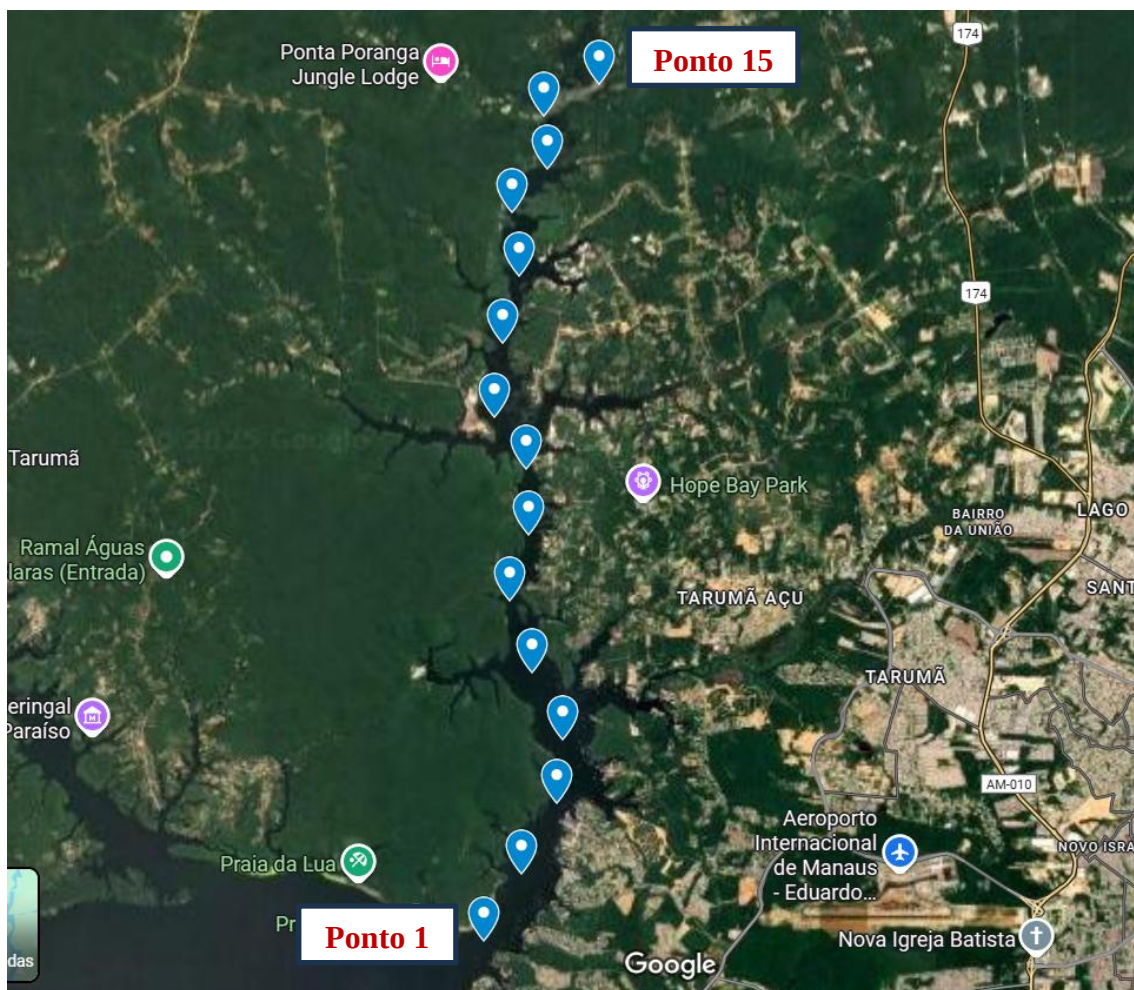


Figura 2 – Zoom da região de monitoramento com a localização dos pontos monitorados desde 2021.

Este relatório técnico irá se deter apenas nos parâmetros que fazem parte do Índice de Qualidade de Águas Pretas – IQA_{águas pretas}, proposto pelo Grupo de Pesquisa “Química Aplicada à Tecnologia” – GP-QAT da Universidade do Estado do Amazonas – UEA para determinar a qualidade água bruta de um corpo hídrico, entretanto, aproveita-se esta oportunidade para divulgar que existem muitos outros parâmetros de qualidade que são avaliados pelo GP-QAT, e que estão à disposição para consulta na nossa página virtual, www.gp-qat.com, com acesso público destas informações.



2. Índice de Qualidade de Águas Pretas – IQA_{águas pretas}:

A proposta de um Índice de Qualidade de Águas (IQA) específico para rios de águas pretas da região amazônica, foi desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa “Química Aplicada à Tecnologia” (GP-QAT). A motivação parte do fato de que índices tradicionais, usados nacional ou internacionalmente, não representam adequadamente as características físico-químicas e biológicas desses rios, como pH naturalmente ácido, baixas concentrações de oxigênio dissolvido e condutividade elétrica reduzida.

A metodologia se baseou em um extenso banco de dados composto por 342.930 análises, envolvendo 161 parâmetros de qualidade da água (físicos, químicos e microbiológicos, incluindo 70 metais), coletados em 71 pontos georreferenciados na bacia do rio Negro, durante 10 campanhas de grande porte entre 2023 e 2025. O desenvolvimento do índice seguiu quatro etapas: seleção dos parâmetros, definição dos valores de referência com base em áreas pouco impactadas, atribuição de pesos conforme relevância e agregação em um único valor final por meio de média ponderada.

Foram escolhidos nove parâmetros-chave: pH, condutividade elétrica, coliformes termotolerantes, oxigênio dissolvido, nitrogênio amoniacal, fósforo total, demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), turbidez e sólidos dissolvidos totais. Cada um teve suas curvas de qualidade modeladas matematicamente com coeficiente de correlação igual a 1, garantindo alta precisão no ajuste. A ponderação foi definida com base na opinião de especialistas, revisão bibliográfica e dados de campo, atribuindo maior peso a pH, condutividade, coliformes e oxigênio dissolvido (15% cada).



O IQA proposto utiliza uma escala de classificação mais rigorosa para os níveis de qualidade inferiores, buscando maior sensibilidade na detecção de degradação em ambientes ainda relativamente preservados.

A aplicação do novo índice em 15 pontos de monitoramento do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Amazonas (PERH/AM) mostrou diferenças significativas em relação ao IQA adotado no Estado de São Paulo. O IQA_{águas pretas} resultou em valores médios mais altos e condizentes com a tipologia desses rios, evitando que características naturais, como pH baixo e oxigênio dissolvido reduzido, sejam interpretadas erroneamente como degradação.

Os resultados indicam que o índice proposto é mais adequado para monitorar rios de águas pretas amazônicos, podendo ser usado tanto para avaliar bacias degradadas (como Educandos e São Raimundo em Manaus) quanto para prevenir impactos em áreas preservadas. O estudo é considerado um passo inicial para a padronização de um IQA específico para a Amazônia, integrando-se à gestão ambiental e à formulação de políticas de conservação. Para maiores detalhes sobre o IQA_{águas pretas} acessar o artigo científico que resultou deste trabalho: <https://doi.org/10.3390/w17060833>, ou no anexo 1.

O IQA_{águas pretas}, após os cálculos, é um número em uma escala de 0 (zero) a 100 (cem), quanto mais perto do zero pior a qualidade da água, quanto mais perto de cem melhor, além disto, é classificado em faixas, conforme tabela abaixo (Tabela 2).

Tabela 2 – Faixas da qualidade das águas a partir do IQA_{águas pretas}.

COR	Qualidade das Águas	Faixa de IQA Águas Negras
	Ótimo	$84 < \text{IQA} \leq 100$
	Bom	$74 < \text{IQA} \leq 84$
	Aceitável	$59 < \text{IQA} \leq 74$
	Ruim	$30 < \text{IQA} \leq 59$
	Péssimo	$0 < \text{IQA} \leq 30$



3. Descrição dos Parâmetros do IQA:

3.1. Oxigênio Dissolvido

O oxigênio dissolvido é vital para a preservação da vida aquática, já que vários organismos, como os peixes, por exemplo, precisam de oxigênio para respirar. As águas poluídas por esgotos apresentam baixa concentração de oxigênio dissolvido, pois o mesmo é consumido no processo de decomposição da matéria orgânica. Por outro lado, as águas limpas apresentam concentrações de oxigênio dissolvido mais elevadas, geralmente superiores a 5 mg.L^{-1} (MACKERETH, 1978; GOLTERMAN, 1978; RODIER, 1975), exceto se houverem condições naturais que causem baixos valores deste parâmetro, como no caso dos igarapés que fazem parte do presente estudo, devido à alta concentração de material orgânico oriundo da decomposição da floresta.

As águas eutrofizadas (ricas em nutrientes) podem apresentar concentrações de oxigênio superiores a 10 mg.L^{-1} (GUERRA, 2005), situação esta conhecida como supersaturação. Isto ocorre principalmente em lagos e represas em que o excessivo crescimento das algas faz com que durante o dia, devido à fotossíntese, os valores de oxigênio fiquem mais elevados. Por outro lado, durante a noite não ocorre a fotossíntese, e a respiração dos organismos faz com que as concentrações de oxigênio diminuam bastante, podendo causar mortandades de peixes.

Além da fotossíntese, o oxigênio também é introduzido nas águas por meio de processos físicos que dependem das características hidráulicas dos corpos d'água. A taxa de reintrodução de oxigênio dissolvido em águas naturais é proporcional à velocidade do corpo d'água, sendo que a taxa de



reaeração superficial em uma cascata é maior do que a de um rio em velocidade normal, que por sua vez apresenta taxa superior à de uma represa, com a velocidade normalmente baixa (DREW, 2005; LENCASTRE, 1984).

Uma adequada provisão de oxigênio dissolvido é essencial para a manutenção de processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais. Através da medição do teor de oxigênio dissolvido, os efeitos dos resíduos oxidáveis sobre as águas receptoras e a eficiência do tratamento dos esgotos, durante a oxidação bioquímica, podem ser avaliados. Os níveis de oxigênio dissolvido também indicam a capacidade que um corpo d'água natural possui em manter a vida aquática.

3.2. Coliformes Termotolerantes

As bactérias coliformes termotolerantes ocorrem no trato intestinal de animais de sangue quente e são indicadoras de poluição por esgotos domésticos recentes. Elas não são patogênicas (não causam doenças), mas sua presença em grande número indica a possibilidade da existência de microrganismos patogênicos que são responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica (ex: disenteria bacilar, febre tifoide e cólera).

3.3. Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH afeta o metabolismo de várias espécies aquáticas. A Resolução CONAMA 357 estabelece que para a proteção da vida aquática o pH deve estar entre 6,0 e 9,0. Alterações nos valores de pH também podem aumentar o efeito de substâncias químicas que são tóxicas para os organismos aquáticos, tais como os metais pesados.



3.4. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅)

A Demanda Bioquímica de Oxigênio representa a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica presente na água através da decomposição microbiana aeróbia, e transformá-la em uma forma inorgânica estável. A DBO₅ é a quantidade de oxigênio consumido durante 5 dias em uma temperatura de 20°C.

Valores altos de DBO₅, num corpo d'água são provocados geralmente pelo lançamento de cargas orgânicas, principalmente esgotos domésticos. No caso do igarapé estudado, um alto índice de DBO₅ pode estar relacionado à grande carga de matéria orgânica em decomposição proveniente da própria floresta. A ocorrência de altos valores deste parâmetro causa uma diminuição dos valores de oxigênio dissolvido na água, o que pode provocar mortandades de peixes e eliminação de outros organismos aquáticos.

3.5. Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica (CE) é um parâmetro físico-químico que expressa a capacidade de uma solução aquosa conduzir corrente elétrica, fenômeno determinado pela presença e mobilidade de íons dissolvidos, como cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), sódio (Na⁺), potássio (K⁺), cloreto (Cl⁻), sulfato (SO₄²⁻), nitrato (NO₃⁻) e bicarbonato (HCO₃⁻). Em termos práticos, quanto maior a concentração de sais dissolvidos, maior será o valor de condutividade elétrica. A unidade mais utilizada para expressar essa medida



é o microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$), sendo os valores normalmente corrigidos para a temperatura de 25 °C, uma vez que a CE aumenta aproximadamente 2% a cada 1 °C de elevação da temperatura.

A magnitude da CE em ambientes aquáticos é influenciada pela composição iônica da água, pela geologia e tipo de solo da bacia hidrográfica, pelo tempo de residência da água no sistema, pela contribuição relativa de diferentes fontes hídricas e pela eventual presença de poluentes. Águas de chuva ou de cabeceira, com pouco contato com minerais solúveis, apresentam condutividade muito baixa, enquanto águas subterrâneas, que interagem por longos períodos com rochas ricas em sais, tendem a exibir valores mais elevados.

Nos rios amazônicos de água preta, como o Tarumã-Açu, a condutividade elétrica é naturalmente baixa, em geral inferior a 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$, reflexo da reduzida carga de sais minerais e da alta concentração de substâncias húmicas e fúlvicas provenientes da decomposição da matéria vegetal. Esses rios drenam, predominantemente, solos arenosos altamente lixiviados, situados em regiões de elevada pluviosidade, e apresentam baixa alcalinidade e acidez levemente elevada. O baixo valor de CE nesses ecossistemas é, portanto, um traço natural e estável, que reflete seu equilíbrio geoquímico e ecológico.

Elevações acima da faixa natural, entretanto, podem indicar alterações antrópicas. No caso do Tarumã-Açu, fontes potenciais incluem o lançamento de efluentes domésticos e industriais, a atividade de marinas e flutuantes, a ocupação irregular das margens e a proximidade de instalações como o aterro sanitário municipal. Nessas circunstâncias, o aporte adicional de sais dissolvidos eleva a condutividade e pode sinalizar processos de



poluição difusa ou pontual, mesmo antes de análises laboratoriais detalhadas identificarem a composição dos contaminantes.

No contexto do monitoramento sistemático, a condutividade elétrica é um indicador rápido e de baixo custo para acompanhar variações sazonais e detectar eventos críticos, como descargas irregulares, mistura de águas de diferentes origens ou alterações no regime hidrológico, especialmente nos períodos de cheia e vazante. Para rios de água preta, como o Tarumã-Açu, manter a CE dentro da faixa natural é fundamental para a preservação da qualidade da água e do equilíbrio ecológico, servindo também como parâmetro de alerta para ações de gestão e mitigação em bacias sob crescente pressão urbana.

3.6. Nitrogênio Amoniacal

O nitrogênio amoniacal é a forma de nitrogênio presente na água resultante da soma das concentrações de amônia não ionizada (NH_3) e do íon amônio (NH_4^+), cuja proporção relativa depende do pH e da temperatura da amostra. Em águas naturais, pode ter origem natural, a partir da decomposição de matéria orgânica e da excreção de organismos aquáticos, ou antrópica, proveniente de despejos domésticos, industriais, lixiviados de aterros, efluentes de criação animal e escoamento superficial de áreas agrícolas fertilizadas.

Sua presença é um parâmetro importante no monitoramento da qualidade de águas brutas porque atua como um indicador inicial de contaminação por matéria orgânica nitrogenada de origem recente. Isso ocorre porque o nitrogênio amoniacal é o primeiro produto da decomposição de compostos nitrogenados, antecedendo a formação de nitrito (NO_2^-) e



nitrito (NO_2^-) no ciclo de nitrificação. Valores elevados podem, portanto, sinalizar lançamento recente de efluentes ou aporte pontual de resíduos orgânicos.

Do ponto de vista ambiental, concentrações elevadas de nitrogênio amoniacal podem causar impactos diretos e indiretos. Em sua forma não ionizada (NH_3), predominante em pH mais alto e temperaturas elevadas, a substância apresenta toxicidade significativa para organismos aquáticos, afetando especialmente peixes e invertebrados sensíveis. Além disso, contribui para o processo de eutrofização de corpos hídricos, favorecendo a proliferação excessiva de algas e cianobactérias, que podem comprometer a qualidade da água, reduzir o oxigênio dissolvido e liberar toxinas.

Em sistemas de tratamento de água para abastecimento, a presença de nitrogênio amoniacal interfere diretamente na desinfecção por cloração, uma vez que reage com o cloro livre, formando cloraminas e reduzindo a eficiência do processo. Isso pode demandar ajustes operacionais e aumento do consumo de desinfetantes, elevando custos e riscos de subprodutos indesejáveis.

No contexto de monitoramento de águas brutas, a quantificação do nitrogênio amoniacal permite identificar fontes de poluição, avaliar a eficiência de ações de controle e acompanhar a evolução de impactos ao longo do tempo. Em bacias hidrográficas amazônicas, como a do Tarumã-Açu, níveis naturalmente baixos são esperados em áreas preservadas, e elevações podem indicar pressões antrópicas, como lançamento de efluentes não tratados, presença de marinas e ocupações irregulares próximas às margens. Por isso, esse parâmetro é considerado essencial em programas de gestão da qualidade da água, especialmente quando integrado a outros



indicadores como oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e nutrientes dissolvidos.

3.7. Fósforo Total

Do mesmo modo que o nitrogênio, o fósforo é um importante nutriente para os processos biológicos, ou seja, é um dos chamados macro nutrientes por ser exigido também em grandes quantidades pelas células. Nesta qualidade, torna-se parâmetro imprescindível em programas de caracterização de efluentes industriais que se pretende tratar por processos biológicos. Ainda por ser nutriente em processos biológicos, o excesso de fósforo em corpos hídricos conduz a processos de eutrofização das águas naturais.

Entre as fontes de fósforo destacam-se os esgotos domésticos, pela presença dos detergentes fosfatados e da própria matéria fecal. A drenagem pluvial de áreas agrícolas e urbanas também é uma fonte significativa de fósforo para os corpos d'água. Entre os efluentes industriais destacam-se os das indústrias de fertilizantes, alimentícias, laticínios, frigoríficos e abatedouros.

O fósforo pode se apresentar nas águas de três formas diferentes. Os fosfatos orgânicos são a forma em que o fósforo compõe moléculas orgânicas, como as de um detergente, por exemplo. Os orto-fosfatos são representados pelos radicais, que se combinam com cátions formando sais inorgânicos nas águas, e os poli fosfatos são polímeros de orto-fosfato. Esta terceira forma não é muito importante nos estudos de controle de qualidade de águas, isto porque sofre hidrólise, convertendo-se rapidamente em orto-fosfatos nas águas naturais.



3.8. Turbidez

A turbidez indica o grau de atenuação que um feixe de luz sofre ao atravessar a água. Esta atenuação ocorre pela absorção e espalhamento da luz causada pelos sólidos em suspensão (silte, areia, argila, algas, detritos, etc.). A principal fonte de turbidez é a erosão dos solos, quando na época das chuvas as águas pluviais trazem uma quantidade significativa de material sólido para os corpos d'água. Atividades de mineração, assim como o lançamento de esgotos e de efluentes industriais, também são fontes importantes que causam uma elevação da turbidez das águas.

O aumento da turbidez faz com que uma quantidade maior de produtos químicos (ex: coagulantes) sejam utilizados nas estações de tratamento de águas, aumentando os custos de tratamento. Além disso, a alta turbidez também afeta a preservação dos organismos aquáticos, o uso industrial e as atividades de recreação.

A Alta turbidez reduz a fotossíntese da vegetação enraizada submersa e algas. Esse desenvolvimento reduzido de plantas pode, por sua vez, suprimir a produtividade de peixes. Logo, a turbidez pode influenciar nas comunidades biológicas aquáticas. Além disto, afeta adversamente os usos doméstico, industrial e recreacional de um corpo hídrico.

3.9. Sólidos Dissolvidos

Os sólidos dissolvidos totais (SDT), também conhecidos pela sigla TDS (Total Dissolved Solids), correspondem à soma de todas as substâncias minerais e, em menor proporção, orgânicas, presentes na água em forma dissolvida e capazes de atravessar filtros de porosidade muito fina



(geralmente 0,45 μm). Esse conjunto inclui íons inorgânicos como cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), sódio (Na^{+}), potássio (K^{+}), cloreto (Cl^{-}), sulfato (SO_4^{2-}), bicarbonato (HCO_3^{-}) e nitrato (NO_3^{-}), além de pequenas quantidades de compostos orgânicos solúveis, de origem tanto natural quanto antrópica

Os SDT podem ter origem natural, decorrente da dissolução de minerais durante o contato da água com o solo e as rochas, ou origem antrópica, associada ao lançamento de efluentes domésticos e industriais, uso de fertilizantes, drenagem de áreas urbanas e lixiviação de resíduos. Em ecossistemas amazônicos de água preta, como o rio Tarumã-Açu, os valores naturais de sólidos dissolvidos são particularmente baixos, frequentemente inferiores a 20 mg/L. Essa baixa concentração está associada à reduzida mineralização dos solos arenosos, à ausência de rochas ricas em sais solúveis e à intensa lixiviação provocada pela elevada pluviosidade. Nesses rios, a composição da água é dominada por ácidos húmicos e fúlvicos provenientes da decomposição da matéria orgânica vegetal, conferindo-lhes coloração escura e características químicas singulares.

No monitoramento de águas brutas, a determinação dos SDT é de grande importância, pois reflete o grau de mineralização da água e está diretamente relacionada à condutividade elétrica, funcionando como indicador indireto da concentração de sais dissolvidos. Alterações abruptas nos valores podem sinalizar modificações na qualidade da água: aumentos súbitos podem indicar aporte de poluentes solúveis ou mistura com águas de diferentes origens, enquanto reduções significativas podem estar associadas a mudanças hidrológicas ou diluição causada por precipitações intensas.

Do ponto de vista ecológico, concentrações elevadas de SDT em rios de água preta representam um desvio do padrão natural e podem



provocar impactos relevantes, como alterações na composição das comunidades biológicas, estresse osmótico em organismos sensíveis e modificação de processos ecológicos essenciais, incluindo a fotossíntese, devido à alteração da transparência da água. Em sistemas de abastecimento público, valores excessivos comprometem a potabilidade, influenciando sabor, odor e aceitação pelo consumidor, além de favorecer incrustações em tubulações e equipamentos.

No caso específico do Tarumã-Açu, o monitoramento contínuo dos sólidos dissolvidos é fundamental para detectar pressões antrópicas crescentes, como descargas de efluentes, escoamento superficial de áreas urbanizadas e mudanças no uso e cobertura do solo. Valores acima da faixa natural para rios de água preta funcionam como alerta para possível degradação da qualidade da água e costumam estar correlacionados ao aumento da condutividade elétrica. Associado a outros parâmetros, como oxigênio dissolvido, nitrogênio amoniacal e fósforo, o acompanhamento dos SDT fornece uma visão integrada do estado de conservação do manancial e das tendências de alteração em resposta às atividades humanas na bacia hidrográfica.



4. Metodologia do Estudo:

4.1. Metodologia de Coleta

Em todas as coletas realizadas em todos os projetos de pesquisa envolvidos em monitoramento de qualidade de recursos hídricos foram respeitadas as recomendações contidas no **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**, publicado pela Agência Nacional de Águas – ANA e Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, 2011.

4.2. Metodologia de Análise

Foram analisados os 09 (nove) parâmetros descritos anteriormente nos 15 (quinze) pontos de coleta de água obtidos na bacia do Tarumã Açu. As metodologias empregadas nas análises, realizadas nos laboratórios da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas e no barco de pesquisa Roberto dos Santos Vieira, seguiram as práticas recomendadas pelo **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater** da APHA/AWWA.

As medidas de oxigênio dissolvido foram realizadas com equipamento da marca Hanna, modelo HI-9146; as medidas de potencial hidrogeniônico e temperatura foram realizadas com equipamento da marca Hanna, modelo HI-98180; as medidas de turbidez foram realizadas com equipamento da marca Hanna, modelo HI-98703. Todas estas medidas foram realizadas, em campo, por técnicos do laboratório de Química Aplicada à Tecnologia da EST/ UEA. As demais análises que completam os parâmetros



do IQA, quais sejam: sólidos totais, coliformes termotolerantes, condutividade elétrica, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total e nitrogênio amoniacal foram realizadas em amostras coletadas nos pontos monitorados, nos laboratórios do grupo de pesquisa na Escola Superior de Tecnologia - EST/UEA, ou nos laboratórios do barco de pesquisa Roberto do Santos Vieira.

As metodologias empregadas para determinação de potencial hidrogeniônico, turbidez, temperatura, oxigênio dissolvido, sólidos totais, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total, nitrogênio amoniacal e coliformes termotolerantes foram adaptadas do SMWW/APHA, e estão reunidas na tabela 3 abaixo.

Tabela 3 – Metodologias utilizadas nas análises de qualidade de águas do GP-QAT.

Análise Realizada	Metodologia Empregada
Coliformes Termotolerantes	SMWW – 9223 B
Demanda Bioquímica de Oxigênio	SMWW – 5210 D
Nitrogênio Amoniacal	SMWW – 4500–NH ₃
Fósforo Total	SMWW – 4500–P
Sólidos Dissolvidos	SMWW – 2540 B
Potencial Hidrogeniônico	SMWW – 4500–H ⁺
Turbidez	SMWW – 2130 B
Condutividade Elétrica	SMWW – 2520 SALINITY
Oxigênio Dissolvido	SMWW – 4500–O



5. Resultados Obtidos:

5.1. Coliformes Termotolerantes

A bactéria *Escherichia coli* é a principal representante do grupo coliforme, microrganismos que conseguem fermentar a lactose entre 44 e 45°C. Existem outras bactérias que podem ser identificadas pela sua capacidade de fermentação da lactose, entre elas estão as dos gêneros *Klebsiella*, *Enterobacter* e *Citrobacter*. Entretanto, apenas a *E. coli* é de origem exclusivamente fecal.

A *E. coli* está sempre presente, e em quantidades elevadas nas fezes de mamíferos e aves, sendo, raramente, encontrada em águas que não tenham tido contato com tais dejetos. Os demais gêneros de bactérias citados acima podem ser identificados em águas contendo altos teores de matéria orgânica, como por exemplo, efluentes industriais ou regiões onde encontra-se material vegetal ou solo em processos de decomposição.

Segundo a Resolução n. 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, para as águas doces das classes Especial, Classe 1, Classe 2, Classe 3 e Classe 4, as quantidades máximas de coliformes termotolerantes que podem estar presentes estão elencadas no quadro resumo abaixo:

Classe segundo a Resolução 357/2005 do CONAMA	Limite
Classe Especial	200 coliformes termotolerantes por 100 mL em 80% ou mais, de pelo menos 6 amostras.
Classe 1	Para recreação de contato primário:



	2000 coliformes termotolerantes por 100 mL em 80% ou mais, de pelo menos 6 amostras. Para demais usos: 200 coliformes termotolerantes por 100 mL em 80% ou mais, de pelo menos 6 amostras.
Classe 2	Para recreação de contato primário: 2000 coliformes termotolerantes por 100 mL em 80% ou mais, de pelo menos 6 amostras. Para demais usos: 1000 coliformes termotolerantes por 100 mL em 80% ou mais, de pelo menos 6 amostras.
Classe 3	Para recreação de contato secundário: 2500 coliformes termotolerantes por 100 mL em 80% ou mais, de pelo menos 6 amostras. Para dessedentação de animais: 1000 coliformes termotolerantes por 100 mL em 80% ou mais, de pelo menos 6 amostras. Para demais usos: 4000 coliformes termotolerantes por 100 mL em 80% ou mais, de pelo menos 6 amostras.
Classe 4	Não possui limite estabelecido.

A tabela 4 abaixo mostra os valores obtidos nas análises de Coliformes Termotolerantes (NMP.L⁻¹) para todas as coletas realizadas no período de agosto/2023 a junho/2025.

Tabela 4 – Valores obtidos para as análises de Coliformes Termotolerantes, valores em NMP por litro.

Coliformes Termotolerantes NMP.100mL ⁻¹	ago/23	nov/23	fev/24	mai/24	ago/24	nov/24	fev/25	jun/25
Ponto 1	10	768	10	6	22	1413	19	8
Ponto 2	10	914	41	3	24	770	24	28
Ponto 3	10	96	30	21	10	108	14	11
Ponto 4	10	31	20	6	4	225	3	6
Ponto 5	31	75	10	13	12	248	8	3
Ponto 6	10	10	10	10	8	326	3	15
Ponto 7	10	10	20	26	10		2	4
Ponto 8	20	10	41	17	5		1	22



Ponto 9	10	41	10	9	4		12	27
Ponto 10	20	41	10	12	13		4	8
Ponto 11	20	52	20	13	11		11	21
Ponto 12	20	97	20	5	2		22	12
Ponto 13	31	74		5	2		28	36
Ponto 14	10	63	20	4	1		16	5
Ponto 15	20		10	26	4		6	11

Para uma melhor visualização da variação deste parâmetro tem-se abaixo os valores obtidos na forma de gráfico na figura 3.

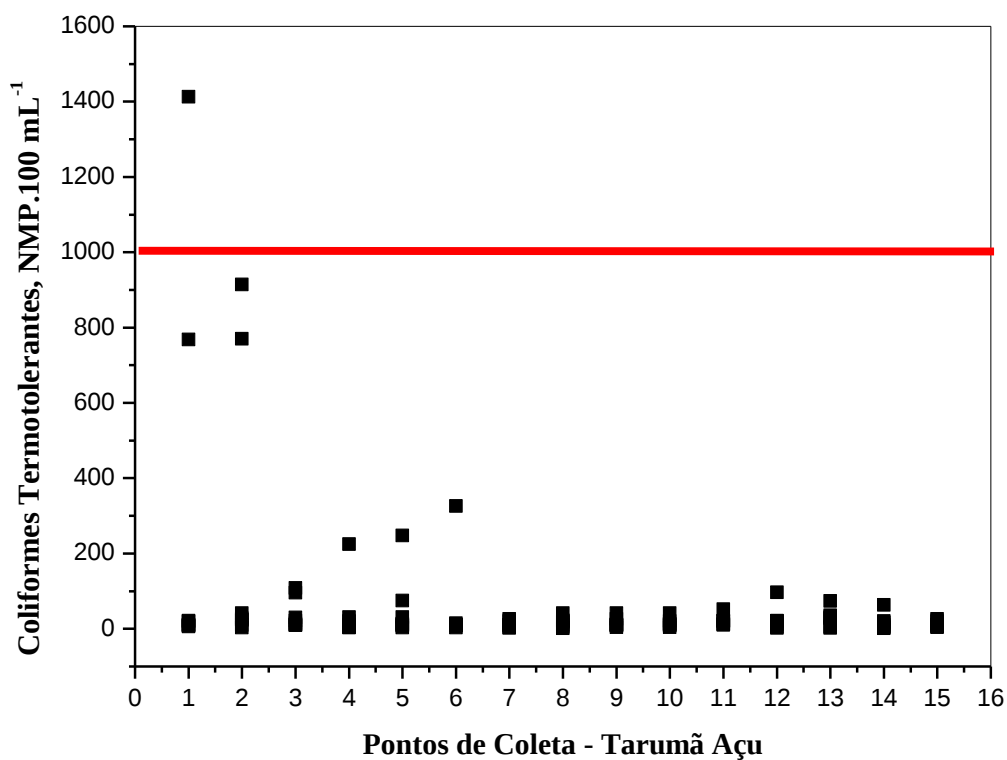


Figura 3 – Gráfico de variação do parâmetro Coliformes Termotolerantes nos pontos analisados, entre os anos de 2023 e 2025. A linha vermelha indica o limite do parâmetro segundo CONAMA 357/2005 (classe 2).

Na tabela 5 são apresentados uma avaliação estatística básica deste parâmetro monitorado.



Tabela 5 – Análise estatística básica do parâmetro Coliformes Termotolerantes

Coliformes Termotolerantes, NMP.100mL-1

	ago/23	nov/23	fev/24	mai/24	ago/24	nov/24	fev/25	jun/25
Média	16	163	19	12	9	515	12	14
Mínimo	10	10	10	3	1	108	1	3
Máximo	31	914	41	26	24	1413	28	36
DesvioP	8	290	11	8	7	496	9	10
Mediana	10	58	20	10	8	287	11	11



5.2. Potencial Hidrogeniônico

O pH ou potencial hidrogeniônico indica a concentração de hidrônios ou íons hidrogênio H^+ que se encontram em soluções aquosas. Em água pura a concentração do íon H^+ deve ser de 10^{-7} molar, o que representa um pH igual a 7, comumente chamado de pH neutro. Este parâmetro indica se o meio está em condição ácida ou alcalina, sendo o parâmetro mais utilizado em campanhas de monitoramento da qualidade de águas (VON SPERLING, 2005).

As alterações no pH de uma amostra podem ter origens naturais, tais como: oxidação de matéria orgânica, absorção de gases atmosféricos e dissolução de rochas, entre outros. Normalmente, as alterações de origem antropogênica ficam a cargo de efluentes domésticos e industriais, que não foram, devidamente, tratados. Devido aos seus efeitos fisiológicos, o pH tem uma relação muito estreita com animais e vegetais, e está relacionado também com a região onde está sendo realizado o estudo de qualidade de águas. Os principais efeitos do potencial hidrogeniônico sobre os organismos aquáticos podem ser verificados no quadro abaixo:

Valores de pH	Efeito sobre os organismos aquáticos
12,0 – 11,5	Alguns <i>Trichoptera</i> conseguem viver
11,5 – 11,0	Efeito imediato: letal para todas as espécies de peixes
11,0 – 10,5	Letal para alguns <i>Plecoptera</i> e <i>Anisoptera</i> (Odonata); <i>Thichoptera</i> tem emergência reduzida
10,5 – 10,0	Alguns <i>Plecoptera</i> típicos e <i>Ephemeroptera</i> sobrevivem com a emergência reduzida
10,0 – 9,0	Reduz a emergência de alguns <i>Plecoptera</i>
9,0 – 8,0	Sem efeito aparente para os invertebrados
8,0 – 7,0	7,0 é quase o limite inferior para a reprodução de <i>Gammarus sp.</i> , e talvez para alguns outros <i>Crustacea</i>
7,0 – 6,5	Invertebrados relativamente normais exceto <i>Crustacea</i> , incluindo a ocorrência comum de <i>Mollusca</i>



6,5 – 6,0	População aquática diversificada; não ocorre a reprodução de <i>Gammarus sp.</i> e <i>Daphnia sp.</i> e talvez de <i>Crustacea</i>
6,0 – 5,5	Os <i>Mollusca</i> são raros
5,5 – 5,0	Baixa diversidade de invertebrados bentônicos, com certos <i>Simuliidae</i> , <i>Ephemeroptera</i> , <i>Plecoptera</i> e <i>Chironomidae</i> presentes em maior número; letal para outros invertebrados, tal como alguns <i>Ephemeroptera</i>
5,0 – 4,5	Fauna bêmica restrita, <i>Ephemeroptera</i> reduzidos; letal para muitos <i>Plecoptera</i> típicos; inibe a emergência de certas larvas de <i>Trichoptera</i> , <i>Plecoptera</i> e <i>Chironomidae</i>
4,5 – 4,0	Alguns <i>Trichoptera</i> e <i>Anisoptera</i> (Odonata) são encontrados em tais habitats; certas larvas de <i>Chironomidae</i> são dominantes
4,0 – 3,5	Toda flora e fauna severamente restritas em número de espécies
3,5 – 3,0	Uns poucos tipos de invertebrados tais como certas larvas de <i>Chironomidae</i> e <i>Sialidae</i>

Importante salientar que um aumento no teor de matéria orgânica associada a uma pequena diminuição dos valores de pH leva a uma consequente diminuição nas quantidades de oxigênio dissolvido disponível nos corpos hídricos, elemento essencial à manutenção da vida de diversos organismos aquáticos. Segundo a resolução n. 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, para as águas doces das classes Especial, Classe 1, Classe 2, Classe 3 e Classe 4, a faixa ideal de pH deve ser entre 6,0 e 9,0. Entretanto, é oportuno lembrar que as águas pretas de rios e igarapés da região amazônica são, notoriamente, mais ácidas com pH natural entre 5,0 e 5,5.

A tabela 6 abaixo mostra os valores obtidos nas análises de potencial hidrogeniônico (pH) para todas as coletas realizadas no período de agosto/2023 à junho/2025.



Tabela 6 – Valores obtidos para as análises de potencial hidrogeniônico - pH.

Potencial Hidrogeniônico, pH	ago/23	nov/23	fev/24	mai/24	ago/24	nov/24	fev/25	jun/25
Ponto 1	5,23	7,12	5,32	5,19	5,03	6,67	4,99	5,08
Ponto 2	5,32	7,00	6,70	5,20	5,07	6,65	4,66	4,90
Ponto 3	5,34	6,13	6,67	5,26	5,05	6,53	4,79	4,95
Ponto 4	5,39	6,11	6,59	5,33	5,13	5,69	4,87	5,00
Ponto 5	5,2	6,21	6,18	5,36	5,09	5,70	4,79	4,90
Ponto 6	5,34	5,90	5,57	5,42	5,15	5,59	4,71	4,77
Ponto 7	5,41	5,84	5,49	5,53	5,24		4,90	4,83
Ponto 8	5,32	5,94	5,53	5,60	5,29		4,90	4,78
Ponto 9	5,33	5,93	5,51	5,58	5,28		4,88	4,81
Ponto 10	5,28	5,85	5,43	5,51	5,24		5,46	4,73
Ponto 11	5,27	5,87	5,43	5,44	5,27		5,53	4,76
Ponto 12	5,34	5,96	5,38	5,48	5,22		5,39	4,84
Ponto 13	5,23	5,91		5,49	5,14		4,94	4,84
Ponto 14	5,25	5,93	5,36	5,48	5,22		4,85	4,83
Ponto 15	5,21		5,82	5,73	5,32		4,72	4,79

Para uma melhor visualização da variação deste parâmetro tem-se abaixo os valores obtidos na forma de gráfico na figura 4.

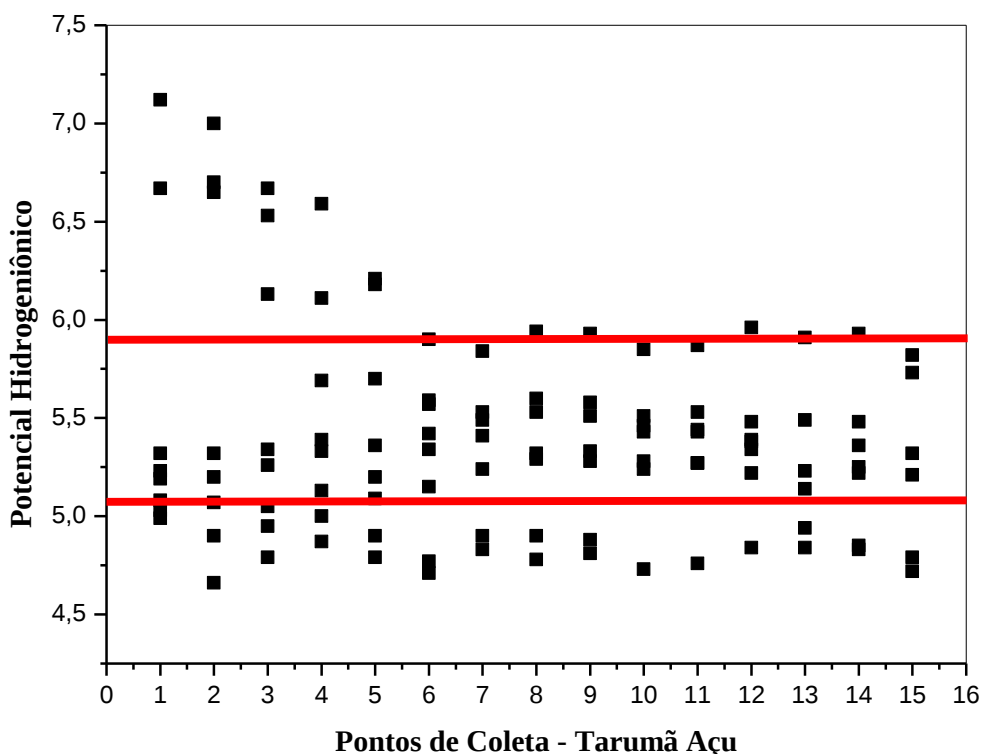


Figura 4 – Gráfico de variação do parâmetro Potencial Hidrogeniônico nos pontos analisados, entre os anos de 2023 e 2025. As linhas vermelhas indicam o intervalo limite do parâmetro segundo estudos realizados no Rio Negro ($5,15 < \text{pH} < 5,89$).

Na tabela 7 são apresentados uma avaliação estatística básica deste parâmetro monitorado.

Tabela 7 – Análise estatística básica do parâmetro Potencial Hidrogeniônico.

Potencial Hidrogeniônico

	ago/23	nov/23	fev/24	mai/24	ago/24	nov/24	fev/25	jun/25
Média	5,30	6,12	5,78	5,44	5,18	6,14	4,96	4,85
Mínimo	5,20	5,84	5,32	5,19	5,03	5,59	4,66	4,73
Máximo	5,41	7,12	6,70	5,73	5,32	6,67	5,53	5,08
DesvioP	0,06	0,41	0,52	0,15	0,09	0,53	0,28	0,10
Mediana	5,32	5,94	5,52	5,48	5,22	6,12	4,88	4,83



5.3. Demanda Bioquímica de Oxigênio

A quantidade de oxigênio necessária para a oxidação da matéria orgânica em uma forma inorgânica estável, através da decomposição por microrganismos aeróbios, é chamada de demanda bioquímica de oxigênio ou DBO. Este parâmetro é expresso pela quantidade de oxigênio necessária em um determinado tempo, e em uma temperatura específica. O período e a temperatura normalmente utilizados é o de 5 dias a 20°C, expresso por DBO_{5,20}.

Quando um corpo d'água recebe despejos de efluentes com alta carga de compostos orgânicos ocorre um aumento significativo nos valores de DBO, sendo que um aumento muito grande na quantidade de matéria orgânica poderá provocar o completo esgotamento do oxigênio na água, podendo provocar o desaparecimento de muitas formas de vida aquática.

Um aumento da microflora no corpo hídrico pode ser um indicativo de elevados valores de demanda bioquímica de oxigênio, o que, inevitavelmente, irá interferir no equilíbrio existente, sendo que poderá ainda acrescentar sabores e odores indesejáveis à água.

Segundo a Resolução n. 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, para as águas doces das classes Especial, Classe 1, Classe 2, Classe 3 e Classe 4, as quantidades máximas para demanda bioquímica de oxigênio (DBO_{5,20}) estão reunidas no quadro resumo abaixo:

Classe segundo a Resolução 357/2005 Do CONAMA	Limite
Classe Especial	Até 3 mg de O ₂ por litro
Classe 1	Até 3 mg de O ₂ por litro
Classe 2	Até 5 mg de O ₂ por litro
Classe 3	Até 10 mg de O ₂ por litro
Classe 4	Não possui limite estabelecido.



A tabela 8 abaixo mostra os valores obtidos nas análises de demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅) para todas as coletas realizadas no período de agosto/2023 a junho/2025.

Tabela 8 – Valores obtidos para as análises de demanda bioquímica de oxigênio - DBO₅.

Demanda Bioquímica de Oxigênio, mg.L ⁻¹	ago/23	nov/23	fev/24	mai/24	ago/24	nov/24	fev/25	jun/25
Ponto 1	11,5	13,8	11,9	8,2	22,6	10,1	10,0	2,7
Ponto 2	10,1	13,4	12,3	8,5	24,1	7,8	5,6	0,0
Ponto 3	8,6	11,9	11,2	0,0	21,9	1,9	0,0	2,8
Ponto 4	6,5	11,2	9,3	0,0	0,0	8,3	12,7	3,1
Ponto 5	30,0	10,8	10,1	10,0	0,0	3,4	13,3	0,8
Ponto 6	39,0	10,2	8,7	12,3	3,2	5,2	12,6	0,0
Ponto 7	13,5	11,3	7,9	11,9	21,9		13,8	5,7
Ponto 8	12,4	10,8	9,0	0,0	10,7		9,8	0,0
Ponto 9	12,4	9,8	9,4	0,0	0,0		12,7	0,0
Ponto 10	14,5	7,6	5,7	0,0	0,0		16,4	0,1
Ponto 11	14,5	9,3	0,0	0,0	20,8		14,6	2,4
Ponto 12	11,5	7,2	0,0	0,0	0,5		17,8	0,0
Ponto 13	13,8	7,2		9,6	0,0		21,2	0,0
Ponto 14	13,0	6,7	0,0	5,0	0,0		14,5	0,0
Ponto 15	0,0		0,0	5,8	0,0		0,0	4,3

Para uma melhor visualização da variação deste parâmetro tem-se abaixo os valores obtidos na forma de gráfico na figura 5.

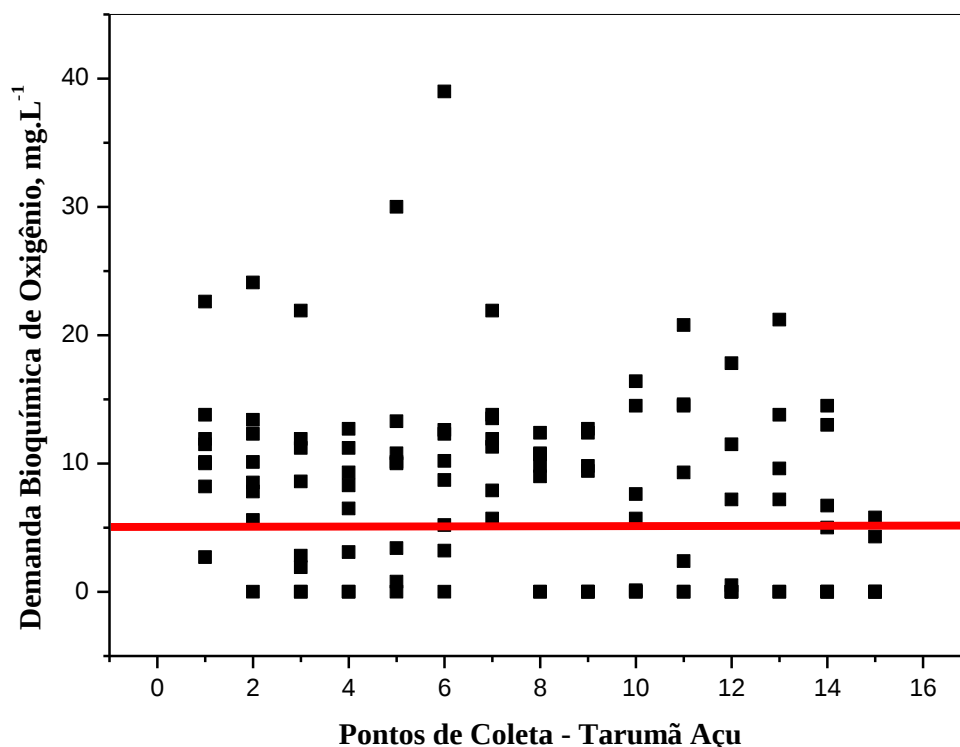


Figura 5 – Gráfico de variação do parâmetro Demanda Bioquímica de Oxigênio nos pontos analisados, entre os anos de 2023 e 2025. A linha vermelha indica o limite do parâmetro segundo CONAMA 357/2005 (classe 2).

Na tabela 9 são apresentados uma avaliação estatística básica deste parâmetro monitorado.

Tabela 9 – Análise estatística básica do parâmetro Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO_5 .

Demanda Bioquímica de Oxigênio, mg.L^{-1}

	ago/23	nov/23	fev/24	mai/24	ago/24	nov/24	fev/25	jun/25
Média	14,1	10,1	6,8	4,8	8,4	6,1	11,7	1,5
Mínimo	0,0	6,7	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0
Máximo	39,0	13,8	12,3	12,3	24,1	10,1	21,2	5,7
DesvioP	9,2	2,3	4,8	5,0	10,5	3,1	5,9	1,9
Mediana	12,4	10,5	8,9	5,0	0,5	6,5	12,7	0,1



5.4. Nitrogênio Amoniacal

O nitrogênio amoniacal é um parâmetro de qualidade da água que representa a soma das concentrações de amônia não ionizada (NH_3) e do íon amônio (NH_4^+) dissolvidos no meio aquático. A forma predominante entre NH_3 e NH_4^+ depende diretamente do pH e da temperatura da água: em pH mais elevado e temperaturas mais altas, aumenta a fração de amônia não ionizada, que é a forma mais tóxica para os organismos aquáticos.

Esse parâmetro é relevante tanto sob a ótica ambiental quanto sanitária. Em ambientes naturais, o nitrogênio amoniacal pode ter origem natural, proveniente da decomposição de matéria orgânica vegetal e animal, ou de excreções de organismos aquáticos. Entretanto, concentrações elevadas normalmente estão associadas a fontes antrópicas, como lançamento de esgoto doméstico não tratado, efluentes industriais, lixiviados de aterros sanitários, dejetos de criação animal e escoamento de áreas agrícolas fertilizadas.

No ciclo do nitrogênio, o nitrogênio amoniacal é a primeira forma liberada no processo de degradação da matéria orgânica nitrogenada. Em condições aeróbias, ele tende a ser convertido em nitrito (NO_2^-) e, posteriormente, em nitrato (NO_3^-) pelo processo de nitrificação. Assim, sua presença em concentrações elevadas indica contaminação recente e pode servir como alerta precoce de aporte orgânico, antes mesmo que ocorram mudanças significativas nos teores de nitrito e nitrato.

Do ponto de vista ecotoxicológico, a amônia não ionizada (NH_3) é altamente tóxica para peixes e outros organismos aquáticos, mesmo em baixas concentrações, podendo causar danos às brânquias, redução na capacidade de transporte de oxigênio e até mortalidade. Além disso, o



excesso de nitrogênio amoniacal contribui para a eutrofização de corpos hídricos, favorecendo a proliferação de algas e cianobactérias que podem produzir toxinas e reduzir o oxigênio dissolvido.

Em sistemas de tratamento de água para abastecimento, o nitrogênio amoniacal interfere diretamente na cloração, pois reage com o cloro livre formando cloraminas, que têm menor eficiência como desinfetante. Isso pode exigir maior dosagem de cloro e comprometer o controle microbiológico.

No monitoramento de águas brutas, especialmente em bacias amazônicas de águas pretas, como o rio Tarumã-Açu, os valores de nitrogênio amoniacal tendem a ser naturalmente baixos devido à baixa carga de nutrientes e à ausência de fontes minerais significativas. Portanto, aumentos detectáveis podem indicar influência de efluentes ou de atividades humanas no entorno, funcionando como indicador sensível de impacto antrópico recente. Por essa razão, o parâmetro é considerado essencial em programas de monitoramento, principalmente quando interpretado em conjunto com outros indicadores de qualidade da água, como oxigênio dissolvido, fósforo total e coliformes termotolerantes.

Segundo a resolução n. 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, para as águas doces das classes Especial, Classe 1, Classe 2, Classe 3 e Classe 4, as quantidades máximas de nitrogênio total estão reunidas no quadro resumo abaixo:

Classe segundo a Resolução 357/2005 Do CONAMA	Limite
Classe Especial	menor que 14,7 mg de N por litro de amostra
Classe 1	menor que 14,7 mg de N por litro de amostra
Classe 2	menor que 14,7 mg de N por litro de amostra
Classe 3	menor que 24,3 mg de N por litro de amostra
Classe 4	Não possui limite estabelecido.



A tabela 10 abaixo mostra os valores obtidos nas análises de nitrogênio total para todas as coletas realizadas no período de agosto/2023 à junho/2025.

Tabela 10 – Valores obtidos para as análises de nitrogênio amoniacal.

Nitrogênio Amoniacal, mg.L ⁻¹	ago/23	nov/23	fev/24	mai/24	ago/24	nov/24	fev/25	jun/25
Ponto 1	0,00	0,70	0,44	0,01	0,11	1,58	0,29	0,00
Ponto 2	0,00	0,70	0,16	0,04	0,02	1,78	0,42	0,05
Ponto 3	0,00	0,00	0,13	0,00	0,05	0,22	0,39	0,28
Ponto 4	0,00	0,00	0,01	0,00	0,07	0,19	0,38	0,30
Ponto 5	0,00	0,00	0,14	0,07	0,04	0,21	0,36	0,39
Ponto 6	0,00	0,00	0,17	0,04	0,01	0,20	0,44	0,29
Ponto 7	0,00	0,00	0,19	0,01	0,08		0,37	0,32
Ponto 8	0,00	0,00	0,00	0,07	0,25		0,18	0,30
Ponto 9	0,00	0,00	0,04	0,08	0,08		0,35	0,36
Ponto 10	0,00	0,00	0,02	0,07	0,23		0,39	0,04
Ponto 11	0,00	0,00	0,02	0,22	0,19		0,42	0,37
Ponto 12	0,00	0,00	0,02	0,21	0,17		0,45	0,35
Ponto 13	0,00	0,00		0,20	0,18		0,55	0,36
Ponto 14	0,00	0,00	0,03	0,08	0,07		0,59	0,40
Ponto 15	0,00		0,04	0,03	0,14		0,64	0,41

Para uma melhor visualização da variação deste parâmetro tem-se abaixo os valores obtidos na forma de gráfico na figura 6.

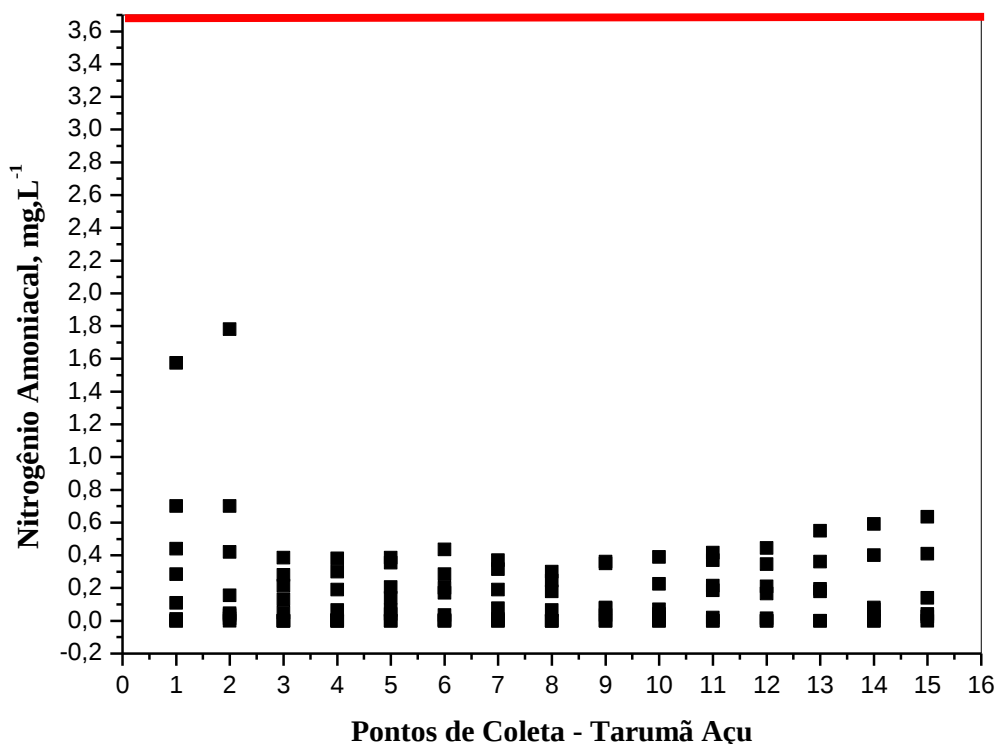


Figura 6 – Gráfico de variação do parâmetro Nitrogênio Amoniacal nos pontos analisados, entre os anos de 2023 e 2025. A linha vermelha indica o limite do parâmetro segundo CONAMA 357/2005 (classe 2).

Na tabela 11 são apresentados uma avaliação estatística básica deste parâmetro monitorado.

Tabela 11 – Análise estatística básica do parâmetro Nitrogênio Amoniacal.

Nitrogênio Amoniacal, mg.L⁻¹

	ago/23	nov/23	fev/24	mai/24	ago/24	nov/24	fev/25	jun/25
Média	0,00	0,10	0,10	0,07	0,11	0,69	0,41	0,28
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,19	0,18	0,00
Máximo	0,00	0,70	0,44	0,22	0,25	1,78	0,64	0,41
DesvioP	0,00	0,25	0,12	0,07	0,08	0,76	0,11	0,14
Mediana	0,00	0,00	0,04	0,07	0,08	0,21	0,39	0,32



5.5. Fósforo Total

O elemento fósforo pode se apresentar de três formas diferentes: fosfato, ortofosfato e polifosfato. As principais fontes deste elemento estão nos efluentes domésticos, em especial os ricos em matéria orgânica fecal, mas, principalmente, os despejos ricos em detergentes em pó usado em larga escala no ambiente doméstico. Existem algumas indústrias que contribuem com o aumento da concentração deste elemento nos cursos d'água, entre elas a de fertilizantes, conservas químicas, abatedouros; podendo também ser fonte de fósforo as águas de drenagem agrícolas e urbanas.

O fósforo, assim como o nitrogênio, é considerado um macronutriente para os processos biológicos, ou seja, são necessárias quantidades significativas destes elementos para a manutenção da vida. Entretanto, assim como para o nitrogênio, quantidades excessivas deste elemento nos corpos hídricos podem conduzir a processos de eutrofização.

Segundo a Resolução n. 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, para as águas doces das classes Especial, Classe 1, Classe 2, Classe 3 e Classe 4, as quantidades máximas de fósforo total estão reunidas no quadro resumo abaixo:

Classe segundo a Resolução 357/2005 do CONAMA	Limite
Classe Especial	menor que 0,020 mg de P por litro de amostra
Classe 1	menor que 0,020 mg de P por litro de amostra
Classe 2	menor que 0,030 mg de P por litro de amostra
Classe 3	menor que 0,050 mg de P por litro de amostra
Classe 4	Não possui limite estabelecido.

A tabela 12 abaixo mostra os valores obtidos nas análises de fósforo total para todas as coletas realizadas no período de agosto/2023 à junho/2025.



Tabela 12 – Valores obtidos para as análises de fósforo total.

Fósforo Total, mg. L ⁻¹	ago/23	nov/23	fev/24	mai/24	ago/24	nov/24	fev/25	jun/25
Ponto 1	0,010	0,121	0,015	0,020	0,026	0,176	0,028	0,019
Ponto 2	0,010	0,127	0,015	0,021	0,024	0,194	0,029	0,013
Ponto 3	0,010	0,025	0,010	0,036	0,023	0,046	0,029	0,018
Ponto 4	0,010	0,017	0,018	0,021	0,020	0,030	0,022	0,018
Ponto 5	0,022	0,012	0,010	0,023	0,020	0,033	0,030	0,018
Ponto 6	0,010	0,018	0,010	0,018	0,022	0,033	0,023	0,017
Ponto 7	0,010	0,012	0,010	0,020	0,017		0,018	0,016
Ponto 8	0,010	0,010	0,010	0,022	0,017		0,015	0,019
Ponto 9	0,010	0,012	0,010	0,021	0,018		0,016	0,021
Ponto 10	0,010	0,011	0,010	0,024	0,017		0,030	0,020
Ponto 11	0,010	0,015	0,012	0,022	0,015		0,030	0,033
Ponto 12	0,010	0,011	0,011	0,020	0,016		0,044	0,022
Ponto 13	0,011	0,012		0,046	0,016		0,038	0,017
Ponto 14	0,012	0,012	0,010	0,022	0,016		0,031	0,019
Ponto 15	0,011		0,010	0,035	0,015		0,026	0,020

Para uma melhor visualização da variação deste parâmetro tem-se abaixo os valores obtidos na forma de gráfico na figura 7.

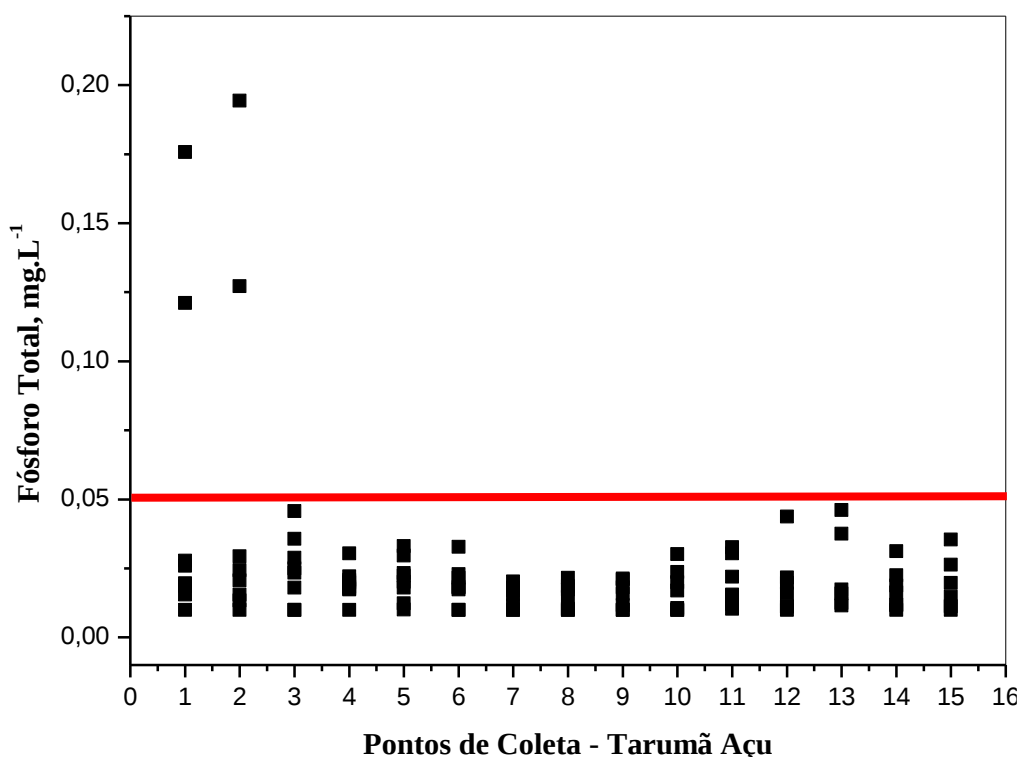


Figura 7 – Gráfico de variação do parâmetro Fósforo Total nos pontos analisados, entre os anos de 2023 e 2025. A linha vermelha indica o limite do parâmetro segundo CONAMA 357/2005 (classe 2).

Na tabela 13 são apresentados uma avaliação estatística básica deste parâmetro monitorado.

Tabela 13 – Análise estatística básica do parâmetro Fósforo Total.

Fósforo Total, mg.L⁻¹

	ago/23	nov/23	fev/24	mai/24	ago/24	nov/24	fev/25	jun/25
Média	0,011	0,030	0,012	0,025	0,019	0,085	0,027	0,019
Mínimo	0,010	0,010	0,010	0,018	0,015	0,030	0,015	0,013
Máximo	0,022	0,127	0,018	0,046	0,026	0,194	0,044	0,033
DesvioP	0,003	0,040	0,003	0,008	0,004	0,078	0,008	0,004
Mediana	0,010	0,012	0,010	0,022	0,017	0,039	0,029	0,019



5.6. Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica (CE) é um parâmetro físico-químico que expressa a capacidade de uma solução aquosa conduzir corrente elétrica, propriedade diretamente relacionada à presença e mobilidade de íons dissolvidos, como cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), sódio (Na^+), potássio (K^+), cloreto (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}), nitrato (NO_3^-) e bicarbonato (HCO_3^-). Quanto maior a concentração desses íons na água, maior será a condutividade elétrica. A unidade de medida mais utilizada é o microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$), sendo os valores normalmente corrigidos para 25 °C, já que a CE aumenta cerca de 2% a cada 1 °C de elevação da temperatura.

A CE é influenciada por diversos fatores naturais e antrópicos, como a geologia e o tipo de solo da bacia hidrográfica, o tempo de contato da água com minerais, a contribuição de águas subterrâneas, a mistura entre diferentes origens de água (chuva, rios, aquíferos) e a entrada de efluentes domésticos, industriais ou agrícolas. Águas com pouco contato com rochas e solos mineralizados, como as de cabeceiras ou de rios amazônicos de águas pretas, apresentam condutividade naturalmente baixa, enquanto águas subterrâneas ou corpos d'água com forte influência antrópica tendem a registrar valores mais elevados.

No monitoramento da qualidade de águas brutas, a condutividade elétrica é um indicador indireto da concentração de sólidos dissolvidos totais (SDT) e do grau de mineralização. Por ser um parâmetro de medição rápida e de baixo custo, é amplamente utilizado como ferramenta de triagem para detectar alterações no corpo hídrico. Aumentos súbitos de CE podem indicar lançamento de efluentes ricos em sais, intrusão salina, lixiviação de fertilizantes ou poluição difusa. Já quedas abruptas podem estar associadas



a eventos de diluição, como chuvas intensas ou aporte de águas de baixa salinidade.

Em rios amazônicos de águas pretas, como o rio Tarumã-Açu, a condutividade elétrica típica é muito baixa (frequentemente inferior a 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$), devido à pobreza natural de sais minerais e à predominância de ácidos húmicos e fúlvicos provenientes da decomposição de matéria orgânica vegetal. Nesses ecossistemas, variações significativas na CE podem ser um forte indício de interferência humana, como esgoto doméstico, resíduos de marinas, ocupações irregulares e efluentes industriais.

Assim, a condutividade elétrica, especialmente quando monitorada de forma contínua e associada a outros parâmetros, como pH, oxigênio dissolvido, nutrientes e coliformes, constitui uma ferramenta fundamental para avaliar a integridade ambiental, diagnosticar impactos e apoiar a gestão de recursos hídricos. Este é um parâmetro que não é especificado pelo CONAMA 357/2005, entretanto, valores acima de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ devem ser avaliados.

A tabela 14 abaixo mostra os valores obtidos nas análises de condutividade elétrica para todas as coletas realizadas no período de agosto/2023 a junho/2025.



Tabela 14 – Valores obtidos para as análises de condutividade elétrica.

Condutividade Elétrica, $\mu\text{S.cm}^{-1}$	ago/23	nov/23	fev/24	mai/24	ago/24	nov/24	fev/25	jun/25
Ponto 1	10	6	11	14	12	57	12	10
Ponto 2	8	4	22	14	12	62	12	11
Ponto 3	8	6	20	14	12	39	11	10
Ponto 4	9	4	18	13	12	7	10	10
Ponto 5	9	5	13	13	12	7	10	12
Ponto 6	9	6	8	14	12	6	11	12
Ponto 7	9	6	7	12	11		9	11
Ponto 8	9	5	7	11	11		10	12
Ponto 9	9	3	8	11	10		10	12
Ponto 10	9	5	8	10	9		13	12
Ponto 11	9	5	8	10	9		14	12
Ponto 12	9	5	8	10	9		14	12
Ponto 13	9	5		10	9		13	12
Ponto 14	9	6	8	10	9		13	12
Ponto 15	9		8	10	9		13	13

Para uma melhor visualização da variação deste parâmetro tem-se abaixo os valores obtidos na forma de gráfico na figura 8.

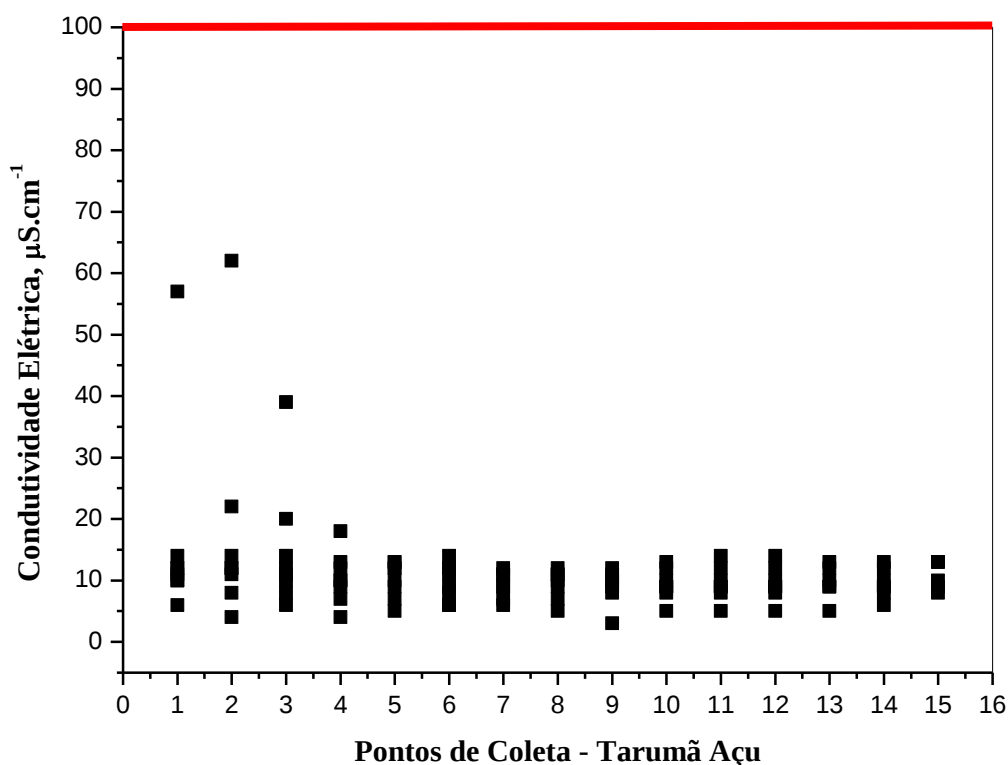


Figura 8 – Gráfico de variação do parâmetro condutividade elétrica nos pontos analisados, entre os anos de 2023 e 2025.

Na tabela 15 são apresentados uma avaliação estatística básica deste parâmetro monitorado.

Tabela 15 – Análise estatística básica do parâmetro condutividade elétrica.

Condutividade Elétrica, mS.cm⁻¹

	ago/23	nov/23	fev/24	mai/24	ago/24	nov/24	fev/25	jun/25
Média	9	5	11	12	11	30	12	12
Mínimo	8	3	7	10	9	6	9	10
Máximo	10	6	22	14	12	62	14	13
DesvioP	0	1	5	2	1	26	2	1
Mediana	9	5	8	11	11	23	12	12



5.7. Turbidez

A presença de sólidos em suspensão como areia, argila, silte, algas e microrganismos em geral, tende a enfraquecer a intensidade de um feixe luminoso, quando este atravessa a água e a medida desta atenuação é chamada de turbidez. Vários fatores podem intensificar este fenômeno de atenuação da luminosidade, entre eles a erosão das margens dos igarapés por uso indevido do solo, com a exclusão de mata ciliar, esgotos domésticos e vários tipos de despejos industriais, além das atividades de mineração, que causam grandes alterações neste parâmetro físico.

O efeito biológico do aumento da turbidez está ligado à redução da fotossíntese em plantas com raízes submersas e, principalmente, de algas que são a base da cadeia alimentar aquática. Além disto, afeta de maneira adversa, com relação ao aspecto da água, seu uso recreacional, doméstico e industrial.

Segundo a Resolução n. 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, para as águas doces das classes Especial, Classe 1, Classe 2, Classe 3 e Classe 4, as quantidades máximas de turbidez estão reunidas no quadro resumo abaixo:

Classe segundo a Resolução 357/2005 do CONAMA	Limite
Classe Especial	Até 40 unidades nefelométricas de turbidez
Classe 1	Até 40 unidades nefelométricas de turbidez
Classe 2	Até 100 unidades nefelométricas de turbidez
Classe 3	Até 100 unidades nefelométricas de turbidez
Classe 4	Não possui limite estabelecido



A tabela 16 abaixo mostra os valores obtidos nas análises de turbidez para todas as coletas realizadas no período de agosto/2023 à junho/2025.

Tabela 16 – Valores obtidos para as análises de turbidez.

Turbidez, UNT	ago/23	nov/23	fev/24	mai/24	ago/24	nov/24	fev/25	jun/25
Ponto 1	0,47	46,30	4,32	3,00	1,87	20,50	9,95	1,96
Ponto 2	0,42	42,20	5,71	2,47	0,68	24,50	7,35	1,53
Ponto 3	0,49	62,70	7,42	3,02	0,00	17,67	6,44	1,61
Ponto 4	0,76	43,20	6,16	2,87	0,42	25,00	5,45	1,72
Ponto 5	0,57	29,40	6,66	2,67	0,05	26,70	5,19	1,82
Ponto 6	1,06	28,70	10,10	3,26	0,20	28,70	3,74	2,50
Ponto 7	2,94	21,20	12,40	5,21	0,50		3,33	2,84
Ponto 8	3,47	17,00	6,29	5,11	2,25		4,47	3,55
Ponto 9	3,38	15,00	4,57	2,56	2,40		4,36	3,92
Ponto 10	3,32	13,20	5,29	2,34	3,85		3,56	3,24
Ponto 11	3,62	13,90	5,57	2,18	1,25		3,25	3,68
Ponto 12	3,70	13,30	5,51	2,29	2,86		3,85	3,84
Ponto 13	3,96	13,10		2,83	3,11		4,11	3,60
Ponto 14	4,16	11,70	4,48	3,24	3,91		4,46	3,68
Ponto 15	3,83		10,40	5,23	4,42		3,97	4,22

Para uma melhor visualização da variação deste parâmetro tem-se abaixo os valores obtidos na forma de gráfico na figura 9.

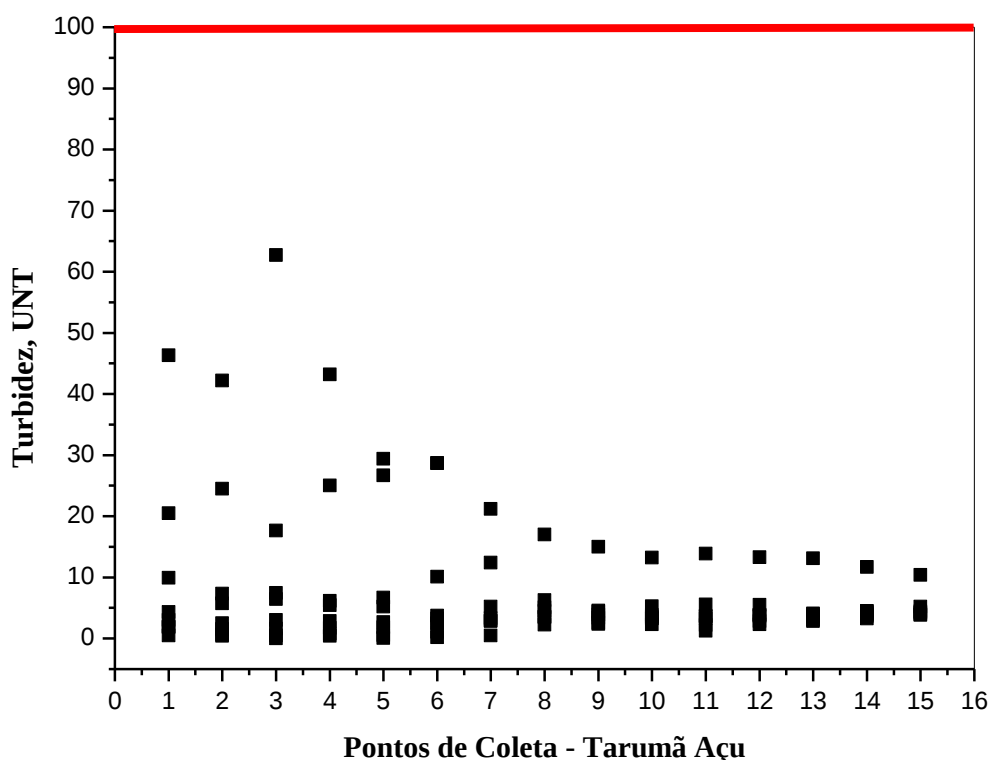


Figura 9 – Gráfico de variação do parâmetro Turbidez nos pontos analisados, entre os anos de 2023 e 2025. A linha preta indica o limite do parâmetro segundo CONAMA 357/2005 (classe 2).

Na tabela 17 são apresentados uma avaliação estatística básica deste parâmetro monitorado.

Tabela 17 – Análise estatística básica do parâmetro turbidez.

Turbidez, UNT

	ago/23	nov/23	fev/24	mai/24	ago/24	nov/24	fev/25	jun/25
Média	2,41	26,49	6,78	3,22	1,85	23,85	4,90	2,91
Mínimo	0,42	11,70	4,32	2,18	0,00	17,67	3,25	1,53
Máximo	4,16	62,70	12,40	5,23	4,42	28,70	9,95	4,22
DesvioP	1,54	16,17	2,47	1,07	1,53	4,07	1,81	0,97
Mediana	3,32	19,10	5,94	2,87	1,87	24,75	4,36	3,24



5.8. Sólidos Dissolvidos

Os sólidos dissolvidos totais (SDT), também conhecidos pela sigla TDS (Total Dissolved Solids), representam a soma de todas as substâncias inorgânicas e, em menor proporção, orgânicas presentes na água em forma dissolvida e capazes de atravessar filtros de porosidade muito fina, geralmente de 0,45 μm . Esses sólidos incluem principalmente sais minerais, como cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), sódio (Na^{+}), potássio (K^{+}), cloreto (Cl^{-}), sulfato (SO_4^{2-}), bicarbonato (HCO_3^{-}) e nitrato (NO_3^{-}), além de pequenas quantidades de compostos orgânicos solúveis.

A concentração de SDT pode ter origem natural, resultante da dissolução de minerais durante o contato da água com o solo e rochas, ou origem antrópica, associada ao lançamento de efluentes domésticos e industriais, uso de fertilizantes, escoamento superficial urbano e lixiviação de resíduos. Em rios amazônicos de águas pretas, como o Rio Negro e o Tarumã-Açu, os valores naturais de SDT são muito baixos — frequentemente inferiores a 30 mg/L — devido à baixa mineralização dos solos arenosos, à ausência de rochas ricas em sais solúveis e à elevada lixiviação provocada pela alta pluviosidade.

No monitoramento da qualidade de águas brutas, a medição dos sólidos dissolvidos é importante por estar diretamente relacionada ao grau de mineralização e à condutividade elétrica do corpo hídrico. Alterações significativas nos SDT podem indicar mudanças na composição química da água: aumentos podem estar associados ao aporte de poluentes solúveis, intrusão salina ou mistura com águas mais mineralizadas; reduções abruptas podem ocorrer por diluição durante períodos de chuva intensa.



Do ponto de vista ambiental, concentrações excessivas de SDT podem afetar organismos aquáticos sensíveis a variações de salinidade, modificar a composição das comunidades biológicas e alterar processos ecológicos, como a fotossíntese, devido à mudança na transparência da água. Em sistemas de abastecimento público, valores elevados comprometem a potabilidade, alterando sabor, odor e aceitação pelo consumidor, além de favorecer incrustações em tubulações e equipamentos.

Em ambientes como o Tarumã-Açu, onde os valores de SDT são naturalmente baixos, elevações persistentes acima da faixa de referência indicam pressão antrópica e possível degradação da qualidade da água. Por isso, o parâmetro é considerado essencial em programas de monitoramento, especialmente quando interpretado em conjunto com outros indicadores, como pH, oxigênio dissolvido, nutrientes e coliformes termotolerantes, permitindo diagnósticos mais precisos sobre a integridade do ecossistema aquático.

Segundo a Resolução n. 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, para as águas doces das classes Especial, Classe 1, Classe 2, Classe 3 e Classe 4, as quantidades máximas de sólidos totais estão reunidas no quadro resumo abaixo:

Classe segundo a Resolução 357/2005 do CONAMA	Limite
Classe Especial	Até 500 mg por litro de amostra
Classe 1	Até 500 mg por litro de amostra
Classe 2	Até 500 mg por litro de amostra
Classe 3	Até 500 mg por litro de amostra
Classe 4	Não possui limite estabelecido



A tabela 18 abaixo mostra os valores obtidos nas análises de sólidos totais para todas as coletas realizadas no período de agosto/2023 à junho/2025.

Tabela 18 – Valores obtidos para as análises de sólidos dissolvidos.

Sólidos Dissolvidos, mg.L ⁻¹	ago/23	nov/23	fev/24	mai/24	ago/24	nov/24	fev/25	jun/25
Ponto 1	6	16	79	46	39	39	20	15
Ponto 2	5	18	61	28	25	47	20	18
Ponto 3	9	21	36	38	18	6	13	14
Ponto 4	11	21	45	12	32	30	7	25
Ponto 5	12	23	62	35	32	27	25	17
Ponto 6	12	22	40	31	28	15	12	21
Ponto 7	16	14	53	20	37		17	15
Ponto 8	21	19	26	20	29		11	34
Ponto 9	19	20	33	44	29		13	10
Ponto 10	18	21	27	40	21		16	23
Ponto 11	17	21	37	60	12		19	13
Ponto 12	13	16	51	26	15		16	2
Ponto 13	12	19		21	11		14	3
Ponto 14	17	16	42	33	21		20	4
Ponto 15	14		27	29	11		20	6

Para uma melhor visualização da variação deste parâmetro tem-se abaixo os valores obtidos na forma de gráfico na figura 10.

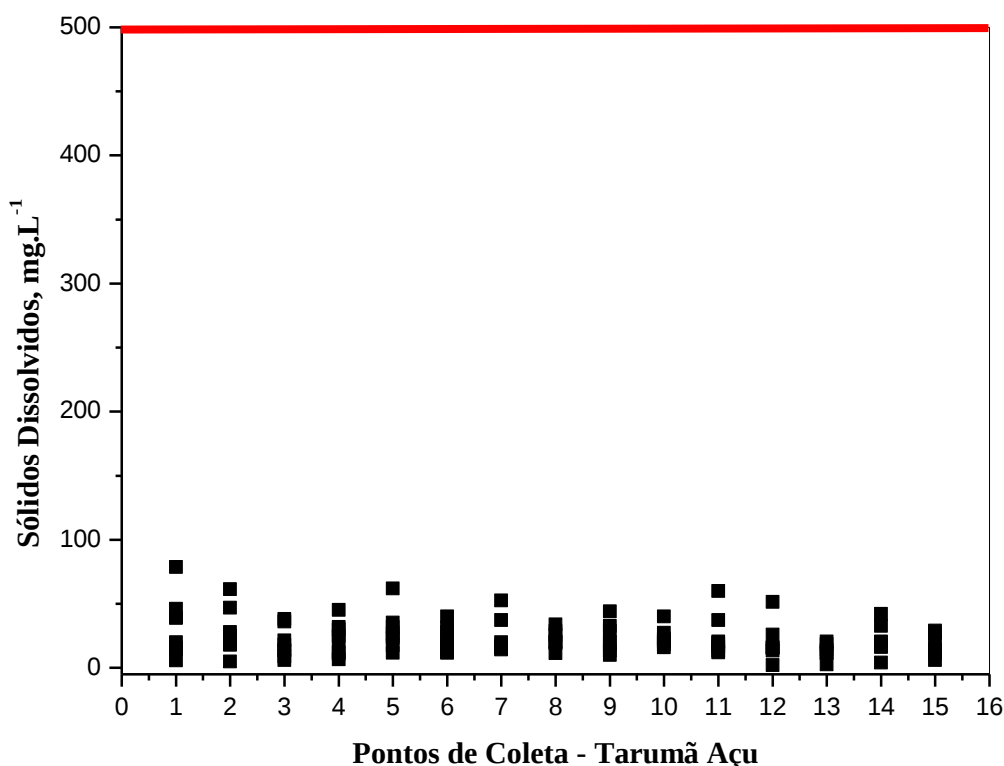


Figura 10 – Gráfico de variação do parâmetro Sólidos Totais nos pontos analisados, entre os anos de 2023 e 2025. A linha preta indica o limite do parâmetro segundo CONAMA 357/2005 (classe 2).

Na tabela 19 são apresentados uma avaliação estatística básica deste parâmetro monitorado.

Tabela 19 – Análise estatística básica do parâmetro sólidos dissolvidos.

Sólidos Totais Dissolvidos, mg.L⁻¹

	ago/23	nov/23	fev/24	mai/24	ago/24	nov/24	fev/25	jun/25
Média	13	19	44	32	24	27	16	15
Mínimo	5	14	26	12	11	6	7	2
Máximo	21	23	79	60	39	47	25	34
DesvioP	5	3	15	12	9	15	5	9
Mediana	13	20	41	31	25	29	16	15



5.9. Oxigênio Dissolvido

A concentração de gás oxigênio contido na água é chamada de oxigênio dissolvido (OD). Normalmente, as concentrações de OD são expressas em miligramas por litro de amostra, entretanto podem ser fornecidas em porcentagem de saturação, que é a quantidade de oxigênio contido em um litro de água relativo ao nível total de oxigênio que a água pode reter numa determinada temperatura. O oxigênio contido na água é retirado da atmosfera, mas também é produzido por algas e plantas aquáticas (fotossíntese).

Existem variações nas quantidades de oxigênio dissolvido com relação às estações do ano, e também nos períodos do dia, contudo, para se ter uma referência observa-se que em águas naturais, ao nível do mar e a uma temperatura de 25°C, a concentração de oxigênio dissolvido é de 8 miligramas por litro. A variação na concentração de OD também pode variar de acordo com a profundidade do corpo hídrico.

O OD é um parâmetro fundamental para a avaliação da qualidade das águas de um determinado corpo hídrico, uma vez que o oxigênio faz parte de praticamente todos os processos químicos e bioquímicos nos ecossistemas aquáticos, sendo que todos os organismos heterotróficos dependem de alguma maneira do oxigênio para manter seus processos metabólicos de produção de energia e reprodução. Observa-se que exposições por períodos muito longos a concentrações abaixo de 5 miligramas por litro causam estresse a várias populações aquáticas, sendo que exposições abaixo de 2 miligramas por litro podem causar a morte da maioria desses organismos.

Contudo, deve-se atentar para o fato de que em zonas onde o corpo d'água encontra-se eutrofizado, devido ao crescimento excessivo de algas, a



quantidade de oxigênio dissolvido pode mascarar a verdadeira qualidade existente, pois uma população grande de algas pode produzir uma quantidade alta de oxigênio dissolvido.

Segundo a Resolução n. 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, para as águas doces das classes: Especial, Classe 1, Classe 2, Classe 3 e Classe 4, as quantidades mínimas de oxigênio dissolvido estão reunidas no quadro resumo a seguir:

Classe segundo a Resolução 357/2005 do CONAMA	Limite
Classe Especial	Não inferior a 6 mg por litro de amostra (~78% OD)
Classe 1	Não inferior a 6 mg por litro de amostra (~78% OD)
Classe 2	Não inferior a 5 mg por litro de amostra (~63% OD)
Classe 3	Não inferior a 4 mg por litro de amostra (~49% OD)
Classe 4	Superior a 2 mg por litro de amostra (~20% OD)

A tabela 20 abaixo mostra os valores obtidos nas análises de oxigênio dissolvido para todas as coletas realizadas no período de agosto/2023 à junho/2025.



Tabela 20 – Valores obtidos para as análises de oxigênio dissolvido.

Oxigênio Dissolvido, mg.L ⁻¹	ago/23	nov/23	fev/24	mai/24	ago/24	nov/24	fev/25	jun/25
Ponto 1	17,4	57,9	91,1	67,1	56,3	73,7	15,0	40,5
Ponto 2	57,8	58,6	103,2	64,3	52,9	70,0	54,0	52,0
Ponto 3	60,2	70,0	109,5	57,3	62,2	99,5	55,9	53,2
Ponto 4	61,8	73,3	116,3	64,8	60,4	125,0	55,9	53,2
Ponto 5	62,2	80,0	84,1	54,1	63,0	133,6	56,3	36,9
Ponto 6	57,2	152,4	62,7	40,6	56,4	127,8	56,1	41,9
Ponto 7	50,1	209,8	62,0	54,0	66,6		63,9	44,9
Ponto 8	54,0	164,0	74,5	59,8	61,6		56,9	39,2
Ponto 9	51,9	158,6	66,3	60,0	77,6		53,3	36,0
Ponto 10	52,8	161,0	59,0	66,3	74,1		71,9	24,5
Ponto 11	56,5	172,2	69,5	71,6	71,6		76,2	40,6
Ponto 12	57,3	192,7	69,9	64,6	72,3		60,0	39,6
Ponto 13	65,4	158,3		66,0	65,7		53,4	32,9
Ponto 14	62,1	23,0	61,7	67,7	68,6		54,4	37,6
Ponto 15	53,2		59,2	50,9	58,0		51,1	43,2

Para uma melhor visualização da variação deste parâmetro tem-se abaixo os valores obtidos na forma de gráfico na figura 11.

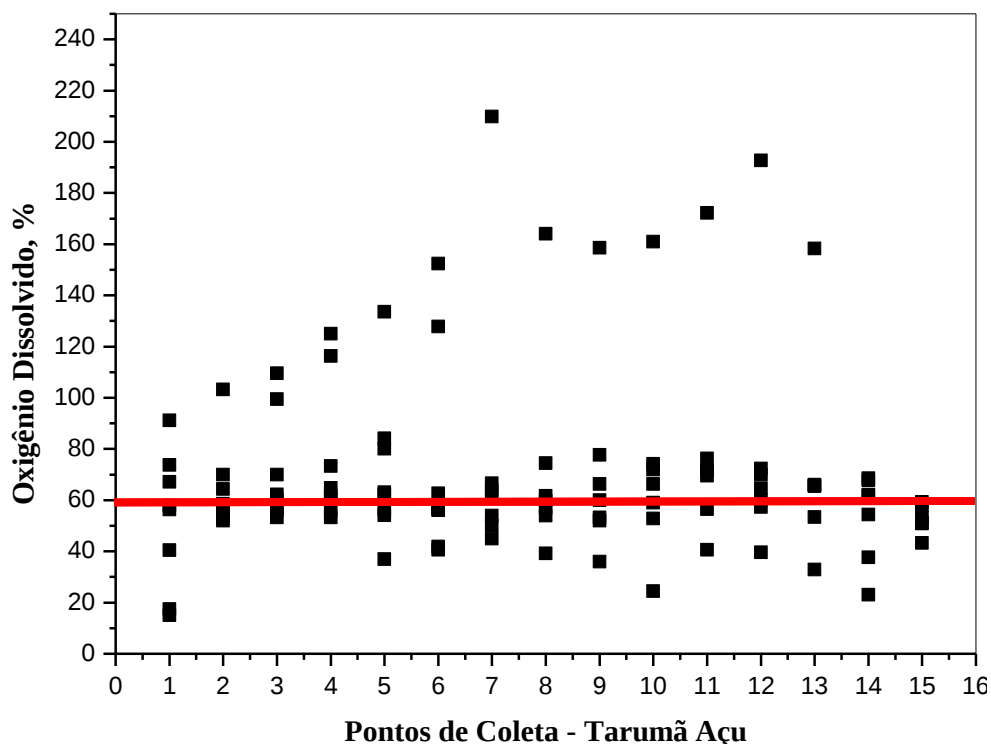




Figura 11 – Gráfico de variação do parâmetro Oxigênio Dissolvido nos pontos analisados, entre os anos de 2023 e 2025. A linha vermelha indica o limite do parâmetro segundo CONAMA 357/2005 (classe 2).

Na tabela 21 são apresentados uma avaliação estatística básica deste parâmetro monitorado.

Tabela 21 – Análise estatística básica do parâmetro oxigênio dissolvido.

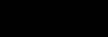
Oxigênio Dissolvido, (%)

	ago/23	nov/23	fev/24	mai/24	ago/24	nov/24	fev/25	jun/25
Média	54,7	123,7	77,8	60,6	64,5	104,9	55,6	41,1
Mínimo	17,4	23,0	59,0	40,6	52,9	70,0	15,0	24,5
Máximo	65,4	209,8	116,3	71,6	77,6	133,6	76,2	53,2
DesvioP	11,2	60,0	19,7	8,1	7,3	28,2	13,3	7,7
Mediana	57,2	155,4	69,7	64,3	63,0	112,3	55,9	40,5



5.10. Índice de Qualidade de Águas - IQA

Este relatório técnico baseou-se no índice de qualidade de águas pretas – IQA_{águas pretas}, proposto pelo GP-QAT da UEA, sendo que as faixas determinadas para a qualidade de águas brutas são apresentadas abaixo:

COR	Qualidade das Águas	Faixa de IQA Águas Negras
	Ótimo	$84 < IQA \leq 100$
	Bom	$74 < IQA \leq 84$
	Aceitável	$59 < IQA \leq 74$
	Ruim	$30 < IQA \leq 59$
	Péssimo	$0 < IQA \leq 30$

Com relação à bacia do Tarumã Açu, os valores de IQA para os 15 (quinze) pontos analisados, em todas as expedições, podem ser observados na figura 12. Este valor enquadra-se dentro de uma qualidade de águas avaliada, na média, como **ACEITÁVEL**.

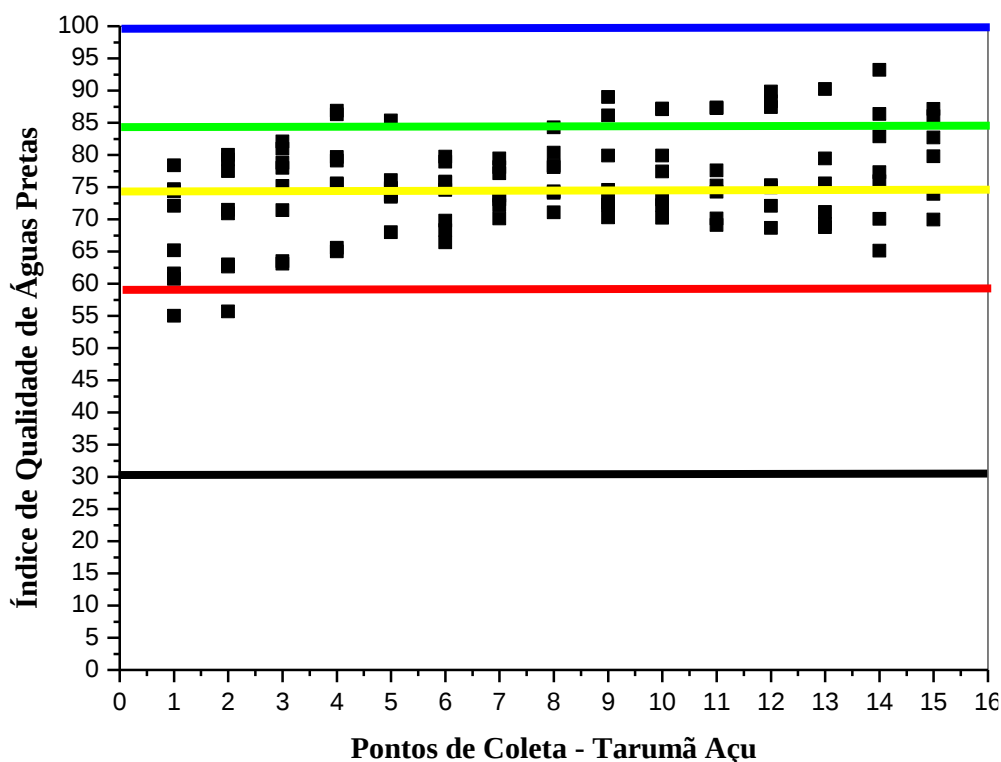




Figura 12 – Gráfico de variação dos valores do Índice De Qualidade de Águas - IQA nos pontos analisados, entre os anos de 2023 e 2025.

Independente da tabela utilizada nota-se que a qualidade das águas da bacia do Tarumã Açu necessita de atenção, suas condições sanitárias em alguns pontos são muito preocupantes, merecendo atenção por parte dos gestores públicos.



6. Conclusão

A partir dos dados gerados, nestes três anos de monitoramento da bacia do Tarumã Açu, nota-se que este corpo hídrico tem absorvido o impacto de ações humanas de maneira ainda aceitável, entretanto existem muitos pontos monitorados que necessitam de ações imediatas para o controle da qualidade de águas nesta bacia.

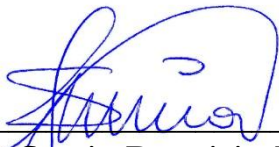
Mesmo que o volume de água desta bacia seja grande, e ainda possuir o Rio Negro com meio de diluição dos poluentes originários de ações antropogênicas, medidas de proteção deste corpo hídrico devem ser tomadas imediatamente, sob pena das gerações futuras não terem mais este manancial em condições adequadas de uso.

A maior contribuição deste relatório técnico para a gestão de recursos hídricos é mostrar que embora a bacia do Tarumã Açu esteja absorvendo e depurando a maior parte dos poluentes despejados em suas águas, quando analisamos estes últimos três anos nota-se claramente que a qualidade de águas está piorando, como se a bacia estivesse nos enviando uma mensagem, que esta é a hora de começar tomar ações de preservação deste corpo hídrico.



Obs.: Este relatório técnico completa o já apresentado Relatório Técnico n. 003/2023 - ANÁLISE DA QUALIDADE DE ÁGUA BRUTA NA BACIA DO TARUMÃ AÇU A PARTIR DO ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUAS – IQA, solicitado pelo Diretor Presidente do Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas – IPAAM, Sr. Juliano Valente, entregue dia 15 de julho de 2023.

Manaus, 12 de agosto de 2025.



Prof. Dr. Sergio Duvoisin Junior
Líder do GP-QAT
CRQ – 14101990



ANEXO 1

Artigo - A Water Quality Index for the Black Water Rivers of the Amazon Region - Sergio Duvoisin, Jr., Patrícia M. Albuquerque, Rafael L. e Oliveira, Sara K. S. de Loiola, Aleyde S. C. Neta, Carla Estefani Batista, Adriano Nobre Arcos and Elissandro F. dos Banhos - **Water** - 2025, 17, 833.

Article

A Water Quality Index for the Black Water Rivers of the Amazon Region

Sergio Duvoisin, Jr. ¹, Patrícia M. Albuquerque ¹, Rafael L. e Oliveira ¹, Sara K. S. de Loiola ¹, Aleyde S. C. Neta ¹, Carla Estefani Batista ², Adriano Nobre Arcos ¹ and Elissandro F. dos Banhos ^{3,*}

¹ Laboratory of Chemistry Applied and Technology, School of Technology, University of Amazonas State, Darcy Vargas Avenue, 1200, Parque Dez de Novembro, Manaus 69050-020, Amazonas, Brazil; duvoisin66@hotmail.com (S.D.J.); patialbuq@hotmail.com (P.M.A.); loprafa@gmail.com (R.L.e.O.); sara.k.loiola@gmail.com (S.K.S.d.L.); aleydesalesneta@gmail.com (A.S.C.N.); adriano.bionorte@gmail.com (A.N.A.)

² National Institute, Amazonian Research Amazonas State University, Manaus 69057-260, Amazonas, Brazil; cestefanibatista@gmail.com

³ Education Sciences Institute, Pará West Federal University, Marechal Rondon Avenue, s/n, Aparecida, Santarém 68040-255, Pará, Brazil

* Correspondence: sandrobanhos@yahoo.com.br; Tel.: +55-93-991606400

Abstract: A water quality index has not been developed for Amazonian blackwater rivers. In this paper, we used data collected in recent years to address this gap. An index was constructed using, in total, 342,930 analyses involving 161 water quality parameters. All analyses were part of ten large-scale campaigns, which took place between 2021 and 2023. The modifications proposed by the adoption of the new WQI enabled changes in the water quality results of the Amazon region, in comparison with an index used in other parts of Brazil. The proposal is a long-awaited tool that can significantly assist in the next stage in the preservation of this vast national wealth, which is the Amazon basin.

Keywords: black water; Amazon region; black river; new WQI



Academic Editor: Bahram Gharabaghi

Received: 1 September 2024

Revised: 1 November 2024

Accepted: 12 November 2024

Published: 13 March 2025

Citation: Duvoisin, S., Jr.; Albuquerque, P.M.; Oliveira, R.L.e.; de Loiola, S.K.S.; Neta, A.S.C.; Estefani Batista, C.; Nobre Arcos, A.; dos Banhos, E.F. A Water Quality Index for the Black Water Rivers of the Amazon Region. *Water* **2025**, *17*, 833. <https://doi.org/10.3390/w17060833>

Copyright: © 2025 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Water quality is closely linked to various factors for our existence, such as human health, food production, economic development and the reduction of poverty, among others. Thus, the environmental monitoring of water resources is one of the main factors for the adequate management and planning of their use in a conscious way, since a number of human activities, such as agriculture, industry, urbanization and construction in general, have a direct impact on water quality [1–4].

One of the tools that can help managers and researchers in this area of knowledge is the water quality index (WQI). This index is a primary measure that evaluates the quality of water in water bodies such as rivers, lakes and streams and is used to provide a general assessment of the water condition based on various physical, chemical and biological parameters [5]. The WQI is important for monitoring the health of aquatic ecosystems and determining the suitability of water for diverse uses such as public supply, recreation and the preservation of aquatic life [6,7]. As such, the application of the WQI is fundamental for environmental monitoring, water resources management and the formulation of environmental protection policies. It helps identify areas that may need conservation and control pollution and/or environmental remediation measures [8,9].

Many WQIs have been developed in different countries and regions, and there are various formulas and methods for calculating the index, depending on local characteristics

and monitoring goals. Different countries may have their own water quality assessment systems, and these systems can be adapted to the specific conditions of each region [10–12].

The WQI was developed with the aim of simplifying the interpretation of multiple water quality data into a single composite indicator. It varies on a numerical scale, whereby higher values indicate better water quality, while lower values may indicate environmental problems. A WQI can include a variety of parameters, such as 1. physical parameters, including water temperature, turbidity and electrical conductivity; 2. chemical parameters, including dissolved oxygen concentration, pH, nutrient levels (nitrogen and phosphorus), heavy metals and pesticides, among others; and 3. biological parameters, including the presence of organisms that indicate water quality [13–15].

The blackwater rivers in the Amazon basin are characterized by the dark color of their waters, which is attributed to the presence of decaying organic matter, especially humic and fulvic acids. This organic matter is released by the decomposition of plants and surrounding vegetation in tropical forests and dramatically modifies characteristics such as pH and dissolved oxygen, among others [16]. This dark water contrasts with clear- or whitewater rivers, which carry suspended mineral sediments.

The main blackwater river in the Amazon basin is the Negro River. It is one of the largest tributaries of the Amazon River and is known for its dark water that is rich in organic acids. The Negro River originates in Colombia, but the greater part of it is in Brazil, in the northwestern region of the state of Amazonas, and it runs through an extensive area before meeting the Solimões River to form the Amazon River [17].

The importance of the Negro River and other blackwater rivers in the Amazon basin lies in their contribution to the biological diversity of the region, as well as in the fundamental role they play in the hydrological cycle and the balance of Amazonian ecosystems [18]. In addition, the study of these environments helps to better understand the ecological processes associated with blackwater and its interaction with Amazonian biodiversity.

WQIs are based on a combination of physical, chemical and biological parameters, which are measured and analyzed to obtain a representative score of water quality in a given location [19]. WQIs are used in Brazil by federal environmental agencies such as the Brazilian Institute of the Environment and Renewable Natural Resources (IBAMA) and state environmental agencies such as the Environmental Company of the State of São Paulo (CETESB) [20]. The tool is used to compare the quality of water in different regions of Brazil and to identify the need for cleaning water in certain rivers or national basins.

With regard to the Amazon basin, considering the size and complexity of the region, there are specific initiatives and studies that seek to assess the quality of water in the Amazon [10–12]. However, as of January 2022, for the state of Amazonas, there is no single index of water quality that is standardized and referenced by the environmental control bodies of the state of Amazonas (the State Secretariat of the Environment, SEMA, and the Amazonas Environmental Protection Institute, IPAAM) that reflects the different types of waters found in the Amazon basin.

The complexity of the Amazon region, with its diversity of ecosystems and specific characteristics, requires approaches that are adapted to the different sub-basins and ecosystems present. Each state or region in the Amazon must adopt specific methods and indices that are aligned with local characteristics and monitoring objectives. Research and environmental monitoring in the Amazon are essential in order to understand the environmental dynamics of the region and support the conservation and sustainable management of natural resources. The proposal of this article is the presentation of a water quality index (WQI) that reflects the real characteristics of rivers with black waters, based on the regular monitoring of the Negro River basin.

2. Materials and Methods

Many water quality indices (WQIs) were created after Horton's proposal [21]; however, as expected, no WQI has been adopted globally, since it depends greatly on the type of water one is monitoring. Nonetheless, there are four steps that are commonly used to create a water quality index. These are:

1. The selection of parameters:

The water quality index of a body of water must reflect the original characteristics of the chosen parameters, that is, the evaluations of the parameters must be carried out in a location in the basin where there is no evident human action. With this, the values of the parameters that will be chosen will serve as a reference for the construction of the WQI. This is often not possible; however, the focus of this work is the blackwater rivers of the Amazon region, with the Rio Negro basin being the largest example of this type of basin and one that has anthropogenically preserved regions.

In addition, the chosen parameters must be specific to the water body studied. For example, 7 is usually the ideal value for the hydrogen potential (pH) of water; however, rivers with black water have a naturally acidic pH, with an average pH of 5.4. With this, pH becomes an eligible parameter for the formation of the water quality index for black water rivers.

Regarding the choice of parameters that will make up the water quality index for black water rivers proposed in this work, data generated in 10 large campaigns, between 2021 and 2023, were used, through which 161 physical, chemical and microbiological parameters of water quality were evaluated, including the analysis of 70 metals in solution and suspension at 71 georeferenced sample collection points in the Rio Negro basin.

2. Obtaining quality values for the chosen parameters:

To obtain the quality values for the selected parameters, a total of 342,930 analyses related to parameters describing the quality of raw water in the Rio Negro basin were carried out. The construction of graphs that relate the values found in the analyses of each chosen parameter with a standardized quality scale (zero to one hundred), and which are part of the IQA for blackwater rivers, was carried out through the statistical evaluation of the data obtained for each parameter, with the average value, as well as its limits, that is, the lowest and highest values found, being the basis for the construction of these graphs.

3. Determining the weights of each parameter:

Determining the weights of each parameter in the construction of a water quality index is a critical step, as these weights reflect the relative importance of each parameter in the evaluation of water quality. Here are some common approaches used to determine these weights:

Expert-based: This method involves consulting experts in the field of water quality, such as environmental scientists, hydrological engineers and aquatic biologists, among others [22–24]. The experts assign weights to the parameters based on their experience and knowledge of the importance of each one in water quality. This approach is subjective, but can be valuable due to the experience of the experts.

Statistical methods: Some statistical methods, such as principal component analysis or regression analysis, can be used to determine parameter weights. These methods seek to identify patterns in water quality data and determine which parameters have the greatest influence on the observed variation [25]. Weights are then assigned based on the coefficients obtained from the statistical analysis.

Importance ranking methods: There are specific techniques, such as hierarchical process analysis (HPA) or relative value analysis (RVA), that can be applied to determine param-

eter weights [26]. These methods involve direct comparison between parameters against predefined importance criteria, thus allowing for a more systematic weight assignment.

Review of scientific literature: A review of scientific literature related to water quality can provide insights into the relative importance of different parameters. Previous studies can indicate which parameters have the greatest impact on human health, aquatic ecosystems and other relevant aspects [27].

Combination of approaches: In many cases, a combination of several approaches can be most effective in determining parameter weights. For example, weights can be initially determined by experts and then refined based on statistical analysis [28].

The methodology used in this study was a hybrid approach taking into account peer opinion regarding the importance of the nine chosen parameters, as well as information contained in several references related to specific studies of various water quality parameters existing for blackwater rivers, in addition, of course, to the vast amount of information generated by the environmental monitoring projects of the Chemistry Applied to Technology research group.

4. Determining how to aggregate the parameters to obtain the final IQA value:

The method of aggregating the chosen parameters with their respective weights concludes the work by obtaining a single value that should reflect the quality of the water at that specific moment in which the samples were collected for analysis. In this sense, the option used to gather all the quality values obtained was a weighted average of the values, since with this option we can have values equal to zero at the limits of each parameter. This indicates that the quality of the water for that particular parameter is very poor; on the other hand, for example, choosing a product to aggregate the parameters would require low values, but not zero, to obtain the IQA value.

3. Results and Discussion

The parameters were selected by taking into account their scientific relevance, as observed in other studies related to the development of the index in other regions of the world [22–28]. The indications made by researchers who indicated a sequence in order of relevance for each of the parameters evaluated were also considered. Finally, the choice of parameters sought to address the most striking characteristics of the Rio Negro, that is, parameters that are statistically significant in the monitoring analyses carried out in the region. In addition, they are parameters that unequivocally identify human actions when they occur. Thus, the parameters chosen to compose the IQA of blackwater rivers were the following:

pH: This is an extremely characteristic parameter in blackwater rivers because, in this type of river, the pH in regions without human action always presents values below what is expected, i.e., it has acidic characteristics due to organic acids (humic and fulvic) generated by the decomposition of vegetation.

Electrical conductivity: This is another characteristic parameter of blackwaters. These normally have very low electrical conductivity since they are rivers that are poor in dissolved ions.

Thermotolerant coliforms: This is an indispensable parameter for evaluating the human presence in a given region. This type of microorganism is found in the feces of warm-blooded animals, and these types of bacteria are able to use lactose as a nutrient, producing gas at a temperature of 44–45.5 °C, and *Escherichia coli* alone corresponds to 90% of this group.

Dissolved oxygen: This is a very important parameter for the maintenance of life in water bodies; however, in blackwater rivers, this parameter characteristically presents

low values due to the decomposition of organic matter. In short, it is an indispensable parameter for evaluating blackwater rivers.

Ammoniacal nitrogen: This parameter is closely linked to human presence in a region. Ammonia nitrogen is a byproduct of the decomposition of organic matter and can be present in high concentrations in waters polluted by domestic sewage or industrial or agricultural effluents.

Total phosphorus: The presence of high levels of phosphorus in water bodies can indicate the degradation of water quality, and it leads to the eutrophication of the water body since it is one of the main nutrients responsible for the excessive growth of algae and aquatic plants, as well as nitrogen. Phosphorus can enter water bodies from a variety of sources, including agricultural runoff, domestic sewage and industrial effluents.

Biochemical oxygen demand (5 days): BOD is a measure of the amount of dissolved oxygen needed to break down organic matter present in water via microbial activity. Elevated BOD levels indicate an increased load of organic pollutants in water, which can negatively affect water quality. If the biochemical oxygen demand is high, reduced levels of available oxygen in the water can occur, which can lead to the asphyxiation of aquatic organisms and the subsequent death of aquatic life.

Turbidity: Turbidity is a measure of the amount of solid particles suspended in water. High levels of turbidity may indicate the presence of sediment, clay, organic matter, or other suspended materials in the water. Therefore, turbidity is an important indicator of overall water quality. The presence of high levels of turbidity in water can affect aquatic life in many ways. Reduced water transparency due to turbidity can decrease the ability of aquatic plants to perform photosynthesis, affecting oxygen production in water. The presence of suspended particles in water can increase the risk of microbiological contamination, as microorganisms can bind to the particles and resist disinfection treatment. Blackwater rivers are generally characterized as having high levels of dissolved organic material, such as tannins and humic acids, which give the water its dark color. In addition, these rivers often carry fine, suspended organic sediments, contributing to high turbidity values.

Dissolved solids: Dissolved solids represent the minerals and chemical compounds that are completely dissolved in water. The concentration of these solids can indicate the overall quality of the water and provide information on the chemical composition of the water body under study. The presence of dissolved solids in high concentrations can affect aquatic life. For example, high levels of dissolved salts can make brackish or salt water unsuitable for certain species of fish and other freshwater aquatic organisms. For each of these parameters, average, maximum and minimum values were obtained, as shown in Table 1 below.

Table 1. Average, maximum and minimum values for all nine parameters chosen to be part of the WQI for blackwaters.

Parameter	Maximum Value	Minimum Value	Average Value $\pm$ SD
Potential of hydrogen	5.89	5.15	5.52 ± 0.37
Electrical conductivity ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	12.39	11.10	11.75 ± 0.65
Thermotolerant coliforms (NMP $\cdot$ 100 mL)	180	21	100 ± 7
Dissolved oxygen (%)	76.9	63.4	70.2 ± 6.8
Ammonia nitrogen ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	0.17	0.00	0.07 ± 0.01
Total phosphorus ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	0.015	0.005	0.010 ± 0.005
Biochemical oxygen demand ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	6.67	3.62	5.15 ± 1.52
Turbidity (UNT)	10.82	1.11	5.97 ± 4.86
Total dissolved solids ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	34.23	19.48	26.85 ± 7.38

From the data obtained in the 10 water monitoring campaigns, for each parameter chosen, it was possible to create variation graphs for each parameter, correlating the values of the analyses with a quality value, which ranges from 0 to 100, as shown below.

For each of these graphs, we can express them from an appropriate mathematical function, which describes exactly each of the nine curves presented below, in Figures 1–5. With this, from the mathematical modeling for each behavior of each water quality parameter chosen, the following functions were obtained, with “y” being the quality value and “x” being the value found in the analyses for each parameter analyzed.

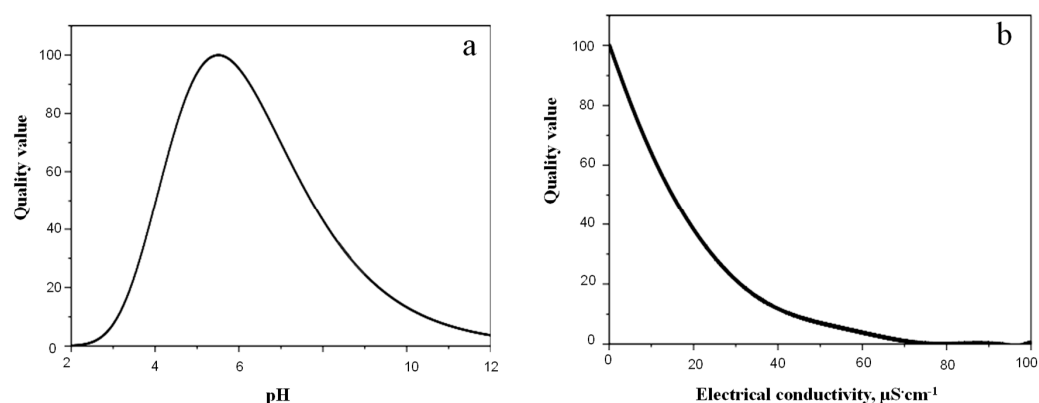


Figure 1. (a) Variation in potential of hydrogen (pH) with respect to quality value. (b) Variation in electrical conductivity with respect to quality value.

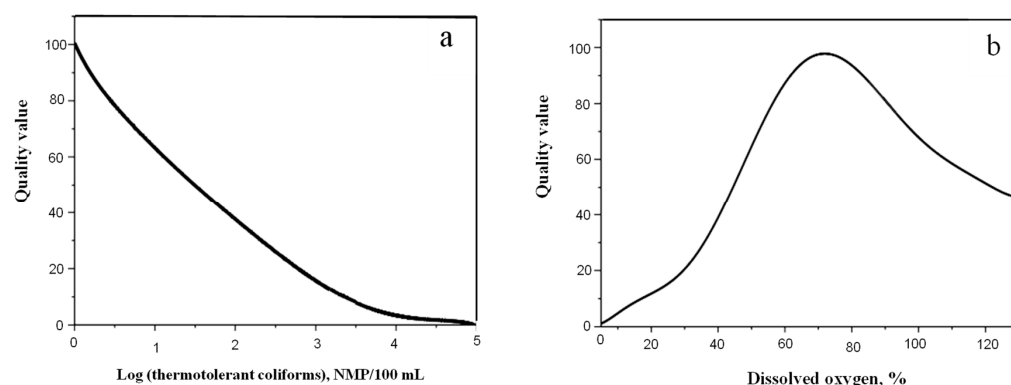


Figure 2. (a) Variation in thermotolerant coliforms with respect to quality value. (b) Variation in dissolved oxygen with respect to quality value.

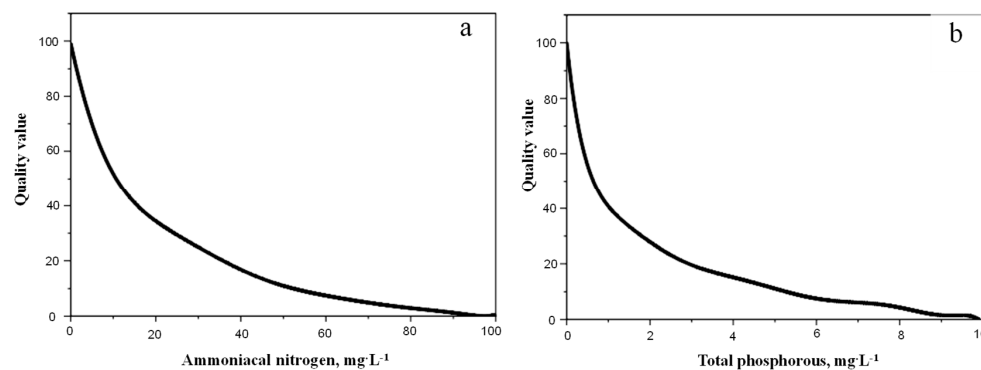


Figure 3. (a) Variation in ammoniacal nitrogen with respect to quality value. (b) Variation in total phosphorus with respect to quality value.

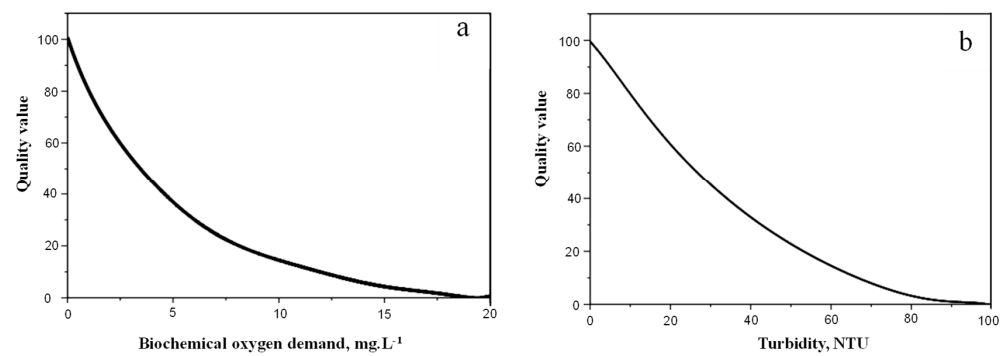


Figure 4. (a) Variation in biochemical oxygen demand with respect to quality value. (b) Variation in turbidity with respect to quality value.

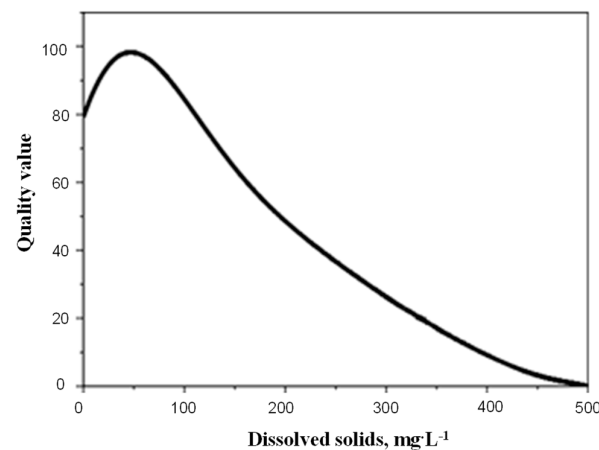


Figure 5. Variation in dissolved solids with respect to quality value.

1. pH:

$$y = -2.35097 \times 10^{-16} + 99.94591 \times 10^{(w)}$$

$$\text{where } w = -10^{(-z)-z+1}, z = (x - 5.51082)/1.51245$$

2. Electrical conductivity:

$$y = 100 - 3.98753x + 7.08 \times 10^{-4}x^2 + 0.00619x^3 - 3.62 \times 10^{-4}x^4 + 1.16 \times 10^{-5}x^5 - 2.17 \times 10^{-7}x^6 + 2.35 \times 10^{-9}x^7 - 1.35 \times 10^{-11}x^8 + 3.18 \times 10^{-14}x^9$$

3. Thermotolerant coliforms:

$$y = 100 - 64.59328x + 68.07611x^2 - 78.8927x^3 + 58.93817x^4 - 27.7x^5 + 8.12x^6 - 1.43x^7 + 1.39 \times 10^{-1}x^8 - 5.71 \times 10^{-3}x^9$$

4. Dissolved oxygen:

$$y = 3.01177 - 1.66751x + 0.36414x^2 - 0.002553x^3 + 9.09 \times 10^{-4}x^4 - 1.72 \times 10^{-5}x^5 + 1.83 \times 10^{-7}x^6 - 1.09 \times 10^{-9}x^7 + 3.37 \times 10^{-12}x^8 - 4.19 \times 10^{-15}x^9$$

5. Ammoniacal nitrogen:

$$y = 100 - 7.15074x + 0.2671x^2 + 5.02 \times 10^{-5}x^3 - 3.89 \times 10^{-4}x^4 + 1.48 \times 10^{-5}x^5 - 2.70 \times 10^{-7}x^6 + 2.70 \times 10^{-9}x^7 - 1.42 \times 10^{-11}x^8 + 3.11 \times 10^{-14}x^9$$

6. Total phosphorus:

$$y = 100 - 145.6286x + 155.76905x^2 - 101x^3 + 39.2x^4 - 9.46x^5 + 1.42x^6 \\ - 1.28 \times 10^{-1}x^7 + 6.38 \times 10^{-3}x^8 - 1.35 \times 10^{-4}x^9$$

7. Biochemical oxygen demand (5 days):

$$y = 100 - 24.8781x + 5.31814x^2 - 1.02x^3 + 1.12 \times 10^{-1}x^4 - 3.72 \times 10^{-3}x^5 \\ - 4.16 \times 10^{-4}x^6 + 4.77 \times 10^{-5}x^7 - 1.84 \times 10^{-6}x^8 + 2.56 \times 10^{-8}x^9$$

8. Turbidity:

$$y = 100 - 1.64638x - 0.06945x^2 + 4.90 \times 10^{-3}x^3 - 1.56 \times 10^{-4}x^4 + 2.93 \times 10^{-6}x^5 \\ - 3.33 \times 10^{-8}x^6 + 2.15 \times 10^{-10}x^7 - 6.59 \times 10^{-13}x^8 + 5.27 \times 10^{-16}x^9$$

9. Dissolved solids:

$$y = 79.24707 + 0.83862x - 0.00848x^2 - 5.53 \times 10^{-5}x^3 + 1.12 \times 10^{-6}x^4 - 6.88 \times 10^{-9} \\ x^5 + 2.23 \times 10^{-11}x^6 - 4.12 \times 10^{-14}x^7 + 4.08 \times 10^{-17}x^8 - 1.69 \times 10^{-20}x^9$$

All the equations described above have a correlation coefficient with the analyzed results and quality values equal to 1, indicating that the mathematical modeling used was ideal for describing the curves presented in the graphs.

With respect to the weights of each of the chosen quality parameters, simple questionnaires were sent to chemists, biologists and limnologists who study the region (or other regions) so that they could give an order of priority to the weights based on their own knowledge. The questionnaires had the following request: For a water quality index with characteristics of Amazonian blackwaters, number the following parameters in ascending order of importance: pH, electrical conductivity, thermotolerant coliforms, dissolved oxygen, ammonia nitrogen, total phosphorus, biochemical oxygen demand (BOD₅), turbidity and total solids.

Based on the results of this survey, associated with the review of the available literature on works involving blackwater rivers in the Amazon region and the numerous results obtained by research projects in the area of the environmental monitoring of the research group Chemistry Applied to Technology, the following weights are suggested for each parameter chosen in this work:

1. pH—15%
2. Electrical conductivity—15%
3. Thermotolerant coliforms—15%
4. Dissolved oxygen—15%
5. Ammoniacal nitrogen—10%
6. Total phosphorus—10%
7. Biochemical oxygen demand (BOD₅)—10%
8. Turbidity—5%
9. Total solids—5%

With the equations that describe the relationships between the analyzed values and quality values, as well as the aforementioned weights for each parameter, we can assemble the general equation to obtain the water quality index for the blackwaters of the Amazon region, which is expressed below:

$$\begin{aligned}
\text{WQI (blackwaters)} = & ((-2.35097 \times 10^{-16} + 99.94591 \times 10^{(w)}) \times 0.15) + ((100 - 3.98753b + 7.08 \times 10^{-4}b^2 + 0.00619b^3 \\
& - 3.62 \times 10^{-4}b^4 + 1.16 \times 10^{-5}b^5 - 2.17 \times 10^{-7}b^6 + 2.35 \times 10^{-9}b^7 - 1.35 \times 10^{-11}b^8 + 3.18 \times 10^{-14}b^9) \times 0.15) \\
& + ((100 - 64.59328c + 68.07611c^2 - 78.8927c^3 + 58.93817c^4 - 27.7c^5 + 8.12c^6 - 1.43c^7 + 1.39 \times 10^{-1}c^8 - 5.71 \times 10^{-3}c^9) \\
& \times 0.15) + ((3.01177 - 1.66751d + 0.36414d^2 - 0.002553d^3 + 9.09 \times 10^{-4}d^4 - 1.72 \times 10^{-5}d^5 + 1.83 \times 10^{-7}d^6 \\
& - 1.09 \times 10^{-9}d^7 + 3.37 \times 10^{-12}d^8 - 4.19 \times 10^{-15}d^9) \times 0.15) + ((100 - 7.15074f + 0.2671f^2 + 5.02 \times 10^{-5}f^3 - 3.89 \\
& \times 10^{-4}f^4 + 1.48 \times 10^{-5}f^5 - 2.70 \times 10^{-7}f^6 + 2.70 \times 10^{-9}f^7 - 1.42 \times 10^{-11}f^8 + 3.11 \times 10^{-14}f^9) \times 0.10) + ((100 - \\
& 145.6286g + 155.76905g^2 - 101g^3 + 39.2g^4 - 9.46g^5 + 1.42g^6 - 1.28 \times 10^{-1}g^7 + 6.38 \times 10^{-3}g^8 - 1.35 \times 10^{-4}g^9) \\
& \times 0.10) + ((100 - 24.8781h + 5.31814h^2 - 1.02h^3 + 1.12 \times 10^{-1}h^4 - 3.72 \times 10^{-3}h^5 - 4.16 \times 10^{-4}h^6 + 4.77 \times 10^{-5}h^7 \\
& - 1.84 \times 10^{-6}h^8 + 2.56 \times 10^{-8}h^9) \times 0.10) + ((100 - 1.64638i - 0.06945i^2 + 4.90 \times 10^{-3}i^3 - 1.56 \times 10^{-4}i^4 + 2.93 \times 10^{-6}i^5 \\
& - 3.33 \times 10^{-8}i^6 + 2.15 \times 10^{-10}i^7 - 6.59 \times 10^{-13}i^8 + 5.27 \times 10^{-16}i^9) \times 0.05) + ((79.24707 + 0.83862j - 0.00848j^2 - 5.53 \\
& \times 10^{-5}j^3 + 1.12 \times 10^{-6}j^4 - 6.88 \times 10^{-9}j^5 + 2.23 \times 10^{-11}j^6 - 4.12 \times 10^{-14}j^7 + 4.08 \times 10^{-17}j^8 - 1.69 \times 10^{-20}j^9) \times 0.05)
\end{aligned}$$

where

$$w = -10(-z) - z + 1$$

$$z = (a - 5.51082)/1.51245$$

a = pH values

b = Electrical conductivity values

c = Thermotolerant coliform values

d = Dissolved oxygen values

f = Ammonia nitrogen values

g = Total phosphorus values

h = Biochemical oxygen demand (BOD₅) values

i = Turbidity values

j = Dissolved solids values

Finally, the final step for the application of the proposed water quality index is the definition of the quality ranges in which the analyzed raw waters are found. As is known, several Brazilian states have their specific WQIs, as exemplified in Table 2 below:

Table 2. Water quality index values for different Brazilian states.

WQI Value for the: AP, MG, PR and RS	WQI Value for the: BA, GO, ES, MS and SP	Water Quality	Color
91–100	80–100	VERY GOOD	
71–90	52–79	GOOD	
51–70	37–51	ACCEPTABLE	
26–50	20–36	BAD	
0–25	0–19	VERY BAD	

The colors represent each of the water quality levels and are used as visual quality parameters. Abbreviations: AP—state of Amapá; MG—state of Minas Gerais; PR—state of Paraná; RS—state of Rio Grande do Sul; BA—state of Bahia; GO—state of Goiás; ES—state of Espírito Santo; MS—state of Mato Grosso; SP—state of São Paulo.

As can be seen in the values in Table 2 above, the states of Amapá, Minas Gerais, Paraná and Rio Grande do Sul are more rigorous with respect to the lower ranges in water quality than the states of Bahia, Goiás, Espírito Santo, Mato Grosso do Sul and São Paulo. Since the water quality of the basins that make up the Amazon basin, in general, are still unspoiled, the proposal had the option of being more rigorous in the bands with the worst quality observed, aiming at a greater control of this Brazilian environmental asset. With this in mind, the water quality ranges suggested for this work are presented below in Table 3.

Table 3. Water quality ranges proposed by the GP-QAT for blackwater rivers in the Amazon region.

Value of WQI Blackwater GP-QAT	Water Quality	Color
85–100	VERY GOOD	Blue
75–84	GOOD	Green
60–74	ACCEPTABLE	Yellow
31–54	BAD	Red
0–30	VERY BAD	Black

The colors represent each of the water quality levels and are used as visual quality parameters.

As the research group Chemistry Applied to Technology is responsible for the implementation of the State Water Resources Plan of the state of Amazonas (PERH/AM) for water quality monitoring, we used the 15 water quality monitoring sampling points suggested by the PERH to exemplify the use of this blackwater WQI, in comparison with the WQI used in the state of São Paulo. The 15 points that were used are presented in Figure 6 below.

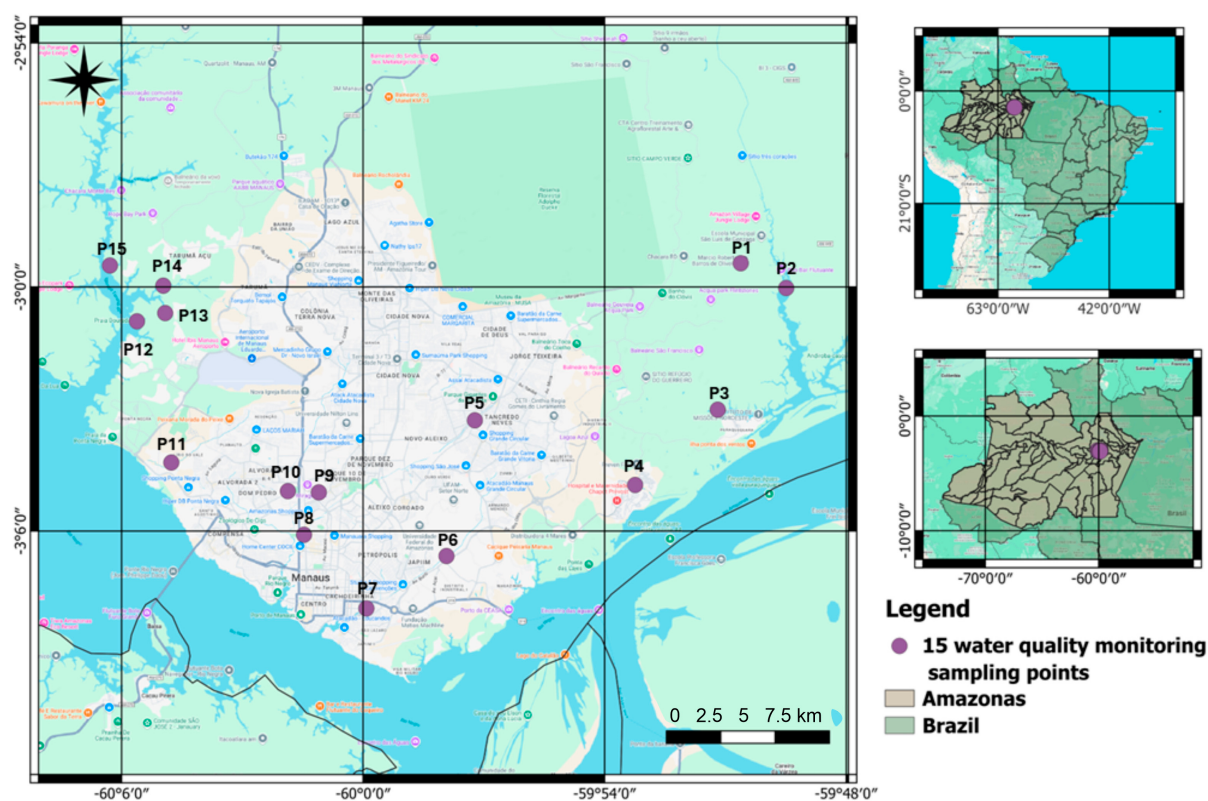
**Figure 6.** Sample collection points related to the State Water Resources Plan, PERH/AM, in the city of Manaus, Amazonas.

Table 4 shows the results obtained for the water quality index of the present study and the results from the calculation of the product of the nine parameters (pH, temperature (ΔT), thermotolerant coliforms, total nitrogen, total phosphorus, total solids, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand and turbidity) obtained using the WQI used in the state of São Paulo.

Table 4. Comparison of the results for the water quality index obtained for this proposal and the one used in the state of São Paulo.

Sampling Point	Basin	WQI—QAT Blackwaters	WQI—São Paulo
1	Puraquequara	59	37
2		67	39
3		56	38
4	Mauá	51	37
5	São Raimundo	27	15
6	Educandos	34	20
7		29	21
8	São Raimundo	32	18
9		40	21
10		29	14
11	Gigante	36	18
12	Tarumã-Açú	62	39
13		57	37
14		49	38
15		65	49
Average		46	29

A change in water quality values is clearly noted for the two proposals shown above, with a relevant increase in values using our proposal. This is due to the fact that the parameters used in the proposal of this work are adjusted to the characteristic values found in the various water monitoring campaigns carried out by our research group. In addition, the proposal of the present study was built from remote places still practically untouched by human action, which gives this work, beyond its originality, a reference for use in basins where human presence is marked, such as the city of Manaus, for example. From the results obtained, we can apply this water quality index in heavily degraded basins such as those of São Raimundo and Educandos in the city of Manaus (Amazonas).

This work has the possibility to become a fundamental tool for environmental managers and researchers for use in proposals for the management of already-compromised water bodies, such as those mentioned above, but it can also be transformed into an instrument to predict possible environmental impacts, in order to protect basins not yet affected or those with low impacts from anthropological actions.

4. Conclusions

The objective of this study was to present a new proposal for calculating the water quality index (WQI) for blackwater in the Amazon region. This proposal represents a robust initiative based on several studies and a significant amount of data generated from several scientific expeditions in the Rio Negro basin. This is a proposal from a research group that has been working in the area of environmental monitoring for over 10 years and is now a reference in this type of study in the Brazilian Amazon.

The data evaluation indicated that the most representative parameters for the characterization of blackwater in terms of its quality were pH, electrical conductivity, thermotolerant coliforms, dissolved oxygen, ammoniacal nitrogen, total phosphorus, biochemical oxygen demand, turbidity and total dissolved solids. These data, together with the literature review

and consultation with experts in the area, made it possible to define the weights of each parameter for the construction of the new WQI.

As expected, the comparative tests carried out between the formula currently used and our proposal showed significant differences in the WQI results, considering the peculiar characteristics of the parameters of the region's blackwater.

As such, this is a proposal by the research group Chemistry Applied to Technology for a water quality index for the blackwater rivers of the Amazon region; it is a proposal that, via its presentation, will be subject to evaluation by the scientific community, with the purpose of its homologation, with or without adjustments. It is not an absolute proposal but the first step towards the realization of the desire of a large number of our peers for an important tool for the beginning of the next stage in the preservation of this vast national wealth, which is environmental management from the knowledge of the basins.

"You don't preserve what you don't know. . ."

Author Contributions: S.D.J.: Project administration, formal analysis, investigation, writing—original draft; P.M.A.: Project administration, formal analysis, validation, writing; R.L.e.O.: resources, writing—review and editing; S.K.S.d.L.: project administration, resources, writing—review; A.S.C.N.: formal analysis, investigation, methodology, C.E.B.: Supervision, Resources, writing—review and editing; A.N.A.: Methodology, formal analysis and validation, Supervision; E.F.d.B.: resources, writing—review and editing. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM). Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (IPAAM). Fundo Estadual do Meio Ambiente (FEMA).

Data Availability Statement: The supporting information for the black river data can be downloaded at <https://www.gp-qat.com/projetos-de-pesquisa/proqas/am---programa-de-monitoramento-de-%C3%A1gua,-ar-e-solos-do-estado-do-amazonas> (accessed on 28 July 2022).

Acknowledgments: This work could not have been carried out without the support of the Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (IPAAM), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), Fundo Estadual do Meio Ambiente (FEMA) (SEMA), Universidade do Estado do Amazonas (UEA) and all the technicians and the scientific initiation, master's and doctoral students of the research group Chemistry Applied to Technology, who are involved in environmental monitoring projects.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

References

1. GEO Cidades. *Projeto Geo-Cidades: Relatório Ambiental Urbano Integrado*; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente—Escritório Regional para a América Latina e o Caribe: Rio de Janeiro, Brazil, 2002; Volume Consórcio Parceria, pp. 1–188.
2. Queiroz, A.R. PROSAMIM: Desafios de Implantação de Infraestrutura de Saneamento e Ocupação Do Solo Urbano Na Cidade de Manaus, Amazonas. In *Programa De Pós-Graduação Em Ciências Do Ambiente E Sustentabilidade N Amazônia*; Universidade Federal do Amazonas: Manaus, Brazil, 2009.
3. Oliveira, E.G.; Alves, J.A. Considerações Preliminares Sobre as Intervenções de Infraestrutura Em Bacias Hidrográficas Urbanas: Estudo de Caso Do PROSAMIN Em Manaus—AM. In *Proceedings of the II Seminário Ibero-Americano de Geografia Física*, Coimbra, Portugal, 26–30 May 2010; Universidade de Coimbra: Coimbra, Portugal, 2010; pp. 1–11.
4. Cassiano, K.R.M. *Análise Geográfica de Áreas de Risco Na Bacia Hidrográfica Do Igarapé Do Mindú—Manaus (AM)*. Master's Thesis, Universidade Federal de Santa Catarina, Manaus, Brazil, 2013.
5. Uddin, M.G.; Nash, S.; Olbert, A.I. A Review of Water Quality Index Models and Their Use for Assessing Surface Water Quality. *Ecol. Indic.* **2021**, *122*, 107218. [CrossRef]
6. Brown, R.M.; McClelland, N.I.; Deininger, R.A.; Tozer, R.G. A Water Quality Index: Do We Dare? *Water Sew. Work.* **1970**, *117*, 339–343.
7. Jha, M.K.; Shekhar, A.; Jenifer, M.A. Assessing Groundwater Quality for Drinking Water Supply Using Hybrid Fuzzy-GIS-Based Water Quality Index. *Water Res.* **2020**, *179*, 115867. [CrossRef]

8. Dinius, S.H. Design of an Index of Water Quality 1. *JAWRA J. Am. Water Resour. Assoc.* **1987**, *23*, 833–843. [\[CrossRef\]](#)
9. Campos, Z.E.S. *De Parâmetros Físicos-Químicos Em Igarapés De Água Clara E Preta Ao Longo Da Rodovia BR-174 Entre Manaus E Presidente Figueiredo—AM*; Universidade Federal do Amazonas—UFAM: Manaus, Brazil, 1994.
10. Melo, A.L.; Cunha, H.B.; Baraúna, E.F. Avaliação Dos Coliformes Nas Águas Do Rio Negro Na Orla de Manaus—AM. In Proceedings of the XV. Jornada De Iniciação Científica, Manaus, Brazil, 6–7 May 2006; INPA/CNPQ/FAPEAM: Manaus, Brazil, 2006; p. 373.
11. Filizola, N.; Seyler, F.; Mourão, M.H.; Arruda, W.; Spinola, N.; Guyot, J.L. Study of the Variability in Suspended Sediment Discharge at Manacapuru, Amazon River, Brazil. *Lat. Am. J. Sedimentol. Basin Anal.* **2009**, *16*, 93–99.
12. Moretto, D.L.; Panta, R.E.; da Costa, A.B.; Lobo, E.A. Calibration of Water Quality Index (WQI) Based on Resolution No 357/2005 of the Environment National Council (CONAMA). *Acta Limnol. Bras.* **2012**, *24*, 29–42. [\[CrossRef\]](#)
13. Dobbie, M.J.; Dail, D. Robustness and Sensitivity of Weighting and Aggregation in Constructing Composite Indices. *Ecol. Indic.* **2013**, *29*, 270–277. [\[CrossRef\]](#)
14. Lobato, T.C.; Hauser-Davis, R.A.; Oliveira, T.F.; Silveira, A.M.; Silva, H.A.N.; Tavares, M.R.M.; Saraiva, A.C.F. Construction of a Novel Water Quality Index and Quality Indicator for Reservoir Water Quality Evaluation: A Case Study in the Amazon Region. *J. Hydrol.* **2015**, *522*, 674–683. [\[CrossRef\]](#)
15. Akhtar, N.; Syakir, M.I.; Rai, S.P.; Saini, R.; Pant, N.; Anees, M.T.; Qadir, A.; Khan, U. Multivariate Investigation of Heavy Metals in the Groundwater for Irrigation and Drinking in Garautha Tehsil, Jhansi District. *India. Anal. Lett.* **2020**, *53*, 774–794. [\[CrossRef\]](#)
16. Gmach, M.R.; Cherubin, M.R.; Kaiser, K.; Cerri, C.E.P. Processes That Influence Dissolved Organic Matter in the Soil: A Review. *Sci. Agric.* **2020**, *77*, e20180164. [\[CrossRef\]](#)
17. Franzinelli, E.; Igreja, H. Modern Sedimentation in the Lower Negro River, Amazonas State, Brazil. *Geomorphology* **2002**, *44*, 259–271. [\[CrossRef\]](#)
18. Fassoni-Andrade, A.C.; Fleischmann, A.S.; Papa, F.; de Paiva, R.C.D.; Wongchuig, S.; Melack, J.M.; Moreira, A.A.; Paris, A.; Ruhoff, A.; Barbosa, C.; et al. Amazon Hydrology From Space: Scientific Advances and Future Challenges. *Rev. Geophys.* **2021**, *59*, e2020RG000728. [\[CrossRef\]](#)
19. Chidiac, S.; El Najjar, P.; Ouaini, N.; El Rayess, Y.; El Azzi, D. A Comprehensive Review of Water Quality Indices (WQIs): History, Models, Attempts and Perspectives. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* **2023**, *22*, 349–395. [\[CrossRef\]](#)
20. CETESB. Qualidades Da Águas Superficiais No Estado de São Paulo. Available online: https://cetesb.sp.gov.br/aguasinteriores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/Cetesb_QualidadeAguasSuperficiais2015_PartII_29-09.pdf (accessed on 25 April 2023).
21. Horton, R.K. An Index Number System for Rating Water Quality. *J. Water Pollut. Control. Fed.* **1965**, *37*, 300–306.
22. Cude, C.G. Oregon water quality index a tool for evaluating water quality management effectiveness 1. *JAWRA J. Am. Water Resour. Assoc.* **2001**, *37*, 125–137. [\[CrossRef\]](#)
23. Syeed, M.M.M.; Hossain, M.S.; Karim, M.R.; Uddin, M.F.; Hasan, M.; Khan, R.H. Surface Water Quality Profiling Using the Water Quality Index, Pollution Index and Statistical Methods: A Critical Review. *Environ. Sustain. Indic.* **2023**, *18*, 100247. [\[CrossRef\]](#)
24. Sutadian, A.D.; Muttill, N.; Yilmaz, A.G.; Perera, B.J.C. Development of a Water Quality Index for Rivers in West Java Province, Indonesia. *Ecol. Indic.* **2018**, *85*, 966–982. [\[CrossRef\]](#)
25. Benvenuti, T.; Kieling-Rubio, M.; Klauck, C.; Rodrigues, M. Evaluation of Water Quality at the Source of Streams of the Sinos River Basin, Southern Brazil. *Braz. J. Biol.* **2015**, *75*, 98–104. [\[CrossRef\]](#)
26. Rocha, F.C.; Andrade, E.M.; Lopes, F.B. Water quality index calculated from biological, physical and chemical attributes. *Environ. Monit. Assess.* **2015**, *187*, 4163. [\[CrossRef\]](#)
27. Cisneros Ontiveros, H.G.; Medellín Castillo, N.A.; Cárdenas Tristán, A.; Cárdenas, M.C.; Arturo Ilizaliturri Hernández, C.; Putri, R.F. Determination of the Water Quality Index (NFS WQI) of Water Bodies in the Huasteca Potosina, Mexico. *E3S Web Conf.* **2021**, *325*, 08002. [\[CrossRef\]](#)
28. Abeshu, G.W.; Li, H. Horton Index: Conceptual Framework for Exploring Multi-Scale Links Between Catchment Water Balance and Vegetation Dynamics. *Water Resour. Res.* **2021**, *57*, e2020WR029343. [\[CrossRef\]](#)

Disclaimer/Publisher’s Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.