

QUALIDADE DA ÁGUA EM SISTEMAS DE PISCICULTURA NA AMAZÔNIA OCIDENTAL: AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS QUÍMICOS PARA A SUSTENTABILIDADE DA PRODUÇÃO AQUÍCOLA**WATER QUALITY IN FISH FARMING SYSTEMS IN THE WESTERN AMAZON: EVALUATION OF CHEMICAL PARAMETERS FOR AQUACULTURE PRODUCTION SUSTAINABILITY****CALIDAD DEL AGUA EN SISTEMAS DE PISCICULTURA EN LA AMAZONÍA OCCIDENTAL: EVALUACIÓN DE PARÁMETROS QUÍMICOS PARA LA SOSTENIBILIDAD DE LA PRODUCCIÓN ACUÍCOLA**

10.56238/revgeov16n5-276

Sirlei Honorato de Jesus

Graduanda em Agronomia

Instituição: Centro Universitário Faema (UNIFAEMA)

E-mail: sirleihonorato-2014@hotmail.com

Jociel Honorato de Jesus

Doutorando em Geografia

Instituição: Universidade Federal de Rondônia (Unir)

E-mail: jocielhonorato@gmail.com

Eliomar Pereira da Silva Filho

Doutorado em Geociências e Meio Ambiente

Instituição: Universidade Federal de Rondônia (Unir)

E-mail: eliomar@unir.br

RESUMO

A piscicultura configura-se como uma atividade essencial para a segurança alimentar, geração de renda e desenvolvimento socioeconômico regional; entretanto, sua expansão demanda rigoroso controle da qualidade da água para garantir produtividade e sustentabilidade ambiental. Este estudo teve como objetivo avaliar a qualidade da água em um sistema de piscicultura rural localizado na Amazônia Ocidental, identificando fatores ambientais e de manejo associados a possíveis desequilíbrios e propondo estratégias sustentáveis de melhoria. A pesquisa foi conduzida por meio de um estudo observacional em cinco pontos de amostragem (P01–P05), entre 14 e 15/08/2025, com análises de condutividade, turbidez, pH, alcalinidade, nutrientes (nitrogênio e fósforo), DBO e DQO, coliformes termotolerantes e metais (Al, Cu, Zn, As, entre outros), seguindo protocolos descritos na 24^a edição do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW). O controle de qualidade analítico foi assegurado por limites de quantificação (LQ), incerteza expandida (U95%) e duplicatas, sendo os resultados comparados aos padrões da Resolução CONAMA nº 357/2005. Os dados obtidos revelaram baixo teor de minerais e reduzida DBO, indicando estabilidade físico-química; porém, observaram-se elevadas concentrações de coliformes termotolerantes, com destaque para o ponto P05 (25.300 NMP/100 mL), evidenciando contaminação fecal recente. Pontos de atenção incluem fósforo



acima do ideal e metais com potencial risco ecotoxicológico. Recomenda-se implementar ações como saneamento rural, barreiras ripárias, manejo alimentar adequado, biofiltros, RAS e monitoramento contínuo, visando manter a qualidade da água e assegurar a sustentabilidade da piscicultura amazônica.

Palavras-chave: Amazônia Ocidental. Coliformes Termotolerantes. Piscicultura. Qualidade da Água. Sustentabilidade Agrícola.

ABSTRACT

Fish farming is established as an essential activity for food security, income generation, and regional socioeconomic development; however, its expansion requires strict water quality control to ensure productivity and environmental sustainability. This study aimed to evaluate water quality in a rural fish farming system located in the Western Amazon, identifying environmental and management factors associated with possible imbalances and proposing sustainable improvement strategies. The research was conducted through an observational study at five sampling points (P01–P05), between August 14 and 15, 2025, with analyses of conductivity, turbidity, pH, alkalinity, nutrients (nitrogen and phosphorus), BOD and COD, thermotolerant coliforms, and metals (Al, Cu, Zn, As, among others), following the protocols described in the 24th edition of the Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW). Analytical quality control was ensured through limits of quantification (LOQ), expanded uncertainty (U95%), and duplicates, with the results compared to the standards established by Brazilian Environmental Resolution CONAMA No. 357/2005. The data obtained revealed low mineral content and reduced BOD, indicating physicochemical stability; however, high concentrations of thermotolerant coliforms were observed, especially at point P05 (25,300 MPN/100 mL), indicating recent fecal contamination. Points of concern include phosphorus levels above the ideal range and metals with potential ecotoxicological risk. It is recommended to implement actions such as rural sanitation, riparian buffer zones, appropriate feed management, biofilters, RAS, and continuous monitoring, aiming to maintain water quality and ensure the sustainability of Amazonian fish farming.

Keywords: Western Amazon. Thermotolerant Coliforms. Fish Farming. Water Quality. Agricultural Sustainability.

RESUMEN

La piscicultura se consolida como una actividad esencial para la seguridad alimentaria, la generación de ingresos y el desarrollo socioeconómico regional; sin embargo, su expansión requiere un estricto control de la calidad del agua para garantizar la productividad y la sostenibilidad ambiental. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua en un sistema rural de piscicultura ubicado en la Amazonía Occidental, identificando los factores ambientales y de manejo asociados a posibles desequilibrios y proponiendo estrategias sostenibles de mejora. La investigación se realizó mediante un estudio observacional en cinco puntos de muestreo (P01–P05), entre el 14 y el 15 de agosto de 2025, con análisis de conductividad, turbidez, pH, alcalinidad, nutrientes (nitrógeno y fósforo), DBO y DQO, coliformes termotolerantes y metales (Al, Cu, Zn, As, entre otros), siguiendo los protocolos descritos en la 24^a edición del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW). El control de calidad analítico se garantizó mediante límites de cuantificación (LOQ), incertidumbre expandida (U95%) y duplicados, comparándose los resultados con los estándares establecidos por la Resolución Ambiental Brasileña CONAMA n.^o 357/2005. Los datos obtenidos revelaron bajo contenido mineral y reducida DBO, lo que indica estabilidad fisicoquímica; sin embargo, se observaron altas concentraciones de coliformes termotolerantes, especialmente en el punto P05 (25.300 NMP/100 mL), lo que evidencia contaminación fecal reciente. Los puntos de atención incluyen niveles de fósforo por encima del rango ideal y metales con potencial riesgo ecotoxicológico. Se recomienda implementar acciones como saneamiento rural, franjas de protección ribereña, manejo adecuado de la alimentación, biofiltros, sistemas RAS y monitoreo continuo, con el fin de mantener la calidad del agua y garantizar la sostenibilidad de la piscicultura amazónica.



Palabras clave: Amazonía Occidental. Coliformes Termotolerantes. Piscicultura. Calidad del Agua. Sostenibilidad Agrícola.



1 INTRODUÇÃO

A piscicultura, enquanto atividade produtiva estratégica para o desenvolvimento econômico e social da Amazônia Ocidental, vem se consolidando como uma importante fonte de renda, alimento e geração de empregos, sobretudo em comunidades rurais e periurbanas. O crescimento dessa atividade é impulsionado pela ampla disponibilidade de recursos hídricos, condições climáticas favoráveis e pela crescente demanda por proteína de origem animal. No entanto, a intensificação da produção aquícola exige atenção especial à qualidade da água, uma vez que esse recurso é determinante para o desempenho zootécnico dos peixes e para a sustentabilidade ambiental dos sistemas produtivos (Boyd; Tucker, 2012). Assim, compreender e controlar os parâmetros físico-químicos e microbiológicos torna-se essencial para manter o equilíbrio ecológico e reduzir perdas econômicas associadas à má gestão da qualidade da água.

A Amazônia Ocidental apresenta características singulares, como alta pluviosidade, solos ricos em matéria orgânica e intensa rede hidrográfica, o que favorece o desenvolvimento da piscicultura, mas também impõe desafios ambientais. A variação natural de fatores como temperatura, oxigênio dissolvido, pH, alcalinidade e concentração de nutrientes pode influenciar significativamente o metabolismo dos organismos aquáticos e o equilíbrio dos tanques de cultivo (Kubitza, 2011). Dessa forma, o monitoramento sistemático da qualidade da água se torna imprescindível para assegurar tanto o bem-estar animal quanto a conservação dos ecossistemas aquáticos regionais.

Além dos aspectos ambientais, a qualidade da água está diretamente relacionada ao desempenho produtivo e sanitário dos peixes. Valores inadequados de amônia, nitrito ou metais pesados podem provocar estresse, reduzir o crescimento e aumentar a suscetibilidade a doenças, comprometendo toda a cadeia produtiva (Tavares-dias; Moraes, 2017). O controle rigoroso desses parâmetros permite a identificação precoce de desequilíbrios, contribuindo para a implementação de práticas corretivas e preventivas, alinhadas aos princípios de manejo sustentável e de produção responsável.

A Resolução CONAMA nº 357/2005 representa um marco regulatório importante ao estabelecer padrões de qualidade da água para diferentes classes e usos, incluindo a aquicultura e a pesca. Essa legislação oferece parâmetros técnicos que orientam o controle ambiental e a avaliação da conformidade dos sistemas produtivos com as normas ambientais brasileiras (Brasil, 2005). A comparação dos resultados obtidos em análises físico-químicas e microbiológicas com os limites legais é uma etapa essencial para identificar possíveis riscos à sustentabilidade e à segurança alimentar, garantindo a integridade do produto final destinado ao consumo humano (Silva *et al.*, 2020).

As práticas de manejo adotadas pelos piscicultores também exercem papel decisivo na manutenção da qualidade da água. O uso inadequado de ração, a ausência de renovação hídrica e o descarte incorreto de efluentes podem contribuir para processos de eutrofização, aumento da turbidez



e acúmulo de matéria orgânica no fundo dos tanques (Kubitza, 2011; Tavares-dias; Moraes, 2017). Tais condições, além de reduzirem a oxigenação da água, comprometem a produtividade e intensificam os impactos ambientais, especialmente em regiões ecologicamente sensíveis como a Amazônia.

Portanto, torna-se indispensável a implementação de estratégias de manejo sustentável que conciliem a eficiência produtiva com a preservação dos recursos naturais. Entre essas estratégias destacam-se a adoção de sistemas de recirculação de água, o uso de biofiltros, a correta disposição de resíduos e o controle nutricional equilibrado, que visam minimizar as emissões de nutrientes e otimizar o uso da água (Boyd; Tucker, 2012; Silva *et al.*, 2020). A integração entre conhecimento científico e práticas tradicionais locais pode promover um modelo de piscicultura ambientalmente responsável e economicamente viável.

Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo avaliar a qualidade da água em sistemas de piscicultura em uma propriedade na zona rural localizada na Amazônia Ocidental, por meio da análise de parâmetros físico-químicos e microbiológicos, identificando os fatores ambientais e de manejo que influenciam o equilíbrio dos sistemas e propondo estratégias sustentáveis de produção. Com isso, busca-se contribuir para a consolidação de práticas que garantam o desempenho zootécnico satisfatório, a redução de impactos ambientais e a preservação dos recursos hídricos, assegurando a continuidade da atividade aquícola de forma sustentável e integrada ao ambiente amazônico.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 INTRODUÇÃO À PISCICULTURA NA AMAZÔNIA OCIDENTAL

A piscicultura constitui uma das atividades produtivas de maior expansão na Amazônia Ocidental, destacando-se como importante vetor de desenvolvimento econômico e social nos estados de Rondônia, Acre e Amazonas. Essa região apresenta condições edafoclimáticas favoráveis, grande disponibilidade de recursos hídricos e espécies nativas de elevado potencial zootécnico, o que impulsiona o crescimento da aquicultura continental (Lima *et al.*, 2021). Segundo dados da FAO (2023), a produção aquícola na Amazônia brasileira tem crescido de forma contínua na última década, impulsionada por políticas públicas de incentivo à produção sustentável e pela demanda crescente por proteína animal de origem aquática.

Além de representar um setor econômico emergente, a piscicultura amazônica desempenha um papel fundamental na segurança alimentar e nutricional das comunidades rurais, ao fornecer fonte acessível de proteína e contribuir para a geração de emprego e renda no campo (Val *et al.*, 2019). O cultivo de peixes em tanques escavados ou viveiros representa uma alternativa viável à pesca extrativista, que sofre declínio devido à sobrepesca e às alterações ambientais dos ecossistemas aquáticos (Cavalcante *et al.*, 2022). Dessa forma, a piscicultura torna-se uma estratégia de inclusão produtiva e de mitigação da pressão sobre os recursos pesqueiros naturais.



Entre as espécies mais cultivadas na Amazônia Ocidental, destacam-se o tambaqui (*Colossoma macropomum*), o pirarucu (*Arapaima gigas*) e o híbrido tambacu (*Colossoma macropomum* × *Piaractus mesopotamicus*), devido ao rápido crescimento, boa conversão alimentar e elevada aceitação no mercado regional e nacional (Kubitza, 2020). O tambaqui, em especial, consolidou-se como a principal espécie da piscicultura amazônica, representando mais de 40% da produção aquícola nacional (IBGE, 2022). Essas espécies apresentam rusticidade, tolerância às variações ambientais e excelente desempenho produtivo em sistemas intensivos e semi-intensivos, características que favorecem sua adoção por pequenos e médios produtores.

No entanto, o desenvolvimento da piscicultura na Amazônia enfrenta desafios logísticos, tecnológicos e ambientais significativos. A carência de infraestrutura adequada para escoamento da produção, a distância dos principais centros consumidores e o custo elevado de insumos comprometem a competitividade do setor (Valenti *et al.*, 2020). Soma-se a isso a necessidade de aprimoramento das práticas de manejo da água, do controle de qualidade e do uso racional de recursos naturais, visando garantir a sustentabilidade e evitar impactos negativos nos ecossistemas aquáticos (Tundisi; Matsumura-Tundisi, 2019).

Diante desse contexto, torna-se essencial compreender a piscicultura não apenas como uma atividade de produção animal, mas como um sistema agroambiental complexo, que integra variáveis econômicas, ecológicas e sociais. A expansão sustentável da piscicultura na Amazônia Ocidental depende da adoção de tecnologias de manejo adaptadas às condições locais e do monitoramento da qualidade da água como ferramenta estratégica de gestão e prevenção de impactos ambientais (Boyd; Tucker, 2019). Essa abordagem multidisciplinar é fundamental para consolidar a aquicultura amazônica como um modelo produtivo sustentável e de relevância para o desenvolvimento regional.

2.2 IMPORTÂNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA NA PRODUÇÃO AQUÍCOLA

A qualidade da água é o principal fator determinante para o sucesso produtivo na piscicultura, influenciando diretamente o crescimento, a sobrevivência e a reprodução dos peixes cultivados (Boyd; Tucker, 2019). Diferentemente de outros sistemas agropecuários, a aquicultura depende totalmente do meio aquático como suporte de vida, sendo necessário o controle rigoroso dos parâmetros físico-químicos para manter condições ideais de cultivo. A água atua como veículo de nutrientes, oxigênio e produtos metabólicos, e sua estabilidade define o equilíbrio ecológico do ambiente aquícola (Kubitza, 2020). Assim, o manejo da qualidade da água constitui um dos pilares fundamentais para garantir desempenho zootécnico satisfatório e sustentabilidade da produção.

Os parâmetros físico-químicos da água, como temperatura, oxigênio dissolvido, pH, alcalinidade e concentração de amônia, exercem influência direta sobre o metabolismo e a fisiologia dos peixes (Boyd; Gross, 2018). O oxigênio dissolvido, por exemplo, é essencial para a respiração



celular e o metabolismo energético; níveis abaixo de $4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ podem comprometer o apetite, reduzir o crescimento e aumentar a mortalidade (Cavalcante *et al.*, 2022). Já o pH interfere na toxicidade da amônia e na disponibilidade de nutrientes, sendo idealmente mantido entre 6,5 e 8,5 para espécies tropicais (FAO, 2023). Alterações bruscas nesses parâmetros afetam o equilíbrio osmótico e o sistema imunológico dos peixes, provocando estresse fisiológico e maior suscetibilidade a doenças.

O metabolismo dos organismos aquáticos também está intimamente relacionado à temperatura da água, a qual regula a taxa metabólica e as reações enzimáticas vitais (ESTEVES, 2021). Em espécies tropicais, como o tambaqui e o pirarucu, o intervalo térmico ótimo situa-se entre 26 °C e 30 °C (Lima *et al.*, 2021). Temperaturas inferiores ou superiores a essa faixa reduzem a eficiência alimentar, alteram o consumo de oxigênio e comprometem o crescimento. Além disso, a condutividade elétrica e a concentração de íons na água influenciam os processos osmóticos e a manutenção do equilíbrio hídrico nos tecidos, sendo fundamentais para o bem-estar e a homeostase dos peixes cultivados (Tundisi; Matsumura-Tundisi, 2019).

A degradação da qualidade da água compromete não apenas o desempenho produtivo, mas também a sanidade dos organismos aquáticos. A acumulação de matéria orgânica, resíduos de ração e excretas eleva a concentração de compostos nitrogenados tóxicos (amônia, nitrito e nitrato), provocando desequilíbrios no ciclo do nitrogênio e acidificação do meio (Boyd; Tucker, 2019). Esses processos aumentam a demanda bioquímica de oxigênio e favorecem o crescimento de microrganismos patogênicos, gerando surtos de doenças infecciosas (Valenti *et al.*, 2020). Em sistemas mal manejados, a eutrofização e a proliferação de algas podem levar à mortalidade em massa e perdas econômicas significativas, especialmente em tanques com baixa renovação de água.

Nesse contexto, o monitoramento contínuo da qualidade da água constitui ferramenta indispensável para o manejo racional e sustentável da piscicultura. A adoção de práticas de controle, como aeração, troca parcial da água e manejo adequado da alimentação, reduz os riscos de degradação ambiental e garante maior eficiência produtiva (Ribeiro *et al.*, 2023). A integração entre os parâmetros físico-químicos e biológicos, aliada à capacitação técnica dos produtores, contribui para a manutenção do equilíbrio ecológico dos viveiros e assegura o desenvolvimento de uma aquicultura ambientalmente responsável, economicamente viável e socialmente justa na Amazônia Ocidental.

2.3 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE QUALIDADE DA ÁGUA

A qualidade da água é amplamente reconhecida como o fator mais determinante para o sucesso da piscicultura, uma vez que o ambiente aquático constitui o meio vital no qual os peixes realizam todas as suas funções fisiológicas — respiração, alimentação, excreção, reprodução e manutenção da homeostase (Boyd; Tucker, 2019; Pillay; Kutty, 2022). A manutenção dos parâmetros físico-químicos dentro de faixas adequadas é indispensável para assegurar o equilíbrio biológico dos viveiros e



promover o crescimento saudável dos organismos aquáticos (Esteves, 2021). Segundo Kubitza (2020), a água deve ser tratada como um insumo produtivo de igual importância à ração e à genética, visto que pequenas variações em temperatura, oxigênio dissolvido, pH e nutrientes afetam de forma direta o desempenho zootécnico, a conversão alimentar e o bem-estar dos peixes cultivados.

O desempenho produtivo dos peixes está intimamente associado à estabilidade dos fatores físico-químicos da água, que influenciam a disponibilidade de oxigênio, a digestibilidade dos alimentos, a taxa metabólica e o aproveitamento de nutrientes (Valenti et al., 2020; Ribeiro et al., 2023). O oxigênio dissolvido, por exemplo, é essencial para os processos metabólicos aeróbios e para a oxidação de compostos orgânicos; concentrações inferiores a $4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ causam estresse, reduzem o apetite e podem provocar mortalidade significativa (Cavalcante et al., 2022). A temperatura, por sua vez, exerce influência direta sobre as reações bioquímicas e a fisiologia dos peixes, afetando o crescimento e a eficiência alimentar. Para espécies tropicais, como o tambaqui (*Colossoma macropomum*) e o pirarucu (*Arapaima gigas*), a faixa ideal situa-se entre 26 °C e 30 °C (Lima et al., 2021; Boyd; Gross, 2018).

Os parâmetros físico-químicos não apenas influenciam o metabolismo individual dos organismos, mas também determinam a dinâmica ecológica dos sistemas de cultivo. Alterações em pH, alcalinidade, dureza, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos modificam a solubilidade de gases e nutrientes, interferindo nos processos bioquímicos e microbiológicos da água (Tundisi; Matsumura-Tundisi, 2019; Esteves, 2021). Valores inadequados desses parâmetros podem resultar em desequilíbrios no ciclo do nitrogênio, acúmulo de compostos tóxicos — como amônia não ionizada (NH_3) e nitrito (NO_2^-) — e proliferação de microrganismos patogênicos, comprometendo a sanidade e a produtividade dos peixes (Valenti et al., 2020). O manejo ineficiente da qualidade da água é, portanto, uma das principais causas de queda na eficiência produtiva e de perdas econômicas na piscicultura tropical.

A interdependência entre os parâmetros físico-químicos requer um monitoramento constante e integrado dos sistemas de cultivo, visando prevenir condições de estresse ambiental e garantir o desempenho zootécnico ideal (Boyd; Gross, 2018; Ribeiro et al., 2023). Boyd e Tucker (2019) destacam que a variação isolada de um único parâmetro — como pH, oxigênio dissolvido ou temperatura — pode desencadear uma cadeia de desequilíbrios no sistema, alterando o comportamento alimentar e a taxa de crescimento dos peixes. Assim, a adoção de boas práticas de manejo, incluindo a aeração, a renovação periódica da água, o controle da carga orgânica e a utilização de sistemas de recirculação (RAS), é essencial para manter o equilíbrio ecológico e otimizar a eficiência produtiva (Pillay; Kutty, 2022).

Dessa forma, compreender a importância dos parâmetros físico-químicos da água é imprescindível para o manejo racional e sustentável da piscicultura na Amazônia Ocidental. A análise



sistemática da água fornece subsídios para decisões estratégicas relacionadas à densidade de estocagem, alimentação, adubação e renovação do sistema (FAO, 2023). O monitoramento contínuo desses indicadores representa uma prática de gestão ambiental e produtiva, indispensável à sustentabilidade, à segurança alimentar e à consolidação da piscicultura como atividade econômica ambientalmente responsável na região amazônica (Val; Cavalcante; Valenti, 2021).

2.4 ASPECTOS QUÍMICOS E SUSTENTABILIDADE NA PISCICULTURA

A piscicultura é uma atividade agroindustrial que depende fortemente do equilíbrio químico da água para garantir o crescimento saudável dos organismos aquáticos e a manutenção da sustentabilidade ambiental. Parâmetros como pH, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), amônia, nitrito e dureza total são indicadores essenciais da qualidade da água e da eficiência dos sistemas de cultivo (Leira *et al.*, 2017). A variação desses parâmetros pode afetar diretamente o metabolismo dos peixes e a disponibilidade de nutrientes, influenciando a produtividade e o equilíbrio ecológico dos tanques de piscicultura (Silva *et al.*, 2021).

O controle químico da água está diretamente relacionado à reciclagem de nutrientes e à dinâmica biogeoquímica do nitrogênio e do fósforo. A amônia (NH_3), resultante da excreção dos peixes e da decomposição de matéria orgânica, é tóxica em altas concentrações e precisa ser convertida em nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-) por meio da nitrificação bacteriana (Kubitza, 2019). Esse processo exige uma adequada oxigenação e controle do pH, pois ambientes ácidos e anóxicos comprometem a conversão, levando à eutrofização e à mortalidade dos organismos aquáticos (Pádua *et al.*, 2020).

A sustentabilidade da piscicultura está associada à adoção de práticas que minimizem o impacto ambiental e promovam a eficiência no uso de recursos químicos e hídricos. O manejo racional da água, a redução do uso de produtos químicos sintéticos e o reaproveitamento de efluentes são estratégias sustentáveis que visam reduzir a pegada ecológica da produção aquícola (FAO, 2022). Nesse contexto, a implementação de sistemas de recirculação (RAS – *Recirculating Aquaculture Systems*) representa um avanço tecnológico capaz de manter a qualidade química da água e otimizar o uso de nutrientes, diminuindo perdas e contaminações (Tavares-dias; Moraes, 2017).

Além disso, a sustentabilidade química na piscicultura envolve o monitoramento contínuo dos parâmetros físico-químicos, com base em metodologias padronizadas por normas ambientais, como a Resolução CONAMA nº 357/2005, que estabelece os limites de substâncias químicas em corpos d'água. A análise periódica de metais pesados, compostos nitrogenados e fósforo permite identificar potenciais fontes de contaminação e ajustar práticas de manejo (BRASIL, 2005). Esse controle é fundamental para garantir que a produção aquícola seja ambientalmente segura e compatível com os princípios da química verde e da economia circular (Santos *et al.*, 2023).



Nesse sentido, integrar o conhecimento químico à gestão ambiental na piscicultura contribui para o desenvolvimento sustentável do setor, reduzindo custos produtivos e impactos negativos sobre ecossistemas aquáticos. A aplicação de técnicas analíticas e a interpretação de parâmetros químicos, aliadas à educação ambiental dos produtores, fortalecem a tomada de decisões baseadas em evidências científicas e em conformidade com as metas da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, especialmente os Objetivos 6 (Água Limpa e Saneamento) e 14 (Vida na Água) (ONU, 2015). Dessa forma, a química torna-se um instrumento essencial na busca por uma piscicultura sustentável, resiliente e ambientalmente responsável.

2.5 LEGISLAÇÃO E PADRÕES DE QUALIDADE DA ÁGUA

A gestão dos recursos hídricos está intrinsecamente ligada à criação e aplicação de instrumentos legais que assegurem a manutenção da qualidade da água para os diversos usos — consumo humano, irrigação, recreação e preservação da vida aquática. No Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997) é o principal marco legal que regulamenta o uso racional da água e institui os Comitês de Bacias Hidrográficas como instâncias participativas de gestão (Brasil, 1997). Essa legislação estabelece princípios como o uso múltiplo das águas e o reconhecimento de que este recurso é um bem público de valor econômico, devendo ser gerido de forma descentralizada e integrada (ANA, 2022).

No que se refere aos padrões de qualidade, a Resolução CONAMA nº 357/2005 é o instrumento normativo mais relevante. Ela classifica os corpos de água em classes (de 1 a 4, no caso das águas doces) e define limites máximos para substâncias químicas, físicas e biológicas, de acordo com o uso pretendido (Brasil, 2005). A norma estabelece, por exemplo, valores de referência para parâmetros como pH, oxigênio dissolvido, turbidez, condutividade elétrica, amônia, nitrito, nitrato e metais pesados, sendo esses critérios fundamentais para a avaliação ambiental e o licenciamento de empreendimentos (Tundisi; Matsumura-tundisi, 2018).

A aplicação desses padrões é essencial para garantir a sustentabilidade ambiental e prevenir a degradação dos ecossistemas aquáticos. Segundo Esteves (2011), a alteração das características químicas e físicas da água, muitas vezes causada por atividades antrópicas, como o lançamento de efluentes e o uso intensivo de fertilizantes, pode comprometer o equilíbrio ecológico e a disponibilidade do recurso. Dessa forma, a legislação ambiental atua como instrumento de controle e mitigação dos impactos, estabelecendo limites e parâmetros que devem ser constantemente monitorados (Silva; Souza, 2020).

Além das normas nacionais, o Brasil adota padrões internacionais de qualidade da água como referência, especialmente os definidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA). Esses organismos internacionais oferecem diretrizes



sobre contaminantes químicos, microbiológicos e radiológicos, reforçando a importância de uma abordagem global e científica na gestão da água (WHO, 2022). A integração entre as normas nacionais e internacionais permite harmonizar metodologias de análise e fortalecer a segurança hídrica frente às mudanças climáticas e à expansão das atividades econômicas (FAO, 2022).

Por fim, a efetividade da legislação e dos padrões de qualidade da água depende da capacidade institucional de monitoramento e fiscalização, aliada à participação da sociedade civil e dos usuários de recursos hídricos. Segundo Tucci (2017), a governança hídrica requer um modelo de gestão participativo e baseado em evidências, que promova o equilíbrio entre desenvolvimento econômico e conservação ambiental. Assim, a aplicação rigorosa das normas de qualidade da água torna-se um pilar essencial da sustentabilidade e da proteção dos ecossistemas aquáticos, contribuindo diretamente para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, especialmente o ODS 6, que visa assegurar a disponibilidade e o manejo sustentável da água para todos (ONU, 2015).

2.6 SUSTENTABILIDADE E GESTÃO DA ÁGUA EM SISTEMAS DE PISCICULTURA

A gestão sustentável da água na piscicultura representa um dos maiores desafios da aquicultura moderna, especialmente em regiões tropicais como a Amazônia, onde a abundância hídrica nem sempre significa qualidade adequada. A água é o principal insumo dos sistemas de produção aquícola, sendo responsável pela manutenção das condições físico-químicas e biológicas necessárias ao crescimento dos peixes (Souza, 2017). A sustentabilidade desse recurso implica não apenas a disponibilidade quantitativa, mas também o controle da qualidade da água, que envolve parâmetros como pH, oxigênio dissolvido, turbidez, amônia, nitrito, nitrato e dureza total (Santos, 2022). A degradação desses parâmetros está diretamente associada à poluição orgânica e ao manejo inadequado dos sistemas produtivos.

Nos sistemas intensivos de piscicultura, a gestão da água deve integrar princípios de química ambiental, engenharia sanitária e ecologia aplicada, a fim de evitar a eutrofização e o acúmulo de compostos tóxicos. Segundo Pádua *et al.* (2020), o monitoramento periódico dos parâmetros físico-químicos permite prever desequilíbrios e orientar intervenções corretivas, como renovação parcial da água ou aumento da aeração. A ausência de um controle eficaz pode gerar impactos ambientais relevantes, como o esgotamento de oxigênio e a liberação de gases nocivos (NH_3 e H_2S), comprometendo tanto a produtividade quanto o equilíbrio ecológico do sistema. Assim, o uso racional da água é uma condição indispensável para a sustentabilidade da piscicultura.

A adoção de sistemas de recirculação de água (RAS – *Recirculating Aquaculture Systems*) tem se destacado como alternativa sustentável, ao permitir o reaproveitamento da água após processos de filtragem biológica e química. Conforme Tavares-Dias e Moraes (2017), essa tecnologia reduz significativamente o consumo hídrico e minimiza a descarga de efluentes no meio ambiente,



promovendo uma produção mais limpa. Além disso, a utilização de biofiltros, sedimentadores e plantas aquáticas em sistemas integrados favorece a remoção natural de nutrientes e sólidos suspensos, alinhando-se aos princípios da economia circular e da química verde (Santos *et al.*, 2023).

A sustentabilidade hídrica em sistemas de piscicultura também está amparada por legislações ambientais, como a Resolução CONAMA nº 357/2005, que estabelece os padrões de qualidade da água para corpos hídricos de diferentes classes (Brasil, 2005). O cumprimento desses parâmetros é essencial para garantir que os efluentes dos tanques não causem degradação ambiental, além de assegurar que a água utilizada esteja em conformidade com padrões sanitários adequados. Segundo Silva *et al.* (2021), a implementação de planos de monitoramento baseados em indicadores de qualidade da água constitui ferramenta estratégica para a gestão adaptativa e preventiva da piscicultura, permitindo reduzir custos e riscos ambientais.

Por fim, a gestão sustentável da água na piscicultura requer uma abordagem sistêmica que combine tecnologia, conhecimento científico e práticas de manejo ecológico. A integração entre produtores, pesquisadores e órgãos ambientais é fundamental para consolidar políticas públicas que promovam o uso eficiente dos recursos hídricos e a conservação dos ecossistemas aquáticos (FAO, 2022). Dessa forma, a sustentabilidade na piscicultura vai além da produtividade: envolve responsabilidade socioambiental, mitigação de impactos e alinhamento aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 6 e 14), que preconizam o acesso à água limpa e a conservação da vida aquática (ONU, 2015).

3 METODOLOGIA

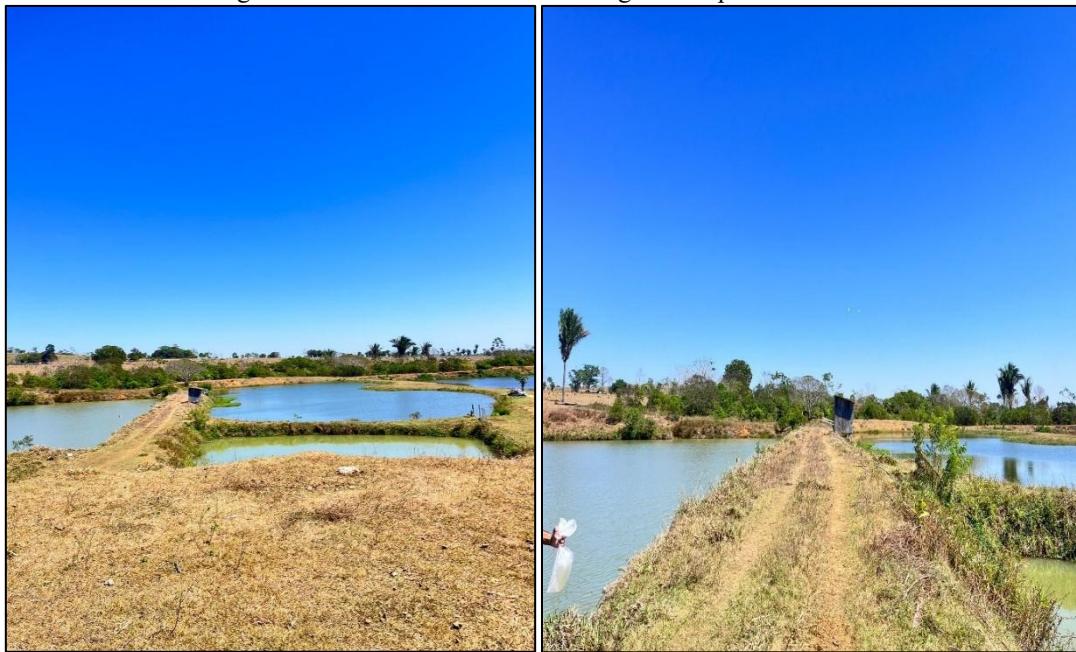
3.1 LOCAL DE COLETA DAS AMOSTRAS

O presente estudo foi conduzido em cinco pontos de amostragem, designados como P01, P02, P03, P04 e P05, situados no estado de Rondônia, Brasil, nas proximidades das coordenadas geográficas 9,75009° S e 62,90332° O, referenciadas ao datum SIRGAS-2000. As coletas foram realizadas entre os dias 14 e 15 de agosto de 2025, em uma propriedade rural localizada na zona rural de Ariquemes, sentido ao município de Rio Crespo (RO).

A área de estudo insere-se em uma região caracterizada por intensa atividade agropecuária, com a presença de tanques destinados ao cultivo de peixes, que constituíram o objeto principal de análise deste trabalho.



Figura 1 – Área da coleta das amostragens dos pontos 01 a 05



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

A seleção dos pontos de amostragem, identificados como P01 a P05, baseou-se na representatividade espacial do ambiente hídrico e na possibilidade de detecção de variações na qualidade da água ao longo do gradiente de fluxo superficial entre os tanques. Cada ponto foi georreferenciado com auxílio de receptor GPS e posteriormente mapeado em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (QGIS), assegurando precisão posicional, rastreabilidade espacial e reproduzibilidade dos dados obtidos.

Durante a coleta de amostragem, buscou-se caracterizar os principais constituintes químicos e biológicos presentes nas águas dos tanques de cultivo analisados, de modo a obter um diagnóstico detalhado da qualidade da água na área estudada.

As análises laboratoriais contemplaram um conjunto abrangente de parâmetros físico-químicos e microbiológicos, incluindo alcalinidade total, alumínio, arsênio, cádmio, chumbo, cobre, coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), fósforo total, mercúrio, níquel, nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total, sólidos totais dissolvidos, pH e zinco total, entre outros.

Essa abordagem metodológica permitiu integrar as informações espaciais e analíticas, possibilitando uma avaliação mais robusta da distribuição dos parâmetros físico-químicos e biológicos e de seus potenciais correlações com as atividades antrópicas desenvolvidas na área rural estudada.

3.2 PROCEDIMENTOS DE AMOSTRAGEM

A amostragem foi planejada com o objetivo de garantir a representatividade e a integridade das amostras de água provenientes dos tanques de cultivo de peixes. As coletas foram realizadas sob



condições meteorológicas estáveis, evitando períodos de precipitação intensa que pudessem comprometer a qualidade e a homogeneidade dos dados obtidos.

A coleta da água foi efetuada na camada sub-superficial dos tanques, a aproximadamente 20 a 30 centímetros de profundidade, evitando regiões de remanso, margens e áreas com acúmulo de sedimentos, de modo a assegurar que as amostras refletissem as condições reais do corpo hídrico utilizado para o cultivo.

Figura 2 – coleta das amostragens dos pontos 01 a 05



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

As amostras destinadas à análise de condutividade elétrica e turbidez foram acondicionadas em frascos plásticos limpos de 500mL, enquanto aquelas destinadas à verificação de óleos e graxas (análise qualitativa) foram armazenadas em frascos âmbar de mesmo volume. Para a avaliação de materiais flutuantes, utilizaram-se frascos de vidro transparente, o que possibilitou a inspeção visual direta das amostras.

Durante todo o processo, as amostras foram mantidas em caixas térmicas contendo gelo, a uma temperatura controlada de $4 \pm 2^{\circ}\text{C}$, e transportadas ao laboratório em um intervalo máximo de 24 horas após a coleta. As medições de condutividade foram realizadas preferencialmente em campo ou imediatamente após a chegada ao laboratório, enquanto a análise de turbidez foi executada em até 24 horas, não excedendo o limite de 48 horas estabelecido pelos protocolos de qualidade.

3.3 PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS

As análises físico-químicas e biológicas foram conduzidas em conformidade com os procedimentos estabelecidos na 24^a edição do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (SMWW, 2023), garantindo padronização metodológica e rastreabilidade dos resultados. Ressalta-se que os ensaios físico-químicos de menor complexidade foram realizados no Laboratório



Multifuncional do Centro Universitário FAEMA (UNIFAEMA), enquanto análises complementares seguiram fluxo laboratorial externo (laboratório qualita) para assegurar rigor técnico e de confiabilidade dos dados obtidos.

O conjunto de ensaios contemplou parâmetros representativos da qualidade da água em tanques de cultivo de peixes, incluindo condutividade elétrica, turbidez, materiais flutuantes, óleos e graxas, coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), pH, sólidos totais dissolvidos, fósforo total, nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total, metais (alumínio, cobre, chumbo, cádmio, níquel, arsênio, mercúrio, zinco) e alcalinidade total, entre outros parâmetros complementares.

A Condutividade Específica a 25 °C foi determinada conforme o Método 2510 B, baseado na medição da condutância elétrica da amostra normalizada para 25 °C. As medições foram realizadas em condutivímetro devidamente calibrado e equipado com compensação automática de temperatura (ATC), utilizando soluções-padrão rastreáveis de 84, 1.413 e 12.880 µS/cm. O limite de quantificação (LQ) adotado foi de 2,22 µS/cm, e a incerteza expandida (U95%) de ± 2,11 µS/cm, garantindo precisão metrológica adequada ao tipo de matriz analisada.

A Turbidez foi quantificada de acordo com o Método 2130 B (Nefelométrico), utilizando um turbidímetro calibrado com padrões de formazina, com medições baseadas na dispersão de luz a 90°. Os resultados foram expressos em Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU), com padrões de calibração de 0, 20 e 100 NTU. O método apresentou limite de quantificação (LQ) de 3,04 NTU e incerteza expandida (U95%) de ± 2,80 NTU.

As determinações de Materiais Flutuantes e Óleos e Graxas (análise qualitativa) foram realizadas conforme o Método 2110, por avaliação visual direta sob iluminação difusa, verificando-se a presença de espumas, sólidos em suspensão ou películas oleosas na superfície da amostra. Os resultados foram expressos qualitativamente como Presente (P) ou Ausente (A).

As análises de coliformes termotolerantes foram conduzidas segundo o Método 9221 E, empregando o sistema de fermentação em tubos múltiplos, com incubação a 44,5 °C, a fim de estimar o Número Mais Provável (NMP/100 mL). Os parâmetros DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e DQO (Demanda Química de Oxigênio) seguiram, respectivamente, os Métodos 5210 B e 5220 D, que avaliam o consumo de oxigênio associado à degradação da matéria orgânica.

As determinações de nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato e nitrogênio total foram realizadas pelos Métodos 4500-NH₃ B e C, 4500-NO₃⁻ B e 4500-NO₂⁻ B, enquanto o fósforo total foi quantificado pelo Método 4500-P B & E, utilizando espectrofotometria molecular. A alcalinidade total foi medida de acordo com o Método 2320 B, por titulação com ácido sulfúrico padronizado.



Os metais (alumínio, cobre, chumbo, cádmio, níquel, arsênio, mercúrio e zinco) foram determinados conforme o Método 3111 B, por espectrometria de absorção atômica com chama ou forno de grafite, utilizando padrões certificados e curva de calibração linear.

Esses procedimentos analíticos, conduzidos sob rígidos protocolos de qualidade metrológica e controle analítico (QA/QC), asseguraram a confiabilidade dos resultados e permitiram uma avaliação abrangente das condições físico-químicas e biológicas da água nos tanques de cultivo. Tal abordagem possibilitou identificar potenciais influências antrópicas, desequilíbrios ambientais e implicações para a sustentabilidade dos sistemas aquícolas monitorados.

3.4 CONTROLE DE QUALIDADE E VALIDAÇÃO DOS DADOS

O controle de qualidade analítico incluiu calibrações diárias dos equipamentos, verificações intermediárias a cada dez amostras e verificação final ao término das análises. Foram também realizados testes com padrões de controle cuja recuperação variou entre 90% e 110%, e repetições sempre que o desvio entre leituras ultrapassava 10%. As duplicatas apresentaram diferença relativa (RPD) inferior a 10% para turbidez e a 5% para condutividade, assegurando a reprodutibilidade dos resultados.

Os resultados foram expressos considerando o limite de quantificação (LQ) e a incerteza expandida (U95%). Valores inferiores ao LQ foram reportados como “< LQ”, conforme critérios do método. Assim, no ponto P09, a turbidez foi registrada como < 3,04 NTU, indicando que o valor medido se encontra abaixo do limite de quantificação.

De modo geral, os resultados mostraram condutividade específica variando entre 29,65 µS/cm e 106,80 µS/cm, turbidez entre < 3,04 NTU e 22,90 NTU, e ausência de materiais flutuantes e óleos e graxas em todos os pontos analisados.

Os ensaios realizados seguiram rigorosamente os princípios de rastreabilidade metrológica e controle da qualidade, assegurando a confiabilidade dos resultados apresentados. Todas as análises foram executadas conforme normas internacionalmente reconhecidas, permitindo a comparação com padrões de qualidade da água estabelecidos em legislações ambientais, como a Resolução CONAMA nº 357/2005.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos ensaios físico-químicos e qualitativos realizados no Ponto de Amostragem P01 evidenciam condições ambientais favoráveis, com baixa influência de poluição antrópica e parâmetros compatíveis com um ambiente de boa qualidade hídrica. Tais informações podem ser consultadas no Quadro 1, que apresenta os resultados obtidos para o Ponto de Amostragem P01.



Quadro 1 – Resultados dos ensaios físico-químicos e qualitativos – Ponto de Amostragem P01

Ensaio	Resultado	Unidade	Valor Lido	LQ	U95%	Método / Referência	Início	Término
Condutividade Específica a 25 °C	63,20	µS/cm	63,20	2,22	2,11	SMWW, 24 ^a ed. 2023, Método 2510 B	14/08/2025	14/08/2025
Materiais Flutuantes	Ausente	P/A	Ausente	–	–	SMWW, 24 ^a ed. 2023, Método 2110	15/08/2025	15/08/2025
Óleos e Graxas (qualitativo)	Ausente	P/A	Ausente	–	–	SMWW, 24 ^a ed. 2023, Método 2110	15/08/2025	15/08/2025
Turbidez	22,90	NTU	22,90	3,04	2,80	SMWW, 24 ^a ed. 2023, Método 2130 B	14/08/2025	14/08/2025

Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Conforme apresentado no quadro 01, observa-se a ausência de materiais flutuantes e de óleos e graxas, o que indica, que não há descargas visíveis de resíduos oleosos ou sólidos flutuantes no local, o que normalmente está associado à boa preservação das margens e ausência de despejos clandestinos (Von Sperling, 2014). Esse parâmetro é essencial para a manutenção dos processos ecológicos aquáticos, uma vez que a presença desses contaminantes pode comprometer trocas gasosas e causar impactos à biota (Esteves, 2011).

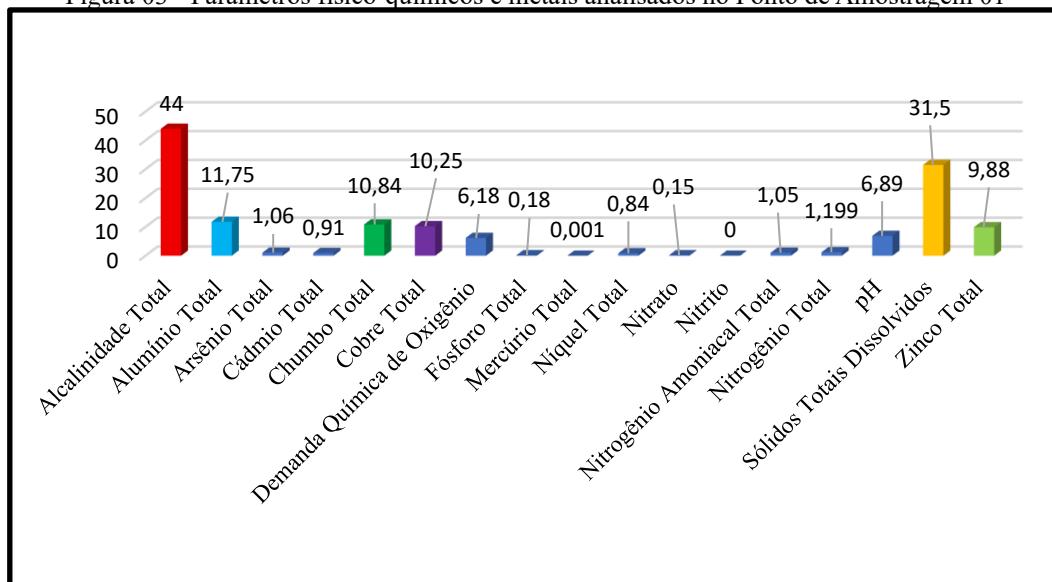
A turbidez registrada (22,90 NTU) sugere a presença de partículas em suspensão, possivelmente decorrentes da dinâmica natural do corpo hídrico, como erosão do solo e aporte de matéria orgânica particulada (CETESB, 2023). Embora esteja acima do limite de 5 NTU recomendado para águas destinadas ao consumo após tratamento simplificado (Brasil, 2005), o valor não representa, isoladamente, indicativo de poluição, podendo refletir intensificação de processos hidrossedimentares locais, especialmente em períodos chuvosos.

A condutividade elétrica específica de 63,20 µS/cm aponta para águas de baixa mineralização, o que é característico de ambientes com reduzida circulação de íons dissolvidos e pequena influência de efluentes domésticos ou industriais (Libânio, 2022). Valores abaixo de 100 µS/cm são frequentemente associados a ambientes bem preservados ou com pouco aporte antrópico (Cunha *et al.*, 2019), corroborando a interpretação preliminar de boa qualidade no P01.

Assim, a integração desses parâmetros revela um corpo hídrico com características compatíveis com áreas ambientalmente conservadas, sem indícios significativos de contaminação orgânica ou química. Contudo, os valores de sólidos em suspensão apontam para a necessidade de monitoramento contínuo, a fim de identificar possíveis fontes de aporte. Esses resultados podem ser visualizados na Figura 03, que apresenta o percentual dos parâmetros físico-químicos e metais analisados no Ponto de Amostragem 01.



Figura 03 - Parâmetros físico-químicos e metais analisados no Ponto de Amostragem 01



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

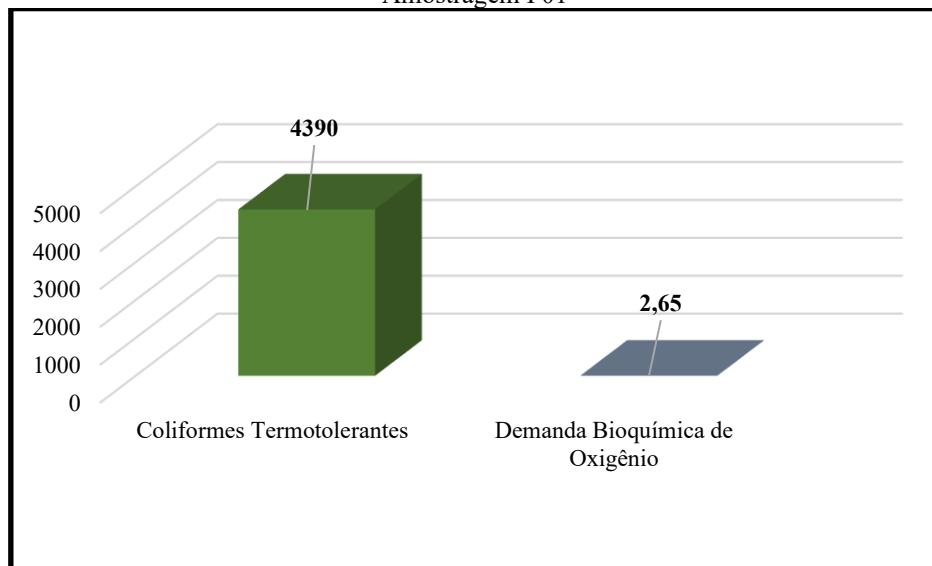
Os resultados do ponto P01 apresentam indicadores importantes da qualidade ambiental do corpo hídrico analisado. A alcalinidade total de 44 mg/L sugere capacidade intermediária de tamponamento, contribuindo para a estabilidade do pH, que se manteve dentro dos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 (pH 6,89), caracterizando condições favoráveis à manutenção da biota aquática (Von Sperling, 2014; Brasil, 2005).

Parâmetros como a DQO (10,25 mg/L) e os sólidos dissolvidos totais (1,19 mg/L) demonstram baixa presença de matéria orgânica e reduzida mineralização, reforçando a ideia de mínima influência de fontes de poluição antrópica, como efluentes domésticos e industriais (Cetesb, 2023; Libânia, 2022). Esses resultados, associados aos demais ensaios físico-químicos do ponto, indicam boa qualidade geral da água.

Entretanto, os metais alumínio (11,75 mg/L), cobre (10,84 mg/L), zinco (9,88 mg/L) e arsênio (1,06 mg/L) demandam atenção, pois, apesar de parte desses elementos poder ter origem natural, podem acarretar riscos ecotoxicológicos quando acima de concentrações seguras (Esteves, 2011; Cunha *et al.*, 2019; Tchounwou *et al.*, 2012).

Nesse sentido, o monitoramento contínuo torna-se essencial para prevenir potenciais impactos ambientais, bem como garantir a proteção da saúde humana e a manutenção do equilíbrio dos ecossistemas aquáticos. Os resultados que evidenciam essa necessidade podem ser observados na Figura 04, a qual apresenta os valores referentes a Coliformes Termotolerantes e à Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) no Ponto de Amostragem P01.

Figura 04 - Resultados de Coliformes Termotolerantes e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) no Ponto de Amostragem P01



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Os resultados referentes à qualidade microbiológica e ao consumo de oxigênio no P01 demonstram atenção especial quanto aos coliformes termotolerantes, que apresentaram valor de 4.390 NMP/100 mL, indicando forte contaminação de origem fecal. Esse parâmetro representa um dos principais indicadores de poluição sanitária, podendo estar associado ao lançamento de esgotos ou fezes de animais na área de drenagem, o que representa risco à saúde pública e desequilíbrio ecológico (Von Sperling, 2014; CETESB, 2023). De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, valores tão elevados restringem o uso da água para atividades de contato primário, sendo necessária investigação e ações mitigadoras.

Por outro lado, a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) de 2,65 mg/L encontra-se dentro do limite recomendado para águas de Classe 2, caracterizando baixa carga de matéria orgânica biodegradável (Brasil, 2005). Esse dado sugere que, embora haja contaminação microbiológica, não há aportes expressivos de efluentes ricos em matéria orgânica oxidável, o que mantém o nível de oxigênio disponível mais adequado à biota aquática.

Assim, a discrepância observada entre os valores de DBO e coliformes termotolerantes reforça a importância do monitoramento sistemático e do controle das possíveis fontes de contaminação fecal, de modo a preservar a integridade ambiental e assegurar os usos múltiplos do recurso hídrico. Esses aspectos podem ser melhor compreendidos por meio do Quadro 02, que apresenta a avaliação dos parâmetros físico-químicos preliminares no Ponto de Amostragem P02.



Quadro 02 – Avaliação dos Parâmetros Físico-Químicos Preliminares no Ponto de Amostragem P02

Ensaio	Resultado / Valor Lido	Unidade	LQ	U95%	Método / Referência	Início	Término
Condutividade Específica a 25 °C	29,65	µS/cm	2,22	2,11	SMWW, 24ª ed. 2023 – Método 2510 B	14/08/2025	14/08/2025
Materiais Flutuantes	Ausente	P/A	–	–	SMWW, 24ª ed. 2023 – Método 2110	15/08/2025	15/08/2025
Óleos e Graxas (qualitativo)	Ausente	P/A	–	–	SMWW, 24ª ed. 2023 – Método 2110	15/08/2025	15/08/2025
Turbidez	8,30	NTU	3,04	2,80	SMWW, 24ª ed. 2023 – Método 2130 B	14/08/2025	14/08/2025

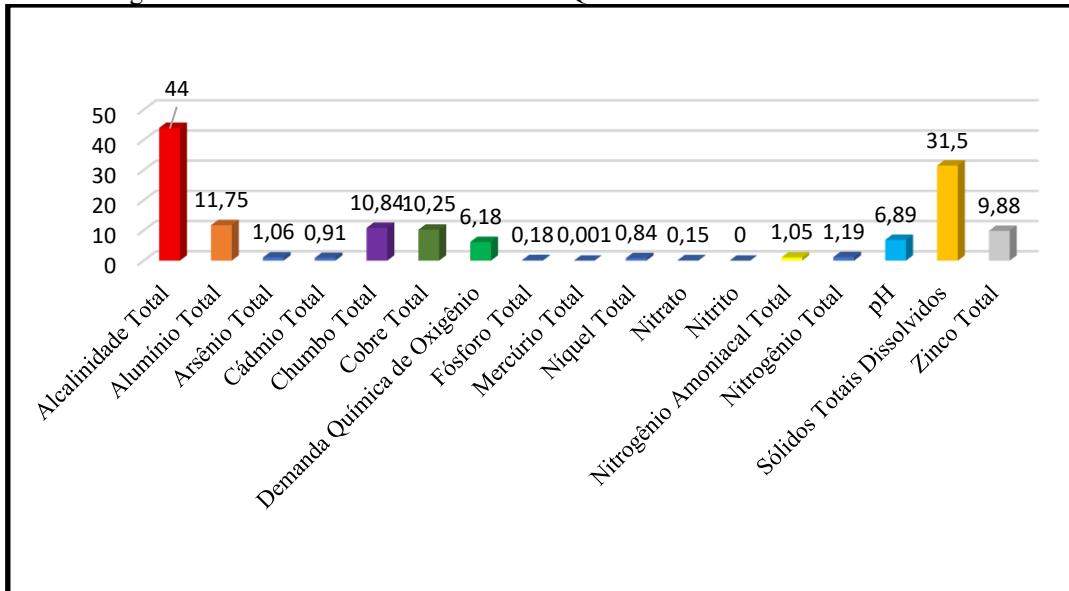
Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Os resultados físico-químicos obtidos no ponto P02 indicam um ambiente aquático com baixa influência antrópica. A condutividade elétrica específica apresentou valor de 29,65 µS/cm, caracterizando baixa concentração de íons dissolvidos, situação típica de corpos hídricos preservados ou com mínima pressão de escoamento superficial de áreas urbanas e agrícolas (Von Sperling, 2014). Além disso, a turbidez de 8,30 NTU sugere presença moderada de partículas em suspensão, possivelmente relacionadas a processos naturais de erosão ou aporte de matéria orgânica particulada, sem indícios de degradação acentuada da qualidade da água (CETESB, 2023).

A ausência de materiais flutuantes e de óleos e graxas reforça a ausência de contaminação visual e derramamentos de resíduos oleosos, indicando boas condições ambientais e ausência de despejos clandestinos nessa região de coleta (Esteves, 2011). Dessa forma, a integração dos parâmetros analisados evidencia um cenário que, até o momento, não indica impactos significativos sobre a qualidade da água, embora a manutenção do monitoramento seja essencial para acompanhar possíveis variações sazonais e eventuais interferências futuras. Esses resultados podem ser visualizados na Figura 05, que apresenta os valores dos parâmetros físico-químicos e metais totais no Ponto de Amostragem 02.



Figura 05 – Valores dos Parâmetros Físico-Químicos e Metais Totais no Ponto 02



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Os resultados observados no Ponto P02 demonstram uma condição geral favorável da qualidade da água, com alcalinidade total de 44 mg/L e pH próximo à neutralidade (6,89), o que está em conformidade com padrões naturais de corpos hídricos amazônicos descritos por Esteves (2011). Pesquisas realizadas em rios de áreas preservadas na bacia do Rio Madeira apresentaram faixas semelhantes para esses parâmetros, indicando baixa influência antrópica e equilíbrio hidroquímico (Gonçalves *et al.*, 2018).

A baixa concentração de nitrogênio total (1,05 mg/L) e de fósforo total (0,18 mg/L) reforça a ausência de aporte excessivo de nutrientes, sugerindo mínima contribuição de efluentes domésticos e agrícolas, em concordância com resultados de Cunha *et al.* (2019) em ecossistemas aquáticos de menor urbanização.

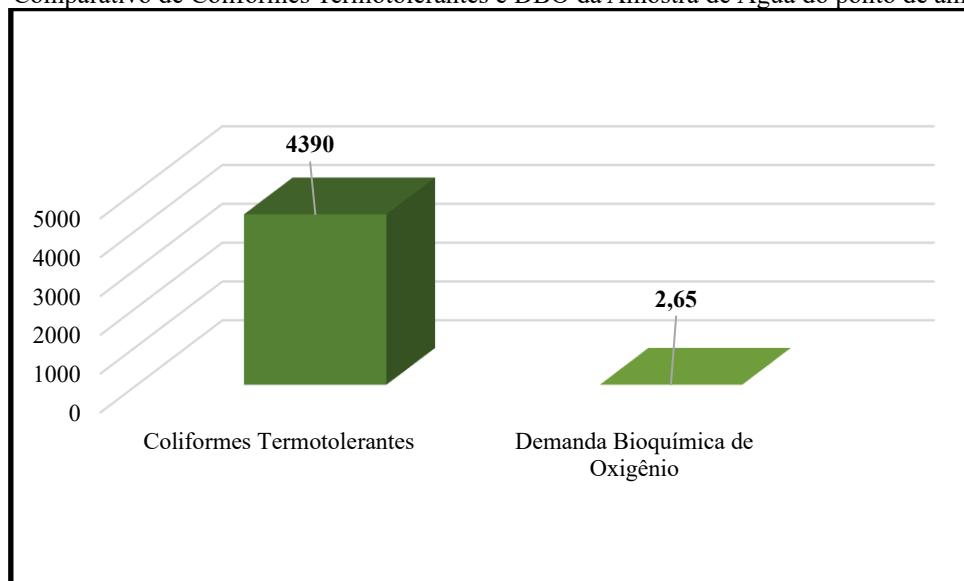
Em contrapartida, elementos como o alumínio (11,75 mg/L), o zinco (9,88 mg/L) e o cobre (10,84 mg/L) apresentaram valores acima dos registrados em estudos de referência para rios amazônicos pouco impactados (Silva *et al.*, 2020), o que pode estar associado tanto a processos geogênicos — como intemperismo de solos lateríticos ricos em minerais metálicos — quanto a fontes externas pontuais, como deposição de resíduos ou carreamento superficial em períodos de maior pluviosidade. Embora o mercúrio total (0,001 mg/L) e o cádmio (0,91 mg/L) permaneçam com concentrações reduzidas, a detecção de arsênio (1,06 mg/L) reforça a importância do monitoramento contínuo, pois este elemento é frequentemente citado na literatura como potencial contaminante de origem geológica com risco ecotoxicológico (Tchounwou *et al.*, 2012).

Assim, a comparação com outros estudos demonstra que, embora a qualidade físico-química geral se mantenha satisfatória, a elevação de determinados metais requer atenção preventiva, de modo a mitigar possíveis riscos ambientais futuros. Esses aspectos podem ser observados na Figura 06, a



qual apresenta o comparativo dos valores de Coliformes Termotolerantes e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) no Ponto de Amostragem 02.

Figura 06 – Comparativo de Coliformes Termotolerantes e DBO da Amostra de Água do ponto de amostragem 02



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Os resultados mostraram 4.390 NMP/100 mL de coliformes termotolerantes, valor acima dos limites da CONAMA 357/2005, que estabelece até 1.000 NMP/100 mL para águas de classe 2 e 4.000 NMP/100 mL para classe 3, indicando forte contaminação fecal. Estudos semelhantes reforçam esse diagnóstico: Santos e Monteiro (2019) registraram entre 3.200 e 12.900 NMP/100 mL em rios urbanos amazônicos, enquanto Fonseca *et al.* (2020) observaram 2.500 a 15.000 NMP/100 mL em igarapés afetados por esgoto doméstico, relacionando esses valores à ocupação desordenada e ausência de saneamento. Assim, o resultado obtido é coerente com a literatura e reflete influência antrópica direta sobre o corpo hídrico.

Já a DBO (2,65 mg L⁻¹) ficou dentro dos padrões para águas de classes 1 e 2 (≤ 3 e ≤ 5 mg L⁻¹), indicando baixa carga de matéria orgânica biodegradável. Oliveira *et al.* (2021) também observaram DBO entre 2,1 e 4,4 mg L⁻¹ em áreas urbanizadas, destacando que contaminação microbiológica pode ocorrer mesmo com DBO reduzida, quando há aporte recente de esgoto. Esse comportamento é explicado por Libânia (2010), que afirma que a poluição fecal eleva rapidamente indicadores bacterianos, sem necessariamente aumentar a DBO no curto prazo.

Desse modo, os resultados apontam para um quadro de contaminação recente de origem doméstica, tornando a água imprópria para consumo e atividades recreativas, conforme ressaltado por Di Bernardo e Dantas (2005). Esses resultados podem ser melhor visualizados no Quadro 03, que apresenta os resultados dos ensaios físico-químicos e qualitativos referentes ao Ponto de Amostragem 03.



Quadro 03 - Resultados dos Ensaios Físico-Químicos e Qualitativos – Ponto de Amostragem 03

Ensaios	Resultado / Valor Lido	Unidade	LQ	U95%	Método / Referência	Início	Término
Condutividade Específica a 25 °C	30,20	µS/cm	2,22	2,11	SMWW, 24ª ed. 2023 – Método 2510 B	14/08/2025	14/08/2025
Materiais Flutuantes	Ausente	P/A	–	–	SMWW, 24ª ed. 2023 – Método 2110	15/08/2025	15/08/2025
Óleos e Graxas (qualitativo)	Ausente	P/A	–	–	SMWW, 24ª ed. 2023 – Método 2110	15/08/2025	15/08/2025
Turbidez	19,09	NTU	3,04	2,80	SMWW, 24ª ed. 2023 – Método 2130 B	14/08/2025	14/08/2025

Fonte: Elaborado pela autora (2025)

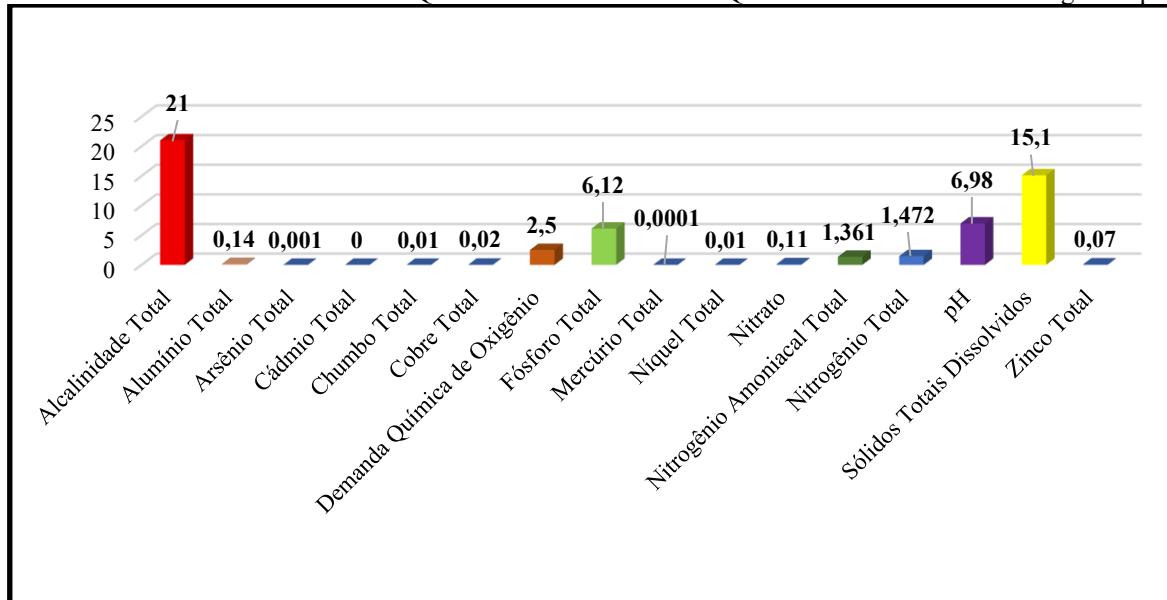
Conforme apresentado no quadro 03 os resultados evidenciaram 4.390 NMP/100 mL de coliformes termotolerantes, valor que ultrapassa os limites estabelecidos pela CONAMA 357/2005 para águas de classe 2 (1.000 NMP/100 mL) e até mesmo de classe 3 (4.000 NMP/100 mL), indicando contaminação fecal significativa e possível lançamento de esgoto doméstico in natura no corpo hídrico.

Esses resultados são consistentes com estudos realizados em ambientes urbanos da Amazônia, onde Santos e Monteiro (2019) relataram valores entre 3.200 e 12.900 NMP/100 mL, e Fonseca et al. (2020) observaram concentrações de 2.500 a 15.000 NMP/100 mL em igarapés com baixa cobertura de saneamento. Em contrapartida, a DBO ($2,65 \text{ mg L}^{-1}$) manteve-se dentro do padrão para águas de classes 1 e 2 ($\leq 3 \text{ e } \leq 5 \text{ mg L}^{-1}$), sugerindo baixa carga de matéria orgânica biodegradável, o que pode indicar contaminação recente, já que a elevação de coliformes pode ocorrer antes de aumento significativo da DBO (Libânio, 2010).

Assim, embora a amostra apresente uma condição oxidativa moderada, a qualidade microbiológica encontra-se comprometida, oferecendo riscos à saúde e tornando o uso da água inadequado para consumo e recreação (Di Bernardo & Dantas, 2005). Esses resultados podem ser observados na Figura 07, que apresenta os valores dos parâmetros físico-químicos e de metais totais quantificados na amostra de água do Ponto de Amostragem 03.



Figura 07 - Valores dos Parâmetros Físico-Químicos e de Metais Totais Quantificados na Amostra de Água no ponto 03



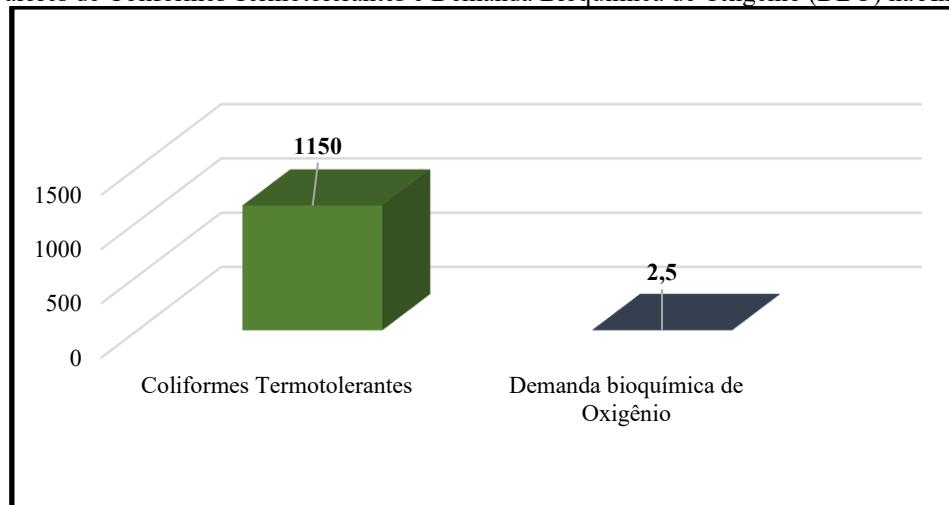
Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Os resultados dos parâmetros químicos mostraram que alguns valores atendem aos limites da CONAMA 357/2005, enquanto outros indicam possível influência antrópica. O Alumínio Total ($0,14 \text{ mg L}^{-1}$) apresentou-se acima do recomendado para classe 2, possivelmente relacionado à lixiviação do solo (ESTEVES, 2011). A DQO ($2,5 \text{ mg L}^{-1}$) permaneceu baixa, semelhante aos achados de Oliveira *et al.* (2021), indicando reduzida carga de matéria orgânica.

Em contraste, o Fósforo Total ($6,12 \text{ mg L}^{-1}$) excedeu amplamente o limite, sugerindo risco de eutrofização, conforme Silva e Araújo (2020). O pH (6,98) esteve dentro da faixa adequada (Libânio, 2010) e os STD ($15,1 \text{ mg L}^{-1}$) foram baixos, compatíveis com baixa influência industrial (Fonseca *et al.*, 2020).

Nesse sentido, embora determinados parâmetros indiquem condições ambientalmente favoráveis, ressalta-se a necessidade de atenção quanto aos teores elevados de fósforo e alumínio, que podem comprometer a qualidade do recurso hídrico. Esses aspectos podem ser visualizados na Figura 08, que apresenta os valores de Coliformes Termotolerantes e de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) na amostra de água analisada.

Figura 08 - Valores de Coliformes Termotolerantes e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) na Amostra de Água



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Os resultados biológicos evidenciaram 1.150 NMP/100 mL de coliformes termotolerantes e 2,5 mg L⁻¹ de DBO, indicando contaminação fecal moderada no corpo hídrico analisado. De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, o limite para coliformes em águas de classe 2 é de 1.000 NMP/100 mL, o que demonstra um leve excedente e sugere influência de esgoto doméstico ou aporte de resíduos orgânicos. Estudos realizados em ambientes semelhantes corroboram esse cenário: Santos e Monteiro (2019) identificaram valores entre 850 e 3.200 NMP/100 mL em rios urbanos com baixa cobertura de saneamento, enquanto Fonseca *et al.* (2020) também relacionaram concentrações acima de 1.000 NMP/100 mL à ocupação desordenada das margens.

Em contrapartida, o valor de DBO (2,5 mg L⁻¹) encontra-se dentro dos limites para águas de classe 1 e 2 (≤ 3 e ≤ 5 mg L⁻¹, respectivamente), sugerindo baixa carga de matéria orgânica biodegradável, semelhante aos achados de Oliveira *et al.* (2021), que observaram DBO entre 2,1 e 4,4 mg L⁻¹ em rios moderadamente impactados.

Assim, embora os valores de DBO indiquem condições aceitáveis de equilíbrio orgânico, os resultados para coliformes apontam risco microbiológico, reforçando a importância do monitoramento contínuo e da implementação de melhorias em saneamento básico, a fim de assegurar maior segurança sanitária da água. Esses aspectos podem ser observados no Quadro 04, que apresenta os resultados dos ensaios físico-químicos e qualitativos referentes ao Ponto de Amostragem P04.



Quadro 04 – Resultados dos Ensaios Físico-Químicos e Qualitativos – Ponto de Amostragem P04

Ensaio	Resultado / Valor Lido	Unidade	LQ	U95%	Método / Referência	Início	Término
Condutividade Específica a 25 °C	32,10	µS/cm	2,22	2,11	SMWW, 24ª ed. 2023 – Método 2510 B	14/08/2025	14/08/2025
Materiais Flutuantes	Ausente	P/A	–	–	SMWW, 24ª ed. 2023 – Método 2110	15/08/2025	15/08/2025
Óleos e Graxas (qualitativo)	Ausente	P/A	–	–	SMWW, 24ª ed. 2023 – Método 2110	15/08/2025	15/08/2025
Turbidez	2,71 (<LQ)	NTU	3,04	2,80	SMWW, 24ª ed. 2023 – Método 2130 B	14/08/2025	14/08/2025

Fonte: Elaborado pela autora (2025)

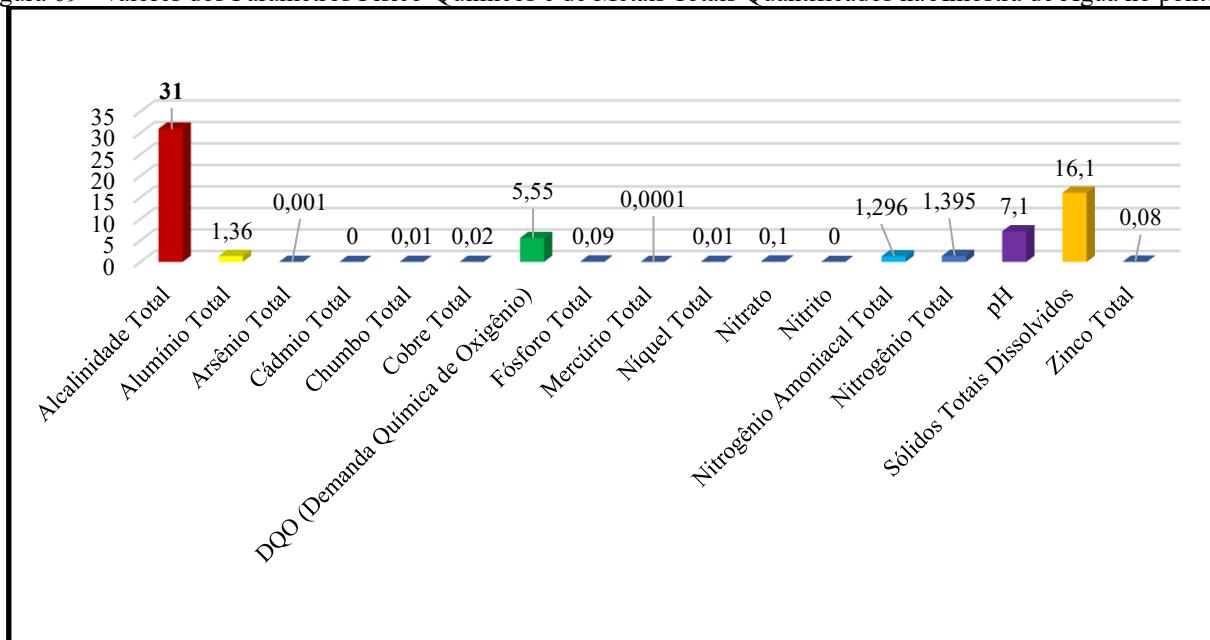
Os resultados obtidos no ponto de amostragem P04 indicam condição ambiental favorável quanto aos parâmetros físico-químicos e qualitativos avaliados. A condutividade elétrica (32,10 µS/cm) apresentou-se baixa, característica de águas com reduzida concentração de íons dissolvidos, o que sugere limitada influência antrópica e baixa mineralização, conforme comportamento descrito por Esteves (2011) para ambientes naturais bem preservados.

A ausência de materiais flutuantes e de óleos e graxas reforça a inexistência de poluição visual e de fontes significativas de contaminação por derivados de petróleo ou resíduos superficiais, alinhando-se aos achados de Fonseca *et al.* (2020) em áreas com menor impacto urbano. A turbidez (2,71 NTU) apresentou valor inferior ao limite de quantificação, indicando água com baixa presença de sólidos suspensos, o que favorece a penetração de luz e reduz potenciais efeitos negativos sobre a biota aquática.

Esses resultados indicam boa qualidade física da água no Ponto de Amostragem 04, evidenciando que, no momento da coleta, não foram constatados indicadores significativos de degradação ambiental. Esses dados podem ser visualizados na Figura 09, que apresenta os valores dos parâmetros físico-químicos e de metais totais quantificados na amostra de água do referido ponto.



Figura 09 - Valores dos Parâmetros Físico-Químicos e de Metais Totais Quantificados na Amostra de Água no ponto 04



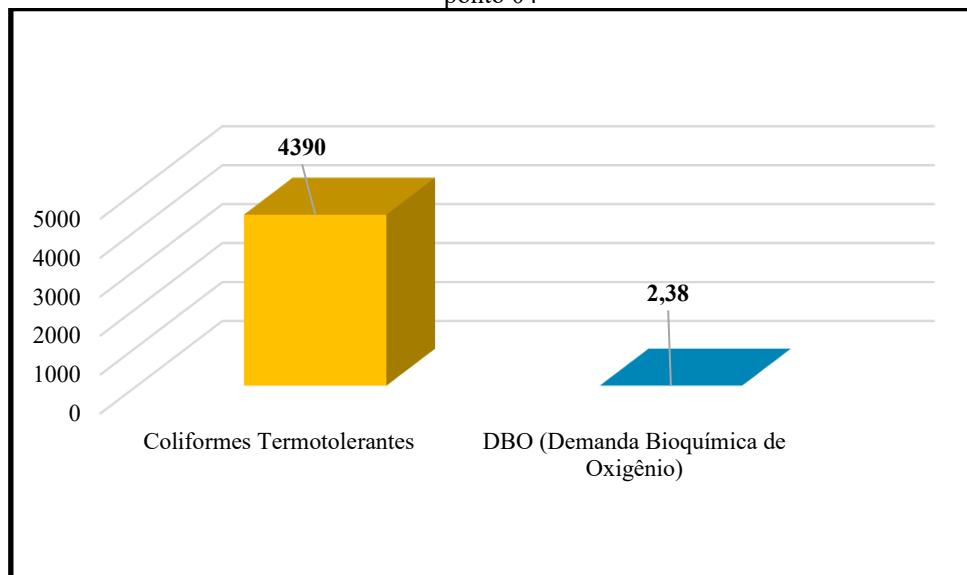
Fonte: Elaborado pela autora (2025)

A análise dos parâmetros evidencia condições físico-químicas que influenciam diretamente a qualidade da água. A alcalinidade elevada (31 mg/L) indica boa capacidade tamponante, favorecendo a estabilidade do pH, aspecto essencial para a vida aquática (Von Sperling, 2014). Os níveis de alumínio total (1,36 mg/L) e sólidos totais dissolvidos (16,1 mg/L) sugerem possível influência de fatores geológicos ou antrópicos, podendo afetar a biota aquática quando acima de limites de referência (Brasil, 2005).

A presença de fósforo total (5,55 mg/L) é indicativa de aporte externo, favorecendo processos de eutrofização, conforme descrito por Esteves (2011). Observa-se concentração moderada de nitrogênio amoniacal e nitrato, demonstrando possíveis processos de decomposição de matéria orgânica ou poluição difusa (kubitza, 2020).

Nesse sentido, a manutenção do pH em 7,1 caracteriza uma condição adequada para a sobrevivência e desenvolvimento dos organismos aquáticos, corroborando o equilíbrio do meio, conforme destaca Von Sperling (2014). Esses aspectos podem ser observados na Figura 10, que apresenta os valores de Coliformes Termotolerantes e de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) na amostra de água do Ponto 04.

Figura 10 - Valores de Coliformes Termotolerantes e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) na Amostra de Água do ponto 04



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

A figura 08 apresentam os resultados demonstram elevado índice de coliformes termotolerantes (4.390 NMP/100 mL), indicando contaminação fecal e potencial risco à saúde humana e ambiental, o que está associado à presença de micro-organismos patogênicos (VON SPERLING, 2014). A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece limites para águas destinadas a diferentes usos, e valores superiores aos permitidos refletem comprometimento da qualidade da água (Brasil, 2005). A DBO (2,38 mg/L) encontra-se dentro de valores aceitáveis, sugerindo baixa carga de matéria orgânica biodegradável, fator positivo para a manutenção do oxigênio dissolvido (Esteves, 2011).

Entretanto, mesmo com valores de DBO dentro de uma faixa moderada, a elevada concentração de coliformes pode estar relacionada a fontes pontuais ou difusas de esgoto não tratado (Kubitza, 2020). Nesse contexto, o monitoramento contínuo torna-se essencial para prevenir potenciais impactos sanitários e ecológicos. Esses aspectos podem ser verificados no Quadro 05, que apresenta os resultados dos ensaios físico-químicos e qualitativos referentes ao Ponto de Amostragem P05.

Quadro 5 – Resultados dos Ensaios Físico-Químicos e Qualitativos – Ponto de Amostragem P05

Ensaio	Resultado / Valor Lido	Unidade	LQ	U95%	Método / Referência	Início	Término
Condutividade Específica a 25 °C	106,80	µS/cm	2,22	2,11	SMWW, 24 ^a ed. 2023 – Método 2510 B	14/08/2025	14/08/2025
Materiais Flutuantes	Ausente	P/A	–	–	SMWW, 24 ^a ed. 2023 – Método 2110	15/08/2025	15/08/2025
Óleos e Graxas (qualitativo)	Ausente	P/A	–	–	SMWW, 24 ^a ed. 2023 – Método 2110	15/08/2025	15/08/2025
Turbidez	10,90	NTU	3,04	2,80	SMWW, 24 ^a ed. 2023 – Método 2130 B	14/08/2025	14/08/2025

Fonte: Elaborado pela autora (2025)

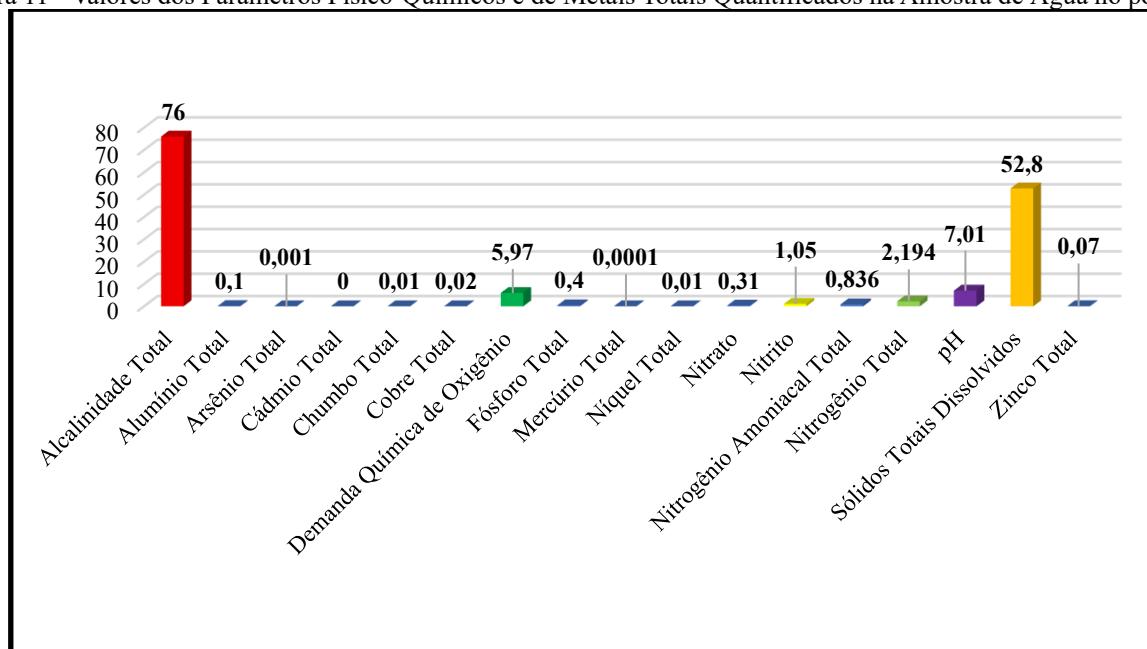


Conforme observado, os resultados do Ponto de Amostragem P05 indicam condições físico-químicas favoráveis e com baixa influência antrópica. A condutividade de 106,80 µS/cm revela baixa concentração de íons dissolvidos, característica de águas pouco mineralizadas, o que está de acordo com ambientes preservados (Batista, 2004). A ausência de materiais flutuantes e de óleos e graxas demonstra baixo aporte de resíduos superficiais, indicando mínima contaminação por efluentes urbanos ou industriais (Brasil, 2005).

A turbidez registrada (10,90 NTU) está dentro de limites aceitáveis para corpos d'água naturais, embora valores acima de 5 NTU já possam afetar a penetração de luz e a atividade fotossintética (Esteves, 2011).

Assim, o conjunto dos parâmetros analisados indica boa qualidade da água no Ponto de Amostragem 05, reforçando a importância do monitoramento contínuo para a manutenção desses padrões ao longo do tempo. Esses resultados podem ser visualizados na Figura 11, que apresenta os valores dos parâmetros físico-químicos e de metais totais quantificados na amostra de água do referido ponto.

Figura 11 - Valores dos Parâmetros Físico-Químicos e de Metais Totais Quantificados na Amostra de Água no ponto 05



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

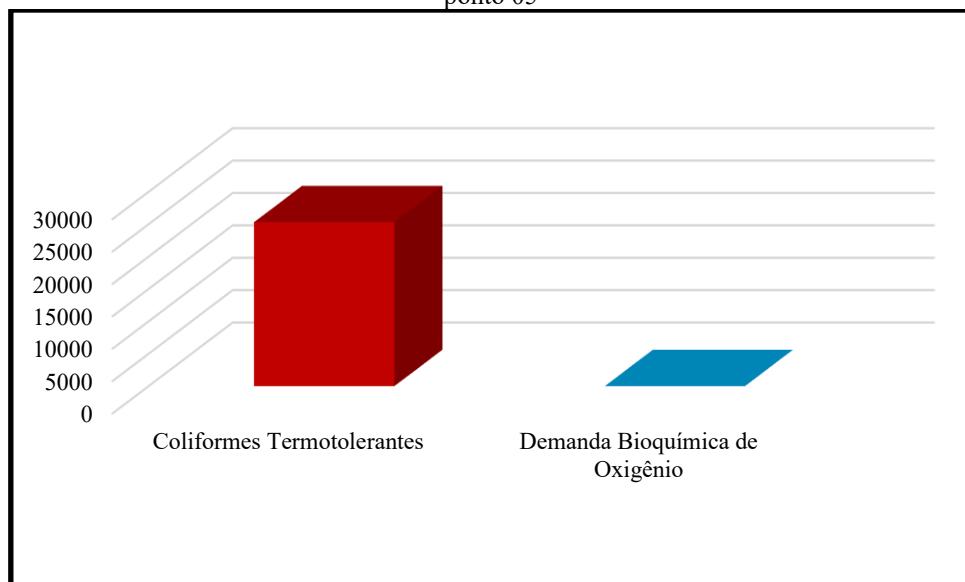
Os resultados evidenciam que a alcalinidade total (76 mg/L) se apresenta em faixa favorável para a estabilidade do pH, contribuindo para o equilíbrio químico do ecossistema aquático, uma vez que águas com boa capacidade tampão tendem a sofrer menores oscilações de acidez (VON SPERLING, 2014). O valor de fósforo total (5,97 mg/L) destaca-se como um ponto de atenção, pois concentrações acima do esperado podem induzir processos de eutrofização, favorecendo crescimento excessivo de algas e comprometendo a qualidade da água (Esteves, 2011).



A presença de sólidos totais dissolvidos (52,8 mg/L) sugere aporte de matéria orgânica e/ou mineral, podendo influenciar a transparência e, consequentemente, o metabolismo dos organismos aquáticos (KUBITZA, 2020). Quanto aos metais, embora alumínio, cobre e zinco apresentem concentrações reduzidas, o monitoramento é essencial, visto que o acúmulo pode gerar toxicidade à biota e riscos à saúde humana (BRASIL, 2005).

Assim, embora alguns parâmetros indiquem condições satisfatórias, a elevação de nutrientes e de determinados íons reforça a necessidade de controle ambiental e de monitoramento contínuo da qualidade da água, a fim de prevenir possíveis desequilíbrios. Esses aspectos podem ser observados na Figura 12, que apresenta os valores de Coliformes Termotolerantes e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) na amostra de água do Ponto 05.

Figura 12 - Valores de Coliformes Termotolerantes e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) na Amostra de Água do ponto 05



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

A concentração de coliformes termotolerantes apresentada (25.300 NMP/100 mL) evidencia um quadro crítico de contaminação fecal, indicando elevado risco sanitário e possível presença de microrganismos patogênicos, o que pode comprometer usos recreativos e de abastecimento da água (Barcellos, 2021). Esse resultado sugere lançamento de esgoto doméstico ou dejetos animais sem tratamento adequado, caracterizando forte pressão antrópica sobre o corpo hídrico (Brasil, 2005).

Apesar disso, o valor de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) observado (2,68 mg/L) encontra-se em faixa considerada aceitável, indicando baixa quantidade de matéria orgânica biodegradável e condições relativamente favoráveis ao consumo de oxigênio pelos microrganismos (ESTEVES, 2011). Contudo, a elevada carga microbiológica, mesmo diante de DBO moderada, demonstra que a poluição pode ser predominantemente de origem fecal recente, reforçando a necessidade de ações de saneamento e monitoramento contínuo (KUBITZA, 2020).



5 CONCLUSÃO

A avaliação integrada dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos nos cinco pontos amostrados (P01–P05) revela um quadro ambiental heterogêneo na piscicultura estudada na Amazônia Ocidental. Em termos físico-químicos, predominam indícios de baixa mineralização e relativa estabilidade do meio, com condutividade específica em faixas típicas de ambientes pouco antropizados e valores de DBO geralmente modestos. Esses dados denotam um funcionamento hidroquímico compatível com sistemas aquícolas que mantêm, ao menos no curto prazo, condições propícias ao desempenho zootécnico. O rigor metodológico empregado (SMWW, 24^a ed.) e os controles de qualidade (LQ, U95%, duplicatas e padrões de recuperação) conferem robustez às inferências produzidas.

Por outro lado, os resultados microbiológicos apontam um desafio crítico e imediato: a contaminação fecal em diferentes magnitudes, com destaque para concentrações elevadíssimas de coliformes termotolerantes em P05 e excedentes importantes em P01, P02 e P04. A coexistência de DBO baixa com coliformes elevados indica aporte recente de efluentes, típico de contaminação sanitária não tratada, e reforça o risco à saúde pública e à biota. À luz da Resolução CONAMA nº 357/2005, tais excedências reduzem a aptidão da água para usos recreativos e restringem a segurança operacional dos sistemas produtivos, exigindo respostas de manejo e de infraestrutura de saneamento.

No componente químico-nutricional, alguns elementos e nutrientes demandam atenção preventiva. O fósforo total elevado em pontos específicos sinaliza risco de eutrofização e perda de transparência, com possíveis repercussões sobre o balanço de oxigênio e a resiliência do sistema. A presença de metais como alumínio, cobre, zinco e arsênio, ainda que potencialmente vinculada a processos geogênicos, requer vigilância para evitar efeitos subletais cumulativos na biota e barreiras comerciais futuras. Em síntese, o cenário combina boa base físico-química com gargalos microbiológicos e focos químicos que podem comprometer a sustentabilidade se não forem abordados tempestivamente.

Diante desse quadro, recomenda-se um pacote de ações integradas: (i) controle de fontes pontuais e difusas de esgoto com soluções de saneamento rural e barreiras ripárias; (ii) manejo alimentar racional para reduzir carga orgânica e nutrientes; (iii) adoção progressiva de tecnologias limpas (biofiltros, decantação, aeração e, quando viável, RAS); (iv) programa de monitoramento contínuo e sazonal, contemplando pH, OD, nutrientes, metais e indicadores microbiológicos, com registros rastreáveis; e (v) capacitação técnica permanente dos produtores, articulando saber científico e práticas locais. A governança hídrica deve envolver produtores, instituições de ensino/pesquisa e órgãos ambientais, alinhando-se às diretrizes da CONAMA 357/2005 e a objetivos de saúde única (One Health).



Por fim, os resultados reforçam que a sustentabilidade da piscicultura amazônica é indissociável do cuidado com a água — insumo vital, bem comum e base de subsistência das comunidades. Ao reconhecer os avanços físico-químicos e enfrentar, com urgência e corresponsabilidade, os pontos críticos microbiológicos e nutricionais, é possível consolidar um modelo produtivo mais seguro, resiliente e inclusivo. Este estudo oferece um diagnóstico útil ao manejo adaptativo e aponta caminhos práticos para manter o desempenho zootécnico, reduzir impactos ambientais e proteger a saúde humana, honrando a vocação produtiva e a singularidade socioambiental da Amazônia Ocidental.



REFERÊNCIAS

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2022: Encarte Especial sobre Governança da Água. Brasília: ANA, 2022.

BARCELLOS, L. G. Controle microbiológico da água: potencial das análises de sólidos totais dissolvidos e condutividade elétrica como métodos auxiliares no monitoramento da degradação da qualidade da água. Repositório Institucional Pantheon, 2021.

BATISTA, L. F. R. Caracterização da degradação hidrica no alto e médio rio das velhas a partir da condutividade elétrica das águas. 2004. Tese de Doutorado. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

BOYD, C. E.; GROSS, A. Water Quality Management for Pond Fish Culture. 2. ed. New York: Springer, 2018.

BOYD, C. E.; TUCKER, C. S. Pond aquaculture water quality management. New York: Springer, 2012.

BOYD, C. E.; TUCKER, C. S. Pond Aquaculture Water Quality Management. 2. ed. New York: Springer, 2019.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 2005.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União, Brasília, 1997.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.

ESTEVES, F. A. Fundamentos de Limnologia. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciênciac, 2011.

CAVALCANTE, D. H. et al. Sustentabilidade e desafios da piscicultura na Amazônia brasileira. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v. 17, n. 2, p. 1–12, 2022.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo. São Paulo: CETESB, 2023.

CUNHA, D. G. F.; Calijuri, M. C.; Lamparelli, M. C. Metais pesados em ecossistemas aquáticos: dinâmica, toxicidade e monitoramento. Revista Ambiente & Água, 2019.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. São Carlos: RiMa, 2005.

ESTEVES, F. A. Fundamentos de Limnologia. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciênciac, 2011.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. The State of World Fisheries and Aquaculture 2023: Towards Blue Transformation. Rome: FAO, 2023.

FAO – Food and Agriculture Organization. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022: Towards Blue Transformation. Rome: FAO, 2022.

FONSECA, R. B.; SOUSA, A. C.; NUNES, G. M. Qualidade da água em igarapés urbanos da Amazônia. Revista Ambiente & Água, v. 15, n. 4, 2020.



GONÇALVES, A. C. et al. Avaliação hidroquímica de rios do sudoeste amazônico. *Acta Amazonica*, 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Produção da Pecuária Municipal 2022*. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

KUBITZA, F. *Piscicultura: Princípios de Manejo e Produção Sustentável*. 3. ed. Jundiaí: AcquaSupra, 2020.

KUBITZA, F. Qualidade da água no cultivo de peixes e camarões. 2. ed. Jundiaí: F. Kubitza, 2011.

KUBITZA, F. *Qualidade da Água no Cultivo de Peixes e Camarões*. 3. ed. Jundiaí: Kubitza, 2020.

KUBITZA, F. Qualidade da água no cultivo de peixes e camarões. 3. ed. Jundiaí: F. Kubitza, 2019.

LEIRA, Matheus Hernandes et al. Qualidade da água e seu uso em pisciculturas. *Pubvet*, v. 11, n. 1, p. 11-17, 2017.

LIBÂNIO, M. *Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água*. 4. ed. São Paulo: LTC, 2022.

LIBÂNIO, P. A. C. *Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água*. Campinas: Átomo, 2010.

LIMA, A. C. R. et al. Caracterização da piscicultura na Amazônia Ocidental: desafios e perspectivas. *Acta Amazônica*, v. 51, n. 3, p. 243–256, 2021.

OLIVEIRA, A. P.; SANTOS, K. F.; BARBOSA, L. C. Avaliação da qualidade da água em rios urbanos com ênfase em DBO e coliformes. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 26, p. 45-58, 2021.

ONU – Organização das Nações Unidas. *Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. Nova York: ONU, 2015.

OYD, C. E.; TUCKER, C. S. *Pond Aquaculture Water Quality Management*. 2. ed. New York: Springer, 2019.

PÁDUA, D. M. C. et al. Avaliação dos parâmetros físico-químicos da água em sistemas de piscicultura intensiva. *Revista Ambiente & Água*, v. 15, n. 3, p. 1–10, 2020.

RIBEIRO, J. P. et al. Estratégias de manejo da qualidade da água em sistemas de piscicultura tropical. *Revista Engenharia Ambiental*, v. 30, n. 1, p. 112–125, 2023.

SANTOS, A. J. R. et al. Sustentabilidade química na aquicultura: desafios e perspectivas. *Revista Brasileira de Engenharia de Pesca*, v. 16, n. 2, p. 45–56, 2023.

SANTOS, Dayanara Mendonça. Qualidade da água e conflitos socioambientais do submédio e baixo São Francisco. 2022.

SANTOS, V. A.; MONTEIRO, J. P. Influência do uso e ocupação urbana na qualidade da água de rios amazônicos. *Revista Geociências da Amazônia*, v. 7, p. 87-98, 2019.

SILVA, A. L. da et al. Avaliação microbiológica e físico-química da água utilizada em pisciculturas. *Revista Brasileira de Engenharia de Pesca*, v. 13, n. 2, p. 45-58, 2020.



SILVA, J. R. et al. Influência da qualidade da água na produtividade de sistemas de piscicultura. Revista de Ciências Ambientais, v. 15, n. 1, p. 12–20, 2021.

SILVA, M. A. et al. Distribuição de metais pesados em rios da Amazônia legal. Química Nova, 2020.

SILVA, M. A.; SOUZA, L. R. Gestão de recursos hídricos e políticas públicas no Brasil: desafios e perspectivas. Revista Brasileira de Meio Ambiente e Sustentabilidade, v. 7, n. 2, p. 89–101, 2020.

SILVA, T. R.; ARAÚJO, M. S. Indicadores de eutrofização em corpos hídricos urbanos. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 2020.

SOUZA, Adriana Albuquerque do Nascimento et al. Piscicultura, educação e sustentabilidade: os desafios e perspectivas da Piscicultura para a região do Lago da Usina Hidrelétrica de Tucuruí em Tucuruí-Pará. 2017.

TAVARES-DIAS, M.; MORAES, F. R. Aquicultura no Brasil: novas perspectivas e desafios ambientais. São Paulo: Roca, 2017.

Tchounwou, P. B. et al. Heavy metals toxicity and the environment. EXS, 2012.

TUCCI, C. E. M. Gestão da Água no Brasil. Brasília: UNESCO, 2017.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Recursos Hídricos no Brasil: Problemas, Desafios e Estratégias para o Futuro. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Recursos Hídricos no Século XXI: Gestão e Planejamento Estratégico. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2018.

VAL, A. L. et al. Aquicultura na Amazônia: desenvolvimento, desafios e sustentabilidade. Revista Pan-Amazônica de Saúde, v. 10, n. 2, p. 45–58, 2019.

VALENTI, W. C. et al. Aquaculture in Brazil: current status and future perspectives. Reviews in Aquaculture, v. 12, n. 2, p. 1217–1234, 2020.

VON SPERLING, M. Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014.

Von Sperling, M. Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014.

WHO – World Health Organization. Guidelines for Drinking-Water Quality. 4th ed. Geneva: WHO, 2022.

