REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 18/07/2026 - **Accepted:** 06/08/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/8ftgsv87
Pages: 1-27

VARIABILIDADE ESPACIAL DA QUALIDADE DA ÁGUA EM SISTEMAS DE PISCICULTURA NA AMAZÔNIA OCIDENTAL: DIAGNÓSTICO INTEGRADO DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS, NUTRIENTES, MICROBIOLOGIA E METAIS

SPATIAL VARIABILITY OF WATER QUALITY IN FISH FARMING SYSTEMS IN THE WESTERN AMAZON: AN INTEGRATED DIAGNOSIS OF PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS, NUTRIENTS, MICROBIOLOGY, AND METALS

VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA EN SISTEMAS DE PISCICULTURA EN LA AMAZONÍA OCCIDENTAL: DIAGNÓSTICO INTEGRADO DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS, NUTRIENTES, MICROBIOLOGÍA Y METALES

Jociel Honorato de Jesus
Mestre, Universidade Federal de Rondônia – UNIR, Brasil
E-mail: jocielhonorato@gmail.com

Jessé Castro dos Santos
Mestrando em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Rondônia – UNIR,Brasil
E-mail: jessecastrosantos@hotmail.com

Eliomar Pereira da Silva Filho
Doutor em Geociências e Meio Ambiente; Comitê Pedagógico do PPGG da Universidade Federal de Rondônia – UNIR, Brasil
E-mail: eliomarfilho@uol.com.br

Resumo

A piscicultura amazônica depende de água em quantidade e qualidade compatíveis com a saúde dos peixes, a segurança sanitária e a conservação dos ecossistemas. Este estudo avaliou a variabilidade espacial da qualidade da água em 15 pontos distribuídos em três conjuntos produtivos georreferenciados na Bacia do Rio Jamari, no Vale do Jamari, Rondônia. As unidades foram caracterizadas por imagens orbitais e cartografia no sistema SIRGAS 2000/UTM zona 20S. As amostras, coletadas em 9 de agosto de 2025, foram analisadas quanto à condutividade elétrica, turbidez,

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 18/07/2026 - **Accepted:** 06/08/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/8ftgsv87
Pages: 1-27

materiais flutuantes, óleos e graxas, pH, alcalinidade, sólidos totais dissolvidos, demandas bioquímica e química de oxigênio, nutrientes, coliformes termotolerantes e metais. Os procedimentos laboratoriais foram informados como compatíveis com a 24ª edição do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. A condutividade variou de 19,81 a 153,50 µS cm^{-1}, a turbidez de 2,71 a 179,20 NTU, o pH de 6,53 a 7,36, a DBO de 1,66 a 3,27 mg L^{-1} O_2 e o fósforo total de 0,02 a 1,11 mg L^{-1}. Três pontos apresentaram turbidez superior a 100 NTU; quatorze excederam, como triagem, 0,03 mg L^{-1} de fósforo total e 1.000 NMP/100 mL de coliformes termotolerantes; e os pontos P03 e P10 apresentaram nitrito acima de 1,0 mg L^{-1}. Ocorrências metálicas prioritárias foram observadas em P06, P11, P12 e P13, com destaque para a combinação multielementar em P06 e para chumbo em P13. A agregação espacial mostrou que P11–P15 concentrou as maiores médias de turbidez, fósforo total e nitrogênio amoniacal. Os resultados evidenciam forte heterogeneidade espacial e demonstram que a avaliação isolada de parâmetros convencionais poderia ocultar riscos microbiológicos, nutricionais e metálicos. Contudo, como os laudos registraram recebimento das amostras fora da temperatura recomendada e intervalo prolongado entre coleta e laboratório, as comparações normativas devem ser entendidas como triagem, não como declaração definitiva de conformidade. Recomenda-se nova campanha confirmatória, com cadeia de custódia controlada, replicatas, medições de campo e monitoramento sazonal.

Palavras-chave: Aquicultura; qualidade da água; Bacia do Rio Jamari; nutrientes; coliformes; metais.

Abstract

Amazonian fish farming depends on water quality compatible with fish health, sanitary safety, and ecosystem conservation. This study assessed the spatial variability of water quality at 15 sampling sites distributed among three georeferenced production complexes in the Jamari River Basin, Vale do Jamari, Rondônia, Brazil. The units were characterized using orbital imagery and mapping in the SIRGAS 2000/UTM zone 20S

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 18/07/2026 - **Accepted:** 06/08/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/8ftgsv87
Pages: 1-27

reference system. Samples collected on 9 August 2025 were analyzed for electrical conductivity, turbidity, floating materials, oils and grease, pH, alkalinity, total dissolved solids, biochemical and chemical oxygen demand, nutrients, thermotolerant coliforms, and metals. Laboratory procedures were reported as consistent with the 24th edition of Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Conductivity ranged from 19.81 to 153.50 μS cm^{-1}, turbidity from 2.71 to 179.20 NTU, pH from 6.53 to 7.36, BOD from 1.66 to 3.27 mg L^{-1} O_2, and total phosphorus from 0.02 to 1.11 mg L^{-1}. Three sites exceeded 100 NTU for turbidity; fourteen exceeded, as screening benchmarks, 0.03 mg L^{-1} total phosphorus and 1,000 MPN/100 mL thermotolerant coliforms; and sites P03 and P10 showed nitrite above 1.0 mg L^{-1}. Priority metal occurrences were found at P06, P11, P12, and P13, especially the multi-element pattern at P06 and lead at P13. Spatial aggregation showed that P11–P15 concentrated the highest mean turbidity, total phosphorus, and ammoniacal nitrogen. Results reveal marked spatial heterogeneity and show that conventional parameters alone may conceal microbiological, nutrient-related, and metal-associated risks. However, because laboratory reports recorded sample receipt outside the recommended temperature and a prolonged interval between sampling and analysis, regulatory comparisons should be interpreted as screening rather than definitive compliance statements. A confirmatory campaign with controlled chain of custody, replicates, field measurements, and seasonal monitoring is recommended.

Keywords: Aquaculture; water quality; Jamari River Basin; nutrients; coliforms; metals.

Resumen

La piscicultura amazónica depende de una calidad del agua compatible con la salud de los peces, la seguridad sanitaria y la conservación de los ecosistemas. Este estudio evaluó la variabilidad espacial de la calidad del agua en 15 puntos distribuidos en tres complejos productivos georreferenciados en la cuenca del río Jamari, Vale do Jamari, Rondônia, Brasil. Las unidades fueron caracterizadas mediante imágenes orbitales y cartografía en el sistema SIRGAS 2000/UTM zona 20S. Las muestras, recolectadas

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 18/07/2026 - **Accepted:** 06/08/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/8ftgsv87
Pages: 1-27

el 9 de agosto de 2025, fueron analizadas en cuanto a conductividad eléctrica, turbidez, materiales flotantes, aceites y grasas, pH, alcalinidad, sólidos disueltos totales, demandas bioquímica y química de oxígeno, nutrientes, coliformes termotolerantes y metales. Los procedimientos de laboratorio fueron informados como compatibles con la 24.ª edición de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. La conductividad varió entre 19,81 y 153,50 µS cm^{-1}, la turbidez entre 2,71 y 179,20 NTU, el pH entre 6,53 y 7,36, la DBO entre 1,66 y 3,27 mg L^{-1} O_2 y el fósforo total entre 0,02 y 1,11 mg L^{-1}. Tres puntos superaron 100 NTU de turbidez; catorce superaron, como criterios de cribado, 0,03 mg L^{-1} de fósforo total y 1.000 NMP/100 mL de coliformes termotolerantes; y los puntos P03 y P10 presentaron nitrito superior a 1,0 mg L^{-1}. Las ocurrencias metálicas prioritarias se concentraron en P06, P11, P12 y P13, con énfasis en el patrón multielemental de P06 y el plomo en P13. La agregación espacial mostró que P11–P15 concentró las mayores medias de turbidez, fósforo total y nitrógeno amoniacal. Los resultados evidencian una marcada heterogeneidad espacial y muestran que el análisis aislado de parámetros convencionales puede ocultar riesgos microbiológicos, nutricionales y metálicos. Debido a las limitaciones de conservación y transporte registradas en los informes, las comparaciones normativas deben entenderse como cribado y no como una declaración definitiva de conformidad. Se recomienda una campaña confirmatoria con cadena de custodia controlada, réplicas, mediciones de campo y monitoreo estacional.

Palabras clave: Acuicultura; calidad del agua; cuenca del río Jamari; nutrientes; coliformes; metales.

1. Introdução

A aquicultura ocupa posição estratégica na produção de alimentos, na geração de renda e na oferta de proteína de elevado valor nutricional. Na Amazônia Ocidental, a ampla disponibilidade hídrica e a tradição regional de consumo de pescado favorecem a expansão da piscicultura. Esse potencial, entretanto, não elimina a necessidade de planejamento: quanto maior a intensidade produtiva, maior tende a

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 18/07/2026 - **Accepted:** 06/08/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/8ftgsv87
Pages: 1-27

ser a pressão sobre a água utilizada como ambiente de cultivo e como elo entre a unidade produtiva e os ecossistemas do entorno (FAO, 2024; VALENTI *et al*., 2021).

Nos viveiros, a água não é apenas um insumo. Ela constitui o espaço vital dos organismos cultivados e responde, de forma contínua, ao balanço entre alimentação, excreção, decomposição da matéria orgânica, atividade fotossintética, respiração e trocas com o solo e a atmosfera. Alterações na turbidez, no pH, no oxigênio dissolvido, na concentração de nutrientes ou na carga microbiológica podem afetar o comportamento, o crescimento, a imunidade e a sobrevivência dos peixes, além de influenciar a qualidade dos efluentes gerados (BOYD; TUCKER, 2012; KUBITZA, 2020).

Parâmetros físico-químicos clássicos, como condutividade elétrica, turbidez, pH, alcalinidade, sólidos dissolvidos, demanda bioquímica de oxigênio e demanda química de oxigênio, oferecem uma primeira leitura do funcionamento do sistema. Todavia, a interpretação ambiental torna-se mais consistente quando esses indicadores são associados às formas de nitrogênio, ao fósforo, aos microrganismos indicadores e aos metais. Uma água com pH aparentemente adequado pode, por exemplo, apresentar coliformes em concentrações elevadas ou conter elementos metálicos em níveis que demandem investigação específica.

O enriquecimento por nitrogênio e fósforo merece atenção porque parte dos nutrientes fornecidos pela ração não é convertida em biomassa. Fezes, sobras de alimento e material orgânico depositado no fundo podem sustentar processos de mineralização, estimular florações algais e ampliar as oscilações de oxigênio e pH. De modo semelhante, a presença de coliformes termotolerantes pode indicar influência de material fecal proveniente de animais, ocupações humanas, escoamento superficial ou falhas de proteção sanitária das fontes de abastecimento (ESTEVES, 2011; VON SPERLING, 2014).

Os metais, por sua vez, podem ter origem geogênica ou antrópica. Sua interpretação exige cuidado com a forma química analisada, o limite de quantificação, o pH, a matéria orgânica e a possibilidade de associação com sedimentos. Ocorrências isoladas muito elevadas não devem ser naturalizadas nem

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 18/07/2026 - **Accepted:** 06/08/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/8ftgsv87
Pages: 1-27

automaticamente atribuídas a uma fonte específica; devem ser confirmadas por nova coleta, controle de branco, duplicatas e rastreamento das condições de campo e laboratório.

No Brasil, a Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece classes e padrões de qualidade para águas superficiais e inclui a aquicultura entre os usos das águas doces de classe 2. A comparação com esses valores pode orientar a triagem ambiental, mas a declaração formal de conformidade depende do enquadramento do corpo hídrico, da matriz analisada, da frequência amostral e do atendimento aos procedimentos de coleta e preservação (BRASIL, 2005).

Diante desse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial da qualidade da água em 15 pontos de sistemas de piscicultura na Bacia do Rio Jamari, integrando parâmetros físico-químicos, matéria orgânica, nutrientes, indicadores microbiológicos e metais. Buscou-se identificar padrões, pontos críticos e prioridades de monitoramento, preservando uma interpretação prudente diante das limitações registradas nos relatórios de ensaio.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Qualidade da água e desempenho produtivo em piscicultura

A qualidade da água resulta da interação entre processos naturais e práticas de manejo. Temperatura, luz, circulação, tipo de solo, fonte de abastecimento, densidade de estocagem e quantidade de ração influenciam a dinâmica diária do viveiro. Em regiões tropicais, o metabolismo elevado dos organismos e a rápida decomposição da matéria orgânica aumentam a importância do acompanhamento frequente, sobretudo nos horários de menor oxigenação.

O pH interfere na fisiologia dos peixes e na forma química de diversos compostos. A toxicidade da amônia não ionizada, por exemplo, aumenta com a elevação do pH e da temperatura. A alcalinidade atua como reserva tampão, reduzindo oscilações abruptas, enquanto o oxigênio dissolvido integra os efeitos da fotossíntese, da respiração e da decomposição. Por isso, decisões de manejo devem

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 18/07/2026 - **Accepted:** 06/08/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/8ftgsv87
Pages: 1-27

considerar conjuntos de parâmetros, e não valores isolados (BOYD; TUCKER, 2012; KUBITZA, 2020).

2.2 Condutividade, turbidez e sólidos dissolvidos

A condutividade elétrica representa a capacidade da água de conduzir corrente em função dos íons dissolvidos. Em sistemas aquícolas, valores mais elevados podem refletir características geológicas, correção do solo, fertilização, ração, evapoconcentração ou aportes externos. Os sólidos totais dissolvidos apresentam relação estreita com a condutividade e auxiliam na caracterização hidroquímica, embora a relação entre ambos dependa da composição iônica.

A turbidez expressa a dispersão da luz por partículas suspensas. Viveiros escavados podem apresentar turbidez mineral por erosão e ressuspensão do fundo, ou turbidez orgânica associada ao fitoplâncton e a detritos. Valores altos reduzem a penetração luminosa, alteram a produtividade primária e podem atuar como veículos para microrganismos e contaminantes adsorvidos. A interpretação deve ser articulada com o uso do solo, as margens, a drenagem superficial e a atividade dos peixes (ESTEVES, 2011).

2.3 Matéria orgânica e nutrientes

A DBO estima o consumo de oxigênio pela degradação biológica da matéria orgânica, enquanto a DQO representa a fração oxidável por reagentes químicos. A relação entre ambas fornece pistas sobre a biodegradabilidade da carga orgânica. Em piscicultura, aumentos podem decorrer de sobras de ração, fezes, organismos mortos e material vegetal introduzido pelo escoamento superficial (VON SPERLING, 2014).

O nitrogênio ocorre como amônia, nitrito, nitrato e formas orgânicas. A amônia pode ser tóxica, o nitrito interfere no transporte de oxigênio no sangue e o nitrato, embora menos tóxico em exposições agudas, sinaliza acúmulo de nutrientes. O fósforo é frequentemente limitante em águas continentais; concentrações elevadas

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 18/07/2026 - **Accepted:** 06/08/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/8ftgsv87
Pages: 1-27

favorecem eutrofização e oscilações de oxigênio. A eficiência alimentar e o manejo do sedimento são, portanto, dimensões ambientais e econômicas da produção (BOYD; TUCKER, 2012).

2.4 Indicadores microbiológicos

Coliformes termotolerantes são utilizados como indicadores de contaminação fecal e de vulnerabilidade sanitária. Sua presença não identifica, por si só, o agente patogênico responsável, mas revela condições que podem aumentar o risco de circulação de microrganismos de interesse para a saúde animal e humana. Em propriedades rurais, as fontes potenciais incluem criação de animais, fossas, circulação de pessoas, águas pluviais e acesso de fauna aos viveiros.

A interpretação microbiológica depende fortemente da coleta, do frasco, da refrigeração e do tempo de processamento. A multiplicação ou perda de viabilidade durante o transporte pode distorcer o resultado. Por essa razão, laudos com ressalvas de conservação devem ser utilizados como alerta para investigação, e não como base exclusiva para decisões sancionatórias ou conclusões definitivas.

2.5 Metais e risco ambiental

Elementos metálicos podem ocorrer naturalmente em solos e rochas ou ser introduzidos por insumos, corrosão, resíduos, atividades urbanas, industriais e agropecuárias. A concentração total informa a carga presente na amostra, mas não equivale necessariamente à fração dissolvida ou biodisponível. A diferença é relevante porque os padrões normativos podem especificar formas distintas para alumínio, cobre e outros elementos.

Metais como cádmio, chumbo e mercúrio despertam preocupação pela toxicidade e pelo potencial de bioacumulação. Níquel, cobre e zinco são micronutrientes em pequenas quantidades, mas tornam-se tóxicos quando excedem a capacidade de regulação dos organismos. Resultados muito superiores aos valores esperados exigem confirmação independente, investigação da fonte e avaliação de sedimentos e organismos, evitando tanto a banalização quanto a atribuição causal precipitada.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 18/07/2026 - **Accepted:** 06/08/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/8ftgsv87
Pages: 1-27

2.6 Monitoramento integrado e interpretação espacial

A heterogeneidade entre viveiros pode ser maior do que a variação média de uma propriedade. Diferenças de fonte hídrica, idade do viveiro, profundidade, manejo de ração, renovação de água, vegetação marginal e proteção das margens produzem respostas locais. Assim, a identificação por ponto permite priorizar intervenções e evita que médias gerais ocultem situações críticas.

Um programa robusto combina medições de campo, análises laboratoriais, registros operacionais e repetição temporal. A integração entre dados ambientais e informações de manejo transforma o monitoramento em ferramenta de aprendizagem: o produtor deixa de receber apenas um número e passa a compreender quais práticas podem proteger os peixes, reduzir perdas e conservar os recursos hídricos.

3. Metodologia

3.1 Área de estudo e delineamento

O estudo foi desenvolvido em sistemas de piscicultura inseridos na Bacia do Rio Jamari, na Amazônia Ocidental brasileira. Os 15 pontos foram organizados em três conjuntos espaciais — P01–P05, P06–P10 e P11–P15 — distribuídos no contexto territorial do Vale do Jamari, em Rondônia. A cartografia regional posiciona os conjuntos em relação aos municípios de Ariquemes, Monte Negro, Rio Crespo, Alto Paraíso e Cacaulândia, evidenciando a inserção dos empreendimentos em uma paisagem rural formada por pastagens, áreas agrícolas, remanescentes florestais, estradas vicinais, residências e cursos d’água.

Foi analisada uma campanha realizada em 9 de agosto de 2025, durante o período regional de menor precipitação. Os relatórios registraram condições ensolaradas e ausência de chuva nas 48 horas anteriores. Por se tratar de uma única campanha, o delineamento permite examinar a heterogeneidade espacial observada naquele momento, mas não sustenta inferências sazonais ou temporais. A identificação dos empreendimentos foi preservada por códigos amostrais, mantendo-se a confidencialidade dos responsáveis.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 18/07/2026 - **Accepted:** 06/08/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/8ftgsv87
Pages: 1-27

3.2 Georreferenciamento e caracterização espacial

As coordenadas dos pontos foram organizadas no sistema de referência SIRGAS 2000, projeção UTM, zona 20 Sul (EPSG:31980). A composição cartográfica foi elaborada no software QGIS 3.38, com base de imagem Google Satellite, limites municipais e referências territoriais do Brasil, do estado de Rondônia e do Vale do Jamari. O produto final reuniu a localização regional, as coordenadas dos vértices amostrais e a distribuição dos pontos dentro de cada unidade produtiva.

As imagens orbitais permitiram reconhecer três configurações paisagísticas contrastantes. O conjunto P01–P05 apresenta viveiros de pequena e média dimensão integrados a uma matriz rural com residências, vias de acesso e remanescentes de vegetação. P06–P10 corresponde a um complexo mais extenso e compartimentado, composto por numerosos viveiros predominantemente retangulares em área aberta. P11–P15 reúne um número menor de viveiros, com formatos e colorações variadas, inseridos em matriz de pastagem e próximos a linhas de drenagem e estradas rurais. Essas observações são descritivas e não substituem levantamento de uso e cobertura do solo realizado em campo.

Figura 1 – Configuração paisagística dos três conjuntos de piscicultura: (A) pontos P01–P05; (B) pontos P06–P10; (C) pontos P11–P15.



A - Pontos P01-P05 | B - Pontos P06-P10 | C - Pontos P11-P15

Fonte: Google Earth, imagens de satélite de 2026 (Airbus), organizadas pelos autores.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 18/07/2026 - **Accepted:** 06/08/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/8ftgsv87
Pages: 1-27

Quadro 1 – Síntese da configuração espacial dos conjuntos amostrais

Conjunto	Pontos	Configuração observada	Implicações para a interpretação ambiental
A	P01–P05	Viveiros de pequena e média dimensão, próximos a vias, residências e fragmentos de vegetação.	Maior possibilidade de influências locais do entorno, do escoamento superficial e das atividades humanas e animais.
B	P06–P10	Complexo extenso, geométrico e altamente compartimentado, inserido em matriz agrícola aberta.	A conectividade operacional, a intensidade de manejo e a renovação de água podem produzir gradientes entre viveiros.
C	P11–P15	Viveiros de dimensões variadas em área de pastagem, próximos a drenagens, com diferenças visuais de coloração.	O aporte de sedimentos, nutrientes e matéria orgânica do entorno pode contribuir para a variabilidade observada.

Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

3.3 Coleta, transporte e cadeia de custódia

Conforme as análises de ensaio, a amostragem foi realizada pelo cliente entre 9h00 e 11h50. As amostras foram recebidas pelo laboratório em 14 de agosto de 2025, às 11h00, com temperatura de 22,5 °C. Os próprios laudos registraram a observação de que as amostras foram recebidas fora da temperatura estabelecida por norma.

O intervalo aproximado de cinco dias entre coleta e recebimento, associado à ressalva térmica, foi considerado limitação central, sobretudo para parâmetros microbiológicos e variáveis suscetíveis a transformações químicas e biológicas. Por esse motivo, os resultados foram preservados tal como reportados, mas sua comparação com padrões ambientais foi tratada como triagem técnica.

3.4 Parâmetros e métodos analíticos

Foram avaliados condutividade específica a 25 °C, materiais flutuantes, óleos e graxas, turbidez, alcalinidade total, pH, sólidos totais dissolvidos, DBO, DQO, fósforo

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 18/07/2026 - **Accepted:** 06/08/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/8ftgsv87
Pages: 1-27

total, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal total, nitrogênio total, coliformes termotolerantes, alumínio, arsênio, cádmio, chumbo, cobre, mercúrio, níquel e zinco. Os relatórios informaram o uso de métodos da 24ª edição do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater e de técnicas instrumentais específicas para metais (APHA; AWWA; WEF, 2023).

3.5 Organização e tratamento dos dados

Para estatística descritiva, o ponto P09 recebeu o valor instrumental de turbidez de 2,71 NTU, registrado como inferior ao limite de quantificação de 3,04 NTU. Para representação gráfica dos coliformes, o resultado <10 NMP/100 mL foi posicionado em 5 e os resultados >49.300 NMP/100 mL foram posicionados no limite inferior de 49.300; essas substituições serviram apenas à visualização e às correlações exploratórias.

Foram calculadas média, mediana, desvio-padrão, mínimo, máximo e coeficiente de variação. Associações entre variáveis foram examinadas pelo coeficiente de Spearman, adequado à pequena amostra e à assimetria dos dados. Dada a presença de censura analítica, de valores extremos e de apenas uma campanha, os testes foram interpretados como exploratórios.

3.6 Referenciais de triagem e critérios de interpretação

Os resultados foram comparados, de modo orientativo, com as condições e padrões de águas doces de classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005, categoria que contempla a aquicultura e a atividade de pesca. Foram considerados, entre outros, pH de 6,0 a 9,0, turbidez até 100 NTU, DBO até 5 mg L^{-1} O_2, sólidos dissolvidos totais até 500 mg L^{-1}, nitrato até 10 mg L^{-1}, nitrito até 1 mg L^{-1}, nitrogênio amoniacal total até 3,7 mg L^{-1} para pH até 7,5, fósforo total até 0,030 mg L^{-1} em ambientes lênticos e coliformes termotolerantes até 1.000 NMP/100 mL para os demais usos, observada a frequência amostral exigida pela norma (BRASIL, 2005).

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 18/07/2026 - **Accepted:** 06/08/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/8ftgsv87
Pages: 1-27

Para metais, a comparação considerou os valores de classe 2, com ressalva de que os laudos reportaram alumínio e cobre totais, enquanto o padrão normativo utiliza as frações dissolvidas. Resultados abaixo do limite de quantificação não foram tratados como zero. Assim, a expressão “acima do valor de referência” indica prioridade de confirmação, e não declaração jurídica de desconformidade.

4. Resultados e Discussão

4.1 Caracterização geral

Os 15 pontos apresentaram ampla heterogeneidade espacial. O pH foi o indicador mais estável, com coeficiente de variação de 3,49%, enquanto turbidez, fósforo total e nitrito apresentaram os maiores coeficientes de variação. Essa combinação evidencia que a estabilidade de uma variável não deve ser generalizada para o conjunto da qualidade da água. A análise por conjuntos georreferenciados reforçou a existência de perfis ambientais distintos entre as três unidades produtivas.

No conjunto P01–P05, a condutividade média foi a mais elevada, alcançando 84,78 µS cm^{-1}, influenciada especialmente pelos pontos P03 e P05. P06–P10 apresentou as menores médias de turbidez e fósforo total, embora o ponto P06 tenha concentrado a principal ocorrência multimetálica. P11–P15 reuniu a maior turbidez média (105,94 NTU), o maior fósforo total médio (0,734 mg L^{-1}), a maior concentração média de nitrogênio amoniacal (1,963 mg L^{-1}) e coliformes termotolerantes reportados acima de 49.300 NMP/100 mL em todos os cinco pontos. A distribuição demonstra que a configuração espacial contribui para organizar o diagnóstico, mas não substitui a interpretação ponto a ponto.

Tabela 1 – Síntese dos principais indicadores por conjunto espacial

Conjunto	Condutividade média (µS/cm)	Turbidez média (NTU)	pH médio	P total médio (mg/L)	N amoniacal médio (mg/L)	Coliformes – mediana (NMP/100 mL)
P01–P05	84,78	13,58	6,67	0,334	1,120	$2,86\times10^{3}$
P06–P10	52,39	12,85	6,98	0,166	1,143	$4,39\times10^{3}$
P11–P15	35,29	105,94	7,14	0,734	1,963	$>4,93\times10^{4}$

Fonte: elaborado pelos autores (2026)

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

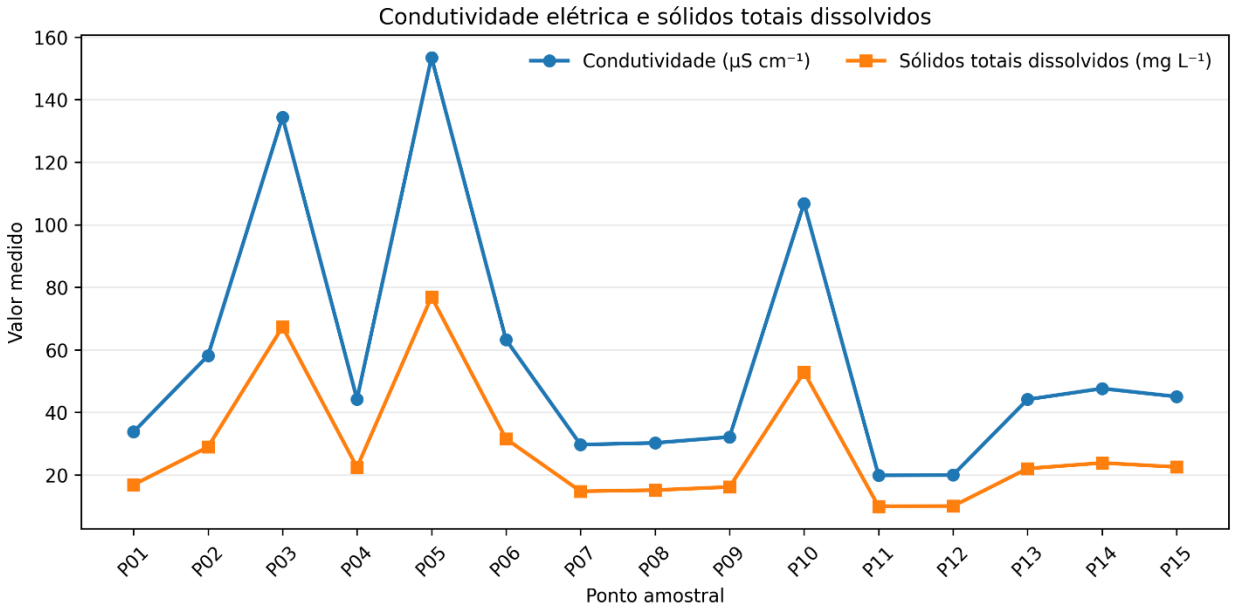
Received: 18/07/2026 - **Accepted:** 06/08/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/8ftgsv87
Pages: 1-27

Tabela 2 – Estatística descritiva dos principais parâmetros avaliados nos 15 pontos

Indicador	Média	Mediana	DP	Mínimo	Máximo	CV (%)
Condutividade (µS cm⁻¹)	57,49	44,20	41,20	19,81	153,50	71,7
Turbidez (NTU)	44,10	19,09	61,76	2,71	179,20	140,1
Alcalinidade (mg $CaCO_3$ L^{-1})	41,27	42,00	15,14	21,00	76,00	36,7
DBO (mg L^{-1} O_2)	2,42	2,38	0,48	1,66	3,27	19,6
DQO (mg L^{-1} O_2)	5,68	5,55	1,08	4,05	7,79	19,0
Fósforo total (mg L^{-1})	0,411	0,260	0,420	0,020	1,110	102,0
Nitrato (mg L^{-1})	0,217	0,170	0,161	0,090	0,700	74,5
Nitrito (mg L^{-1})	0,198	0,000	0,433	0,000	1,410	218,8
N amoniacal total (mg L^{-1})	1,41	1,05	0,78	0,56	2,94	55,1
Nitrogênio total (mg L^{-1})	1,833	1,509	0,781	0,828	3,148	42,6
pH	6,93	6,98	0,24	6,53	7,36	3,5
STD (mg L^{-1})	28,71	22,40	20,59	9,91	76,90	71,7

Fonte: elaborado pelos autores (2026)

Figura 3 – Condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos por ponto amostral.



Fonte: elaborado pelos autores (2026)

A correspondência entre condutividade e sólidos dissolvidos foi perfeita na ordenação dos pontos (ρ = 1,00), sugerindo que ambos expressaram o mesmo

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 18/07/2026 - **Accepted:** 06/08/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/8ftgsv87
Pages: 1-27

gradiente iônico e, possivelmente, que os sólidos dissolvidos foram estimados a partir da condutividade ou fortemente controlados por ela. P05, P03 e P10 apresentaram os maiores valores de condutividade, enquanto P11 e P12 registraram os menores. Mesmo os máximos permaneceram muito abaixo do valor de 500 mg L^{-1} adotado para sólidos dissolvidos totais em águas doces de classe 2.

4.2 Parâmetros físico-químicos e matéria orgânica

Tabela 3 – Resultados físico-químicos por ponto amostral

Ponto	Cond. (µS/cm)	Turbidez (NTU)	pH	Alcalin. (mg $CaCO_3$/L)	STD (mg/L)	DBO (mg/L O_2)	DQO (mg/L O_2)
P01	33,70	4,33	6,90	26,00	16,80	2,30	5,49
P02	58,10	11,96	6,56	36,00	28,90	2,46	6,02
P03	134,40	10,98	6,53	60,00	67,30	1,83	4,37
P04	44,20	14,41	6,78	28,00	22,40	1,66	4,05
P05	153,50	26,20	6,57	62,00	76,90	2,26	5,15
P06	63,20	22,90	6,89	44,00	31,50	2,65	6,18
P07	29,65	8,30	6,94	29,00	14,72	2,20	4,89
P08	30,20	19,09	6,98	21,00	15,10	2,50	6,12
P09	32,10	<3,04	7,10	31,00	16,10	2,38	5,55
P10	106,80	10,90	7,01	76,00	52,80	2,68	5,97
P11	19,81	20,50	7,36	32,00	9,91	1,93	4,72
P12	19,95	22,50	7,27	45,00	9,98	2,00	4,67
P13	44,10	179,20	7,07	43,00	22,00	3,27	7,79
P14	47,60	154,20	7,00	42,00	23,80	3,14	6,98
P15	45,00	153,30	6,98	44,00	22,50	3,02	7,20

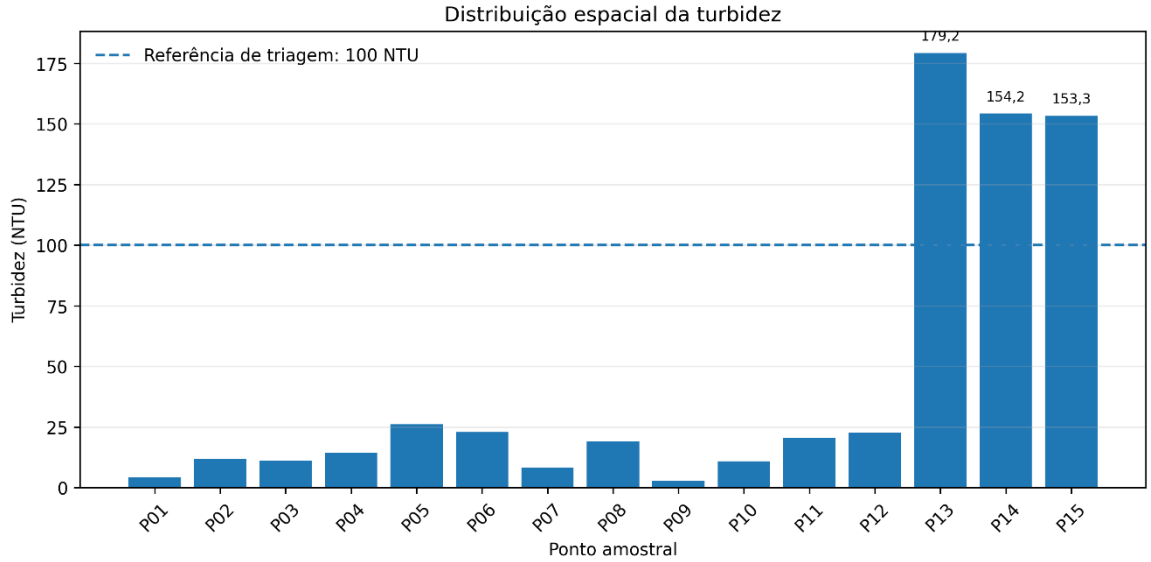
Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 18/07/2026 - **Accepted:** 06/08/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/8ftgsv87
Pages: 1-27

Figura 4 – Distribuição espacial da turbidez e referência de triagem de 100 NTU.



Fonte: elaboração dos autores (2026)

A turbidez variou de <3,04 NTU em P09, com leitura instrumental de 2,71 NTU, a 179,20 NTU em P13. P13, P14 e P15 ultrapassaram 100 NTU e pertencem ao mesmo conjunto georreferenciado, P11–P15, apresentando valores de 1,5 a 1,8 vez a referência de triagem. A concentração espacial reforça a hipótese de fatores compartilhados na unidade produtiva, como ressuspensão de sedimentos, erosão de margens, maior biomassa, aporte superficial pretérito ou elevada densidade de fitoplâncton. A distinção entre essas possibilidades requer sólidos suspensos, clorofila-a, registros de manejo, conectividade hidráulica e observação de campo.

O pH permaneceu entre 6,53 e 7,36, dentro da faixa de 6,0 a 9,0 utilizada como referência, e a alcalinidade variou de 21 a 76 mg $CaCO_3$ L^{-1}. DBO e DQO também apresentaram baixa amplitude relativa. A DBO variou de 1,66 a 3,27 mg L^{-1} O_2, sem exceder 5 mg L^{-1}, e a DQO de 4,05 a 7,79 mg L^{-1} O_2. A correlação muito forte entre DBO e DQO (ρ = 0,97) indica que os dois indicadores responderam a um gradiente comum de matéria oxidável, com P13, P14 e P15 entre os valores mais altos.

Materiais flutuantes e óleos e graxas foram reportados como ausentes em todos os pontos. Esse resultado é favorável, mas deve ser entendido como ausência

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 18/07/2026 - **Accepted:** 06/08/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/8ftgsv87
Pages: 1-27

nas amostras e no momento avaliado, sem substituir inspeções periódicas das margens, estruturas de abastecimento e áreas de armazenamento de combustíveis e insumos.

4.3 Nutrientes e risco de enriquecimento

Tabela 4 – Nutrientes e coliformes termotolerantes por ponto amostral

Ponto	P total (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Nitrito (mg/L)	N amoniacal (mg/L)	N total (mg/L)	Coliformes (NMP/100 mL)
P01	0,04	0,15	0,00	0,558	0,828	<1,00x101
P02	0,02	0,18	0,29	1,033	1,509	2,86x103
P03	0,33	0,44	1,41	0,738	2,589	4,57x103
P04	0,18	0,17	0,20	2,255	2,627	1,19x103
P05	1,10	0,70	0,02	1,017	1,745	>4,93x104
P06	0,18	0,15	0,00	1,050	1,199	4,39x103
P07	0,04	0,15	0,00	1,173	1,323	4,39x103
P08	0,12	0,11	0,00	1,361	1,472	1,15x103
P09	0,09	0,10	0,00	1,296	1,395	4,39x103
P10	0,40	0,31	1,05	0,836	2,194	2,53x104
P11	0,26	0,09	0,00	0,820	0,910	>4,93x104
P12	0,27	0,10	0,00	0,894	0,993	>4,93x104
P13	1,11	0,21	0,00	2,509	2,723	>4,93x104
P14	1,03	0,20	0,00	2,944	3,148	>4,93x104
P15	1,00	0,19	0,00	2,649	2,840	>4,93x104

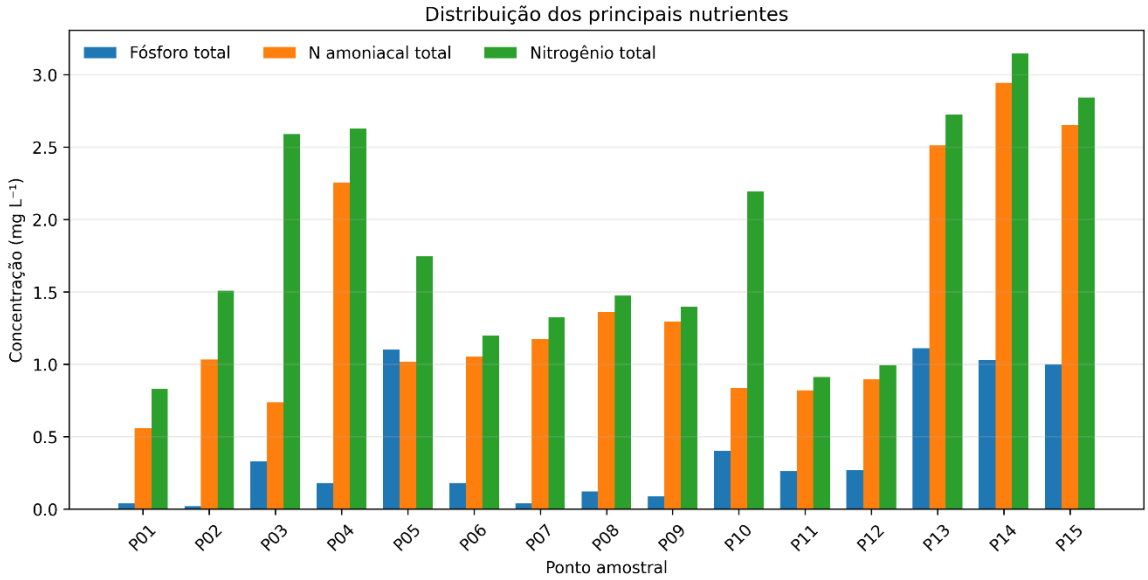
Fonte :Elaborado pelos autores (2026).

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 18/07/2026 - **Accepted:** 06/08/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/8ftgsv87
Pages: 1-27

Figura 5 – Distribuição de fósforo total, nitrogênio amoniacal total e nitrogênio total.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

O fósforo total apresentou média de 0,411 mg L^{-1} e coeficiente de variação de 102%. Quatorze pontos ficaram acima de 0,030 mg L^{-1}, valor utilizado como referência de triagem para ambientes lênticos de classe 2. Os maiores resultados ocorreram em P13 (1,11 mg L^{-1}), P05 (1,10 mg L^{-1}), P14 (1,03 mg L^{-1}) e P15 (1,00 mg L^{-1}). Esses níveis justificam investigação de oferta de ração, taxa de conversão alimentar, acúmulo de sedimento e contribuição da água de abastecimento.

O nitrato permaneceu entre 0,09 e 0,70 mg L^{-1}, abaixo da referência de 10 mg L^{-1}. O nitrito, entretanto, atingiu 1,41 mg L^{-1} em P03 e 1,05 mg L^{-1} em P10, superando 1,0 mg L^{-1}. Como o nitrito pode comprometer o transporte de oxigênio no sangue dos peixes, esses pontos merecem verificação imediata de aeração, carga orgânica, renovação da água e eficiência dos processos de nitrificação.

O nitrogênio amoniacal total variou de 0,558 a 2,944 mg L^{-1} e não excedeu a referência de 3,7 mg L^{-1} aplicável ao intervalo de pH observado. Ainda assim, P13, P14 e P15 apresentaram as maiores concentrações e, simultaneamente, fósforo e turbidez elevados. A associação entre fósforo total e nitrogênio total foi moderada (ρ = 0,62), reforçando a existência de um gradiente de enriquecimento, embora não permita atribuir causalidade.

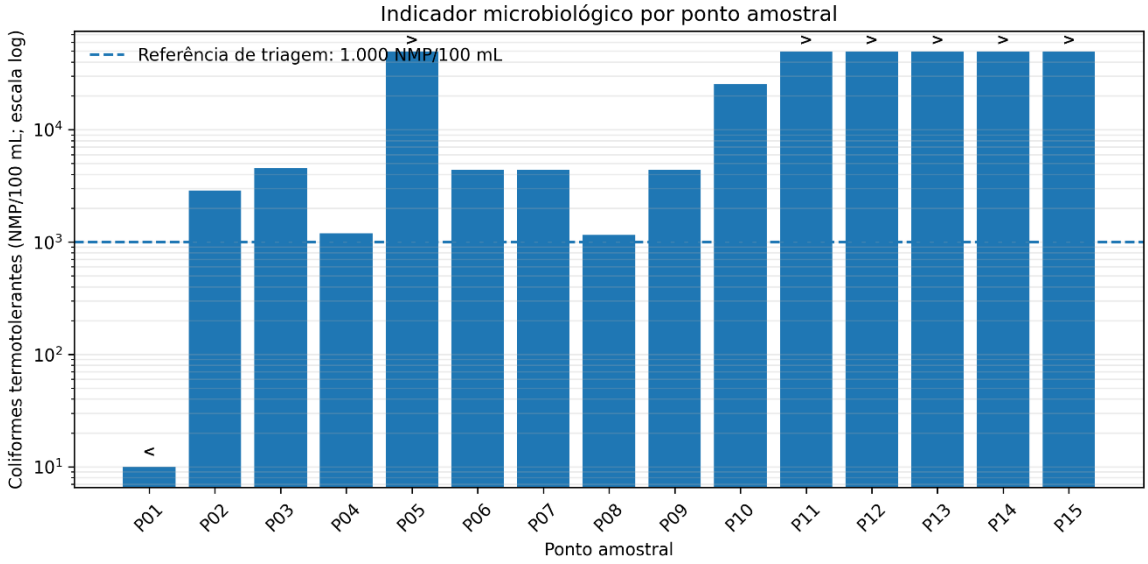
CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 18/07/2026 - **Accepted:** 06/08/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/8ftgsv87
Pages: 1-27

4.4 Qualidade microbiológica

Figura 6 – Coliformes termotolerantes por ponto amostral em escala logarítmica.



Fonte: elaborado pelos autores (2026)

A qualidade microbiológica foi a dimensão com maior frequência de sinais de atenção. P01 apresentou resultado inferior a 10 NMP/100 mL. Nos demais 14 pontos, os valores reportados foram superiores a 1.000 NMP/100 mL, variando de 1,15 × 10^3 a mais de 4,93 × 10^4 NMP/100 mL. P05 e P11 a P15 atingiram o limite superior de leitura reportado, indicando que a concentração real pode ser ainda maior.

A correlação entre turbidez e coliformes foi positiva e moderada ($\rho = 0,67$; $p = 0,006$), compatível com a possibilidade de transporte de microrganismos associados a partículas ou com fontes comuns de entrada. A relação não é determinística: P05 apresentou coliformes elevados sem turbidez extrema, demonstrando que pressões sanitárias podem ocorrer mesmo quando a aparência visual da água não sugere alteração intensa.

A comparação com 1.000 NMP/100 mL tem caráter de triagem, pois a Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece avaliação baseada em pelo menos seis amostras ao longo de um ano. Além disso, o intervalo entre coleta e recebimento e a ressalva de temperatura reduzem a força conclusiva dos resultados. Mesmo assim, a recorrência de valores altos em quase todos os pontos constitui alerta suficientemente

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 18/07/2026 - **Accepted:** 06/08/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/8ftgsv87
Pages: 1-27

consistente para justificar recoleta imediata, identificação das fontes de abastecimento e inspeção sanitária do entorno.

4.5 Metais

Tabela 5 – Concentrações reportadas de metais por ponto amostral

Ponto	Al (µg/L)	As (µg/L)	Cd (mg/L)	Pb (mg/L)	Cu (mg/L)	Ni (mg/L)	Zn (mg/L)
P01	1,60	<0,0010	<0,00	<0,01	<0,02	0,02	<0,07
P02	0,09	<0,0010	<0,00	<0,01	<0,02	<0,01	<0,07
P03	0,64	<0,0010	<0,00	<0,01	<0,02	0,01	0,13
P04	0,07	<0,0010	<0,00	<0,01	<0,02	<0,01	<0,07
P05	0,13	<0,0010	<0,00	<0,01	<0,02	<0,01	<0,07
P06	11,75	11,0640	10,91	10,84	10,25	10,84	9,88
P07	<0,05	<0,0010	<0,00	<0,01	<0,02	<0,01	0,19
P08	0,14	<0,0010	<0,00	<0,01	<0,02	<0,01	<0,07
P09	1,36	<0,0010	<0,00	<0,01	<0,02	<0,01	0,08
P10	0,10	<0,0010	<0,00	<0,01	<0,02	<0,01	<0,07
P11	110,53	<0,0010	<0,00	<0,01	0,03	0,36	0,30
P12	109,95	<0,0010	<0,00	<0,01	0,03	0,37	0,33
P13	3,17	<0,0010	<0,00	36,86	0,02	<0,01	0,09
P14	0,25	<0,0010	<0,00	<0,01	<0,02	<0,01	<0,07
P15	0,12	<0,0010	<0,00	<0,01	<0,02	<0,01	<0,07

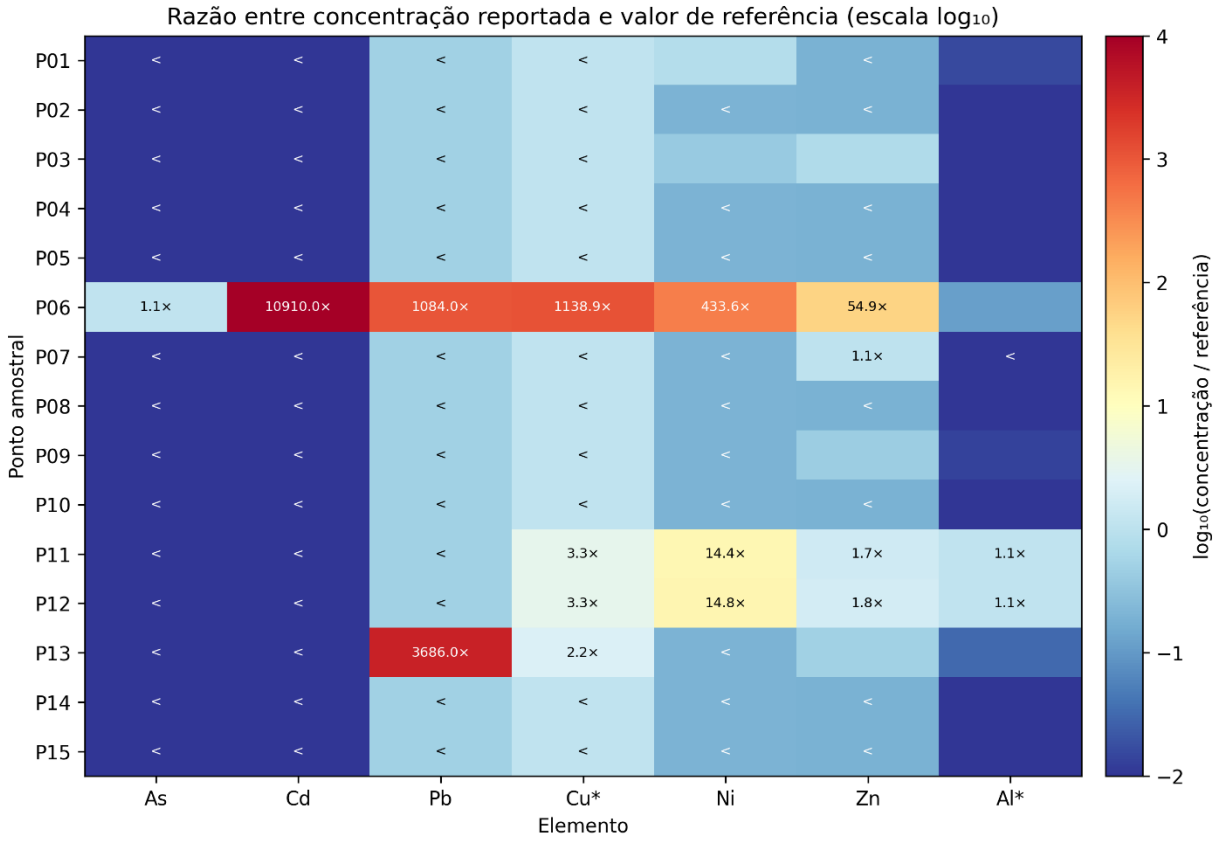
Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 18/07/2026 - **Accepted:** 06/08/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/8ftgsv87
Pages: 1-27

Figura 7 – Razão entre concentrações reportadas e valores de referência de triagem para metais.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

O ponto P06 apresentou o conjunto mais crítico: arsênio de 11,064 µg L^{-1}, cádmio de 10,91 mg L^{-1}, chumbo de 10,84 mg L^{-1}, cobre de 10,25 mg L^{-1}, níquel de 10,84 mg L^{-1} e zinco de 9,88 mg L^{-1}. A simultaneidade e a magnitude desses resultados exigem confirmação urgente, com nova coleta independente, branco de campo, duplicata, verificação dos frascos e investigação de possíveis fontes. A interpretação como contaminação ambiental consolidada seria prematura sem essa confirmação, mas ignorar o sinal seria tecnicamente inadequado.

P13 apresentou chumbo de 36,86 mg L^{-1}, resultado excepcionalmente alto, associado a turbidez, fósforo, nitrogênio e coliformes elevados. P11 e P12 mostraram alumínio total próximo de 0,11 mg L^{-1}, cobre de 0,03 mg L^{-1}, níquel de 0,36–0,37 mg

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 18/07/2026 - **Accepted:** 06/08/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/8ftgsv87
Pages: 1-27

L^{-1} e zinco de 0,30–0,33 mg L^{-1}. P07 apresentou zinco de 0,19 mg L^{-1}. O mercúrio permaneceu abaixo de 0,00010 mg L^{-1} em todos os pontos.

A comparação de alumínio e cobre deve ser cautelosa porque o laboratório reportou concentrações totais, enquanto a Resolução utiliza valores dissolvidos. Além disso, o limite de quantificação do cobre (<0,02 mg L^{-1}) foi superior à referência de 0,009 mg L^{-1}, o que impede comprovar atendimento nos resultados não quantificados. Esse detalhe demonstra a importância de selecionar métodos com sensibilidade compatível com o objetivo regulatório.

4.6 Associações exploratórias entre indicadores

Tabela 6 – Correlações de Spearman selecionadas

Par de variáveis	ρ de Spearman	p
Condutividade × STD	1,000	<0,001
DBO × DQO	0,971	<0,001
Turbidez × coliformes	0,672	0,006
Fósforo total × turbidez	0,739	0,002
Fósforo total × nitrogênio total	0,619	0,014
N amoniacal × nitrogênio total	0,650	0,009

Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

Além da relação entre condutividade e sólidos dissolvidos, destacaram-se DBO × DQO (ρ = 0,97), fósforo × turbidez (ρ = 0,74), turbidez × coliformes (ρ = 0,67), nitrogênio amoniacal × nitrogênio total (ρ = 0,65) e fósforo × nitrogênio total (ρ = 0,62). Em conjunto, essas associações sugerem dois eixos principais: um gradiente hidroquímico relacionado aos íons dissolvidos e outro gradiente de enriquecimento, partículas, matéria orgânica e pressão microbiológica. A pequena amostra e os valores censurados impedem extrapolações causais.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 18/07/2026 - **Accepted:** 06/08/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/8ftgsv87
Pages: 1-27

4.7 Síntese integrada e prioridades de ação

Quadro 2 – Pontos e grupos prioritários para confirmação e manejo

Ponto/grupo	Evidência principal	Prioridade recomendada
P01	Menores coliformes e baixa turbidez; condições gerais mais favoráveis na campanha.	Manter como ponto de comparação interna e repetir em campanhas futuras.
P03	Nitrito de 1,41 mg L^{-1} e fósforo de 0,33 mg L^{-1}.	Verificar nitrificação, aeração, carga de ração e renovação de água.
P05	Maior condutividade, fósforo de 1,10 mg L^{-1} e coliformes >49.300 NMP/100 mL.	Revisar fonte hídrica, manejo alimentar e proteção sanitária.
P06	Ocorrência multimetálica de grande magnitude.	Recoleta confirmatória urgente com QA/QC reforçado e investigação de fontes.
P10	Nitrito de 1,05 mg L^{-1}, nutrientes elevados e coliformes de 25.300 NMP/100 mL.	Ajustar manejo e avaliar sistema de abastecimento/drenagem.
P11–P12	Coliformes >49.300 NMP/100 mL e ocorrências de Al, Cu, Ni e Zn.	Confirmar metais, inspecionar entorno, estruturas e insumos.
P13	Maior turbidez, Pb de 36,86 mg L^{-1}, nutrientes e coliformes elevados.	Prioridade máxima para confirmação, contenção preventiva e rastreamento de fonte.
P14–P15	Turbidez >150 NTU, fósforo ≈1,0 mg L^{-1}, N amoniacal alto e coliformes >49.300.	Controlar erosão/sedimento, revisar biomassa, ração e proteção sanitária.

Fonte: elaborado pelos autores (2026).

A leitura integrada mostra que não existe um único “perfil médio” capaz de representar os 15 pontos. Alguns viveiros apresentaram condições físico-químicas relativamente estáveis, mas coexistiram com pressões microbiológicas amplas e ocorrências metálicas localizadas. A gestão deve, portanto, combinar medidas gerais — como controle de ração, erosão e acesso de animais — com respostas específicas para os pontos mais críticos.

A comunicação dos resultados também deve ser cuidadosa e orientada à solução. Produtores e trabalhadores precisam compreender que uma não conformidade presumida não é uma sentença sobre toda a atividade, mas um sinal

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 18/07/2026 - **Accepted:** 06/08/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/8ftgsv87
Pages: 1-27

para confirmar, localizar a fonte e corrigir o processo. Essa abordagem humanizada fortalece a adesão ao monitoramento e transforma o diagnóstico em oportunidade de melhoria ambiental e produtiva.

Quadro 3 – Proposta de monitoramento confirmatório

Eixo	Procedimento recomendado
Cadeia de custódia	Coleta por equipe treinada; frascos adequados; preservação imediata; transporte refrigerado; registro de horários e temperatura.
Medições de campo	Temperatura, pH, oxigênio dissolvido, condutividade e transparência no próprio ponto e no mesmo horário aproximado.
Controle analítico	Branco de campo, duplicata, amostra fortificada, padrões de verificação, limites de quantificação inferiores aos padrões de interesse.
Frequência	Campanhas no período seco e chuvoso; microbiologia em série compatível com a frequência normativa.
Manejo produtivo	Registrar biomassa, ração, conversão alimentar, renovação de água, uso de cal/fertilizantes, mortalidade e limpeza dos viveiros.
Investigação de metais	Repetir água total e dissolvida; analisar sedimento e, se confirmado, tecido de peixes; mapear insumos, tubulações e fontes externas.
Ação preventiva	Enquanto resultados críticos não forem confirmados, evitar transferências de água entre viveiros e intensificar vigilância clínica e sanitária.

Fonte: elaborado pelos autores (2026).

4.8 Limitações do estudo

O estudo se baseou em uma única campanha e não contou com replicatas biológicas, dados de biomassa, quantidade de ração, profundidade dos viveiros, taxa de renovação, fonte de abastecimento ou classificação detalhada do uso e cobertura do solo. Embora as coordenadas e as imagens orbitais tenham permitido organizar os pontos em três conjuntos espaciais, não foram disponibilizados dados de conectividade hidráulica entre viveiros, vazão, direção de fluxo ou área individual dos espelhos d'água. Essas informações são necessárias para relacionar, com maior

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 18/07/2026 - **Accepted:** 06/08/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/8ftgsv87
Pages: 1-27

segurança, as diferenças analíticas aos processos de manejo e à dinâmica hidrológica.

A coleta foi realizada pelo cliente, e os relatórios registraram recebimento fora da temperatura recomendada após intervalo aproximado de cinco dias. Essa condição é especialmente relevante para microbiologia e espécies nitrogenadas. Os valores extremos de metais, embora reportados pelo laboratório, precisam de confirmação sob cadeia de custódia controlada.

As comparações com a Resolução CONAMA nº 357/2005 foram utilizadas como triagem. A conformidade formal depende do enquadramento do corpo hídrico, da frequência amostral, da forma química analisada e da representatividade temporal. Essas limitações não anulam o diagnóstico; elas definem o grau de certeza e orientam o próximo passo investigativo.

5. Conclusão

A avaliação integrada dos 15 pontos revelou marcada variabilidade espacial da qualidade da água em sistemas de piscicultura da Bacia do Rio Jamari. A cartografia e as imagens orbitais evidenciaram três conjuntos produtivos com escalas, formas de viveiro e contextos paisagísticos distintos. O agrupamento P11–P15 concentrou as maiores médias de turbidez, fósforo total, nitrogênio amoniacal e coliformes, enquanto P01–P05 apresentou a maior condutividade média e P06–P10 reuniu valores médios físico-químicos mais moderados, sem excluir a ocorrência multimetálica de P06. pH, DBO e sólidos dissolvidos apresentaram condições relativamente estáveis, mas essa estabilidade coexistiu com alterações relevantes em outros grupos de indicadores.

Três pontos apresentaram turbidez superior a 100 NTU; P03 e P10 apresentaram nitrito superior a 1,0 mg L^{-1}; quatorze pontos superaram 0,030 mg L^{-1} de fósforo e 1.000 NMP/100 mL de coliformes como referências de triagem. P06 concentrou ocorrências multimetálicas de elevada magnitude, P11 e P12 apresentaram um conjunto de Al, Cu, Ni e Zn, e P13 reuniu chumbo muito elevado, turbidez, nutrientes e coliformes.

Os resultados demonstram que o monitoramento restrito a pH, aparência e condutividade seria insuficiente. A inclusão de nutrientes, microbiologia e metais

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 18/07/2026 - **Accepted:** 06/08/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/8ftgsv87
Pages: 1-27

permitiu reconhecer riscos que poderiam permanecer invisíveis. Todavia, as limitações de conservação e transporte impedem declarar conformidade ou desconformidade definitiva.

Recomenda-se priorizar nova campanha confirmatória nos pontos P06, P11, P12, P13, P14 e P15, sem excluir P03, P05 e P10. A campanha deve incluir cadeia de custódia controlada, medições de campo, replicatas, limites de quantificação adequados, avaliação de água e sedimento e repetição nos períodos seco e chuvoso. A utilização dos resultados como instrumento de diálogo com os produtores, e não apenas de controle, pode favorecer práticas de manejo mais seguras, eficientes e ambientalmente responsáveis.

REFERÊNCIAS

APHA; AWWA; WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 24. ed. Washington, DC: American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation, 2023.

BAX SERVIÇOS DE ANÁLISES QUÍMICAS E BIOLÓGICAS LTDA. Relatórios de ensaio 1269/2025: água superficial, pontos P01 a P15. Casa Preta, 2025.

BOYD, C. E.; TUCKER, C. S. Pond Aquaculture Water Quality Management. New York: Springer, 2012.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Brasília, DF: CONAMA, 2005. Alterada pelas Resoluções nº 410/2009 e nº 430/2011.

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

FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2024: Blue Transformation in Action. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2024.

KUBITZA, F. Qualidade da água na produção de peixes. Jundiaí: F. Kubitza, 2020.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 18/07/2026 - **Accepted:** 06/08/2026
Vol: 13.17
DOI: 10.66104/8ftgsv87
Pages: 1-27

VALENTI, W. C. et al. Aquaculture in Brazil: past, present and future. Aquaculture Reports, v. 19, 2021.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

CC BY