

DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL E ESTRATIFICAÇÃO VERTICAL DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS NO RIO FARINHA (MA): IMPLICAÇÕES PARA A CONSERVAÇÃO DO CERRADO

**SPATIO-TEMPORAL DYNAMICS AND VERTICAL STRATIFICATION OF
PHYSICAL-CHEMICAL PARAMETERS IN THE FARINHA RIVER (MA):
IMPLICATIONS FOR THE CONSERVATION OF THE CERRADO**

**DINÁMICA ESPACIO-TEMPORAL Y ESTRATIFICACIÓN VERTICAL DE
PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EN EL RÍO FARINHA (MA): IMPLICACIONES
PARA LA CONSERVACIÓN DEL CERRADO**

Cristiane Matos da Silva¹, Ana Livia Silva dos Santos², Luany Ketlyn Nascimento Sousa³, Rafaella dos Santos Rodrigues⁴, Jonathan dos Santos Viana⁵, Wilson Araújo da Silva⁶

DOI: 10.54899/dcs.v23i87.4297

Recibido: 20/01/2026| Aceptado: 23/01/2026| Publicación en línea: 04/02/2026.

RESUMO

A qualidade da água no bioma Cerrado é um indicador crítico das pressões antrópicas decorrentes da expansão agropecuária e de empreendimentos hidrelétricos. Este estudo objetivou analisar a dinâmica espaço-temporal e a estratificação vertical de parâmetros físico-químicos (pH, OD, condutividade elétrica e temperatura) no rio Farinha, Maranhão. Foram realizadas campanhas bimensais em 2025 (fevereiro a outubro) em dez pontos amostrais, com coletas em duas profundidades (1 m e 2 m). As variáveis foram mensuradas in situ e os dados submetidos à ANOVA e ao teste de Scott-Knott (5%). Os resultados revelaram que a variação vertical de todos os parâmetros foi significativamente dependente da sazonalidade ($p < 0,01$). Observou-se que o pH e a condutividade elétrica são influenciadas pelo aporte de matéria orgânica e íons via lixiviação nos meses chuvosos, enquanto o oxigênio dissolvido e a temperatura apresentaram padrões de estratificação associados à hidrodinâmica e radiação solar. Embora o rio mantenha conformidade com a Resolução CONAMA nº 357/2005, a variabilidade detectada estabelece uma

¹ Doutora em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Imperatriz, Maranhão, Brasil. E-mail: cristiane.silva@uemasul.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6416-4413>

² Graduanda em Engenharia Florestal, Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Imperatriz, Maranhão, Brasil. E-mail: ana@uemasul.edu.br Orcid: <https://orcid.org/0009-0009-6536-1855>

³ Graduanda em Engenharia Florestal, Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Imperatriz, Maranhão, Brasil. E-mail: luany.sousa@uemasul.edu.br Orcid: <https://orcid.org/0009-0008-4334-2138>

⁴ Graduanda em Engenharia Florestal, Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Imperatriz, Maranhão, Brasil. E-mail: rafaella.rodrigues@uemasul.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0009-0006-5239-6360>

⁵ Doutor em Agronomia (Ciência do Solo), Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Imperatriz, Maranhão, Brasil. E-mail: jonathan.viana@uemasul.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4734-9843>

⁶ Doutor em Ciências (Agronomia - Ciência do Solo), Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Imperatriz, Maranhão, Brasil. E-mail: wilson@uemasul.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4549-6815>

linha de base essencial para o monitoramento ambiental e gestão de recursos hídricos em áreas de transição sob intensa pressão antrópica no Cerrado maranhense.

Palavras-chave: Monitoramento Ambiental. Rio Farinha. Parâmetros Físico-Químicos. Cerrado Maranhense. Estratificação Vertical. Sazonalidade.

ABSTRACT

Water quality in the Cerrado biome is a critical indicator of anthropogenic pressures resulting from agricultural expansion and hydroelectric projects. This study aimed to analyse the spatiotemporal dynamics and vertical stratification of physicochemical parameters (pH, DO, electrical conductivity, and temperature) in the Farinha River, Maranhão. Bimonthly campaigns were conducted in 2025 (February to October) at ten sampling points, with collections at two depths (1 m and 2 m). The variables were measured in situ and the data were submitted to ANOVA and the Scott-Knott test (5%). The results revealed that the vertical variation of all parameters was significantly dependent on seasonality ($p < 0.01$). It was observed that pH and electrical conductivity are influenced by the input of organic matter and ions via leaching in the rainy months, while dissolved oxygen and temperature showed stratification patterns associated with hydrodynamics and solar radiation. Although the river complies with CONAMA Resolution No. 357/2005, the variability detected establishes an essential baseline for environmental monitoring and water resource management in transition areas under intense anthropic pressure in the Maranhão Cerrado.

Keywords: Environmental Monitoring. Farinha River. Physical-Chemical Parameters. Maranhão Savannah. Vertical Stratification. Seasonality.

RESUMEN

La calidad del agua en el bioma Cerrado es un indicador crítico de las presiones antropogénicas derivadas de la expansión agropecuaria y de los proyectos hidroeléctricos. El objetivo de este estudio fue analizar la dinámica espacio-temporal y la estratificación vertical de los parámetros físico-químicos (pH, DO, conductividad eléctrica y temperatura) en el río Farinha, Maranhão. Se realizaron campañas bimensuales en 2025 (de febrero a octubre) en diez puntos de muestreo, con recolecciones a dos profundidades (1 m y 2 m). Las variables se midieron in situ y los datos se sometieron a ANOVA y a la prueba de Scott-Knott (5 %). Los resultados revelaron que la variación vertical de todos los parámetros dependía significativamente de la estacionalidad ($p < 0,01$). Se observó que el pH y la conductividad eléctrica están influenciados por el aporte de materia orgánica e iones a través de la lixiviación en los meses lluviosos, mientras que el oxígeno disuelto y la temperatura presentaron patrones de estratificación asociados a la hidrodinámica y la radiación solar. Aunque el río cumple con la Resolución CONAMA n.º 357/2005, la variabilidad detectada establece una línea de base esencial para el monitoreo ambiental y la gestión de los recursos hídricos en áreas de transición sometidas a una intensa presión antrópica en el Cerrado maranhense.

Palabras clave: Monitorización Medioambiental. Río Farinha. Parámetros Físico-Químicos. Cerrado Maranhense. Estratificación Vertical. Estacionalidad.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

INTRODUÇÃO

A qualidade dos recursos hídricos em ecossistemas tropicais constitui um indicador sensível das pressões antrópicas e das rápidas transformações ambientais, especialmente no bioma Cerrado, região marcada por intensos processos de conversão do uso e cobertura da terra. No Brasil, a degradação dos sistemas aquáticos tem sido amplamente associada à expansão da fronteira agrícola, às alterações no regime hidrológico decorrentes de empreendimentos hidrelétricos e ao manejo inadequado de efluentes urbanos e rurais (EISENBERG *et al.*, 2016; CAMPOS & BARCAROLLI, 2023).

Nesse contexto, o rio Farinha, importante afluente do rio Tocantins no estado do Maranhão, destaca-se como um sistema estratégico para estudos hidroecológicos. Sua bacia hidrográfica situa-se em uma zona de transição entre áreas de elevada relevância ambiental, como o Parque Nacional da Chapada das Mesas, e regiões submetidas a intensas pressões antrópicas, especialmente em função da operação da Usina Hidrelétrica de Estreito e da expansão das atividades agrossilviculturais (NOBRE *et al.*, 2020; SILVA & PEREIRA, 2024).

Essa combinação de fatores confere ao rio Farinha características singulares, tornando-o um laboratório natural para a avaliação das respostas dos ecossistemas aquáticos a distúrbios múltiplos, sazonais e cumulativos. Os parâmetros físico-químicos da água, como pH, oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica (CE) e temperatura, são amplamente utilizados como proxies ambientais por sua elevada sensibilidade às alterações naturais e antrópicas. Esses indicadores fornecem informações fundamentais sobre os processos biogeoquímicos, a disponibilidade de habitats aquáticos e o nível de estresse ambiental imposto tanto pela sazonalidade climática quanto pelas atividades humanas (LEVÊQUE & BURNS, 2017; MATOS *et al.*, 2023).

Diante disso, o presente estudo tem como objetivo analisar a dinâmica espaço-temporal e a estratificação vertical dos parâmetros físico-químicos (pH, OD, CE e temperatura) no rio Farinha, visando: (i) quantificar a variabilidade sazonal desses parâmetros e estabelecer uma linha de base ambiental robusta; (ii) identificar possíveis assinaturas de impacto antrópico a partir de desvios nos padrões sazonais esperados; (iii) fornecer subsídios técnico-científicos para a gestão integrada de bacias hidrográficas e a conservação dos recursos hídricos regionais; e (iv) contribuir

para a compreensão da resiliência de ecossistemas aquáticos submetidos a múltiplas pressões no bioma Cerrado.

É imperioso ressaltar ainda que, a abordagem multidisciplinar adotada integra fundamentos de hidrologia, ecologia aquática e química ambiental, situando esta investigação no campo das ciências aplicadas aos ecossistemas. Possibilitando que os resultados obtidos forneçam dados primários essenciais para a calibração de modelos preditivos, a realização de avaliações de risco ecotoxicológico e a elaboração de estratégias de conservação adaptativa. Tais aplicações tornam-se particularmente pertinentes em contextos marcados pela intensificação do uso do solo e pela dinâmica das mudanças climáticas.

METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido na bacia hidrográfica do rio Farinha, inserida na bacia hidrográfica do rio Tocantins, no estado do Maranhão. A área de estudo possui aproximadamente 55.338,12 hectares e está integralmente localizada no bioma Cerrado (SILVA & PEREIRA, 2024). Para a obtenção dos dados, foram definidos dez pontos de amostragem distribuídos ao longo do curso do rio, desde a região adjacente ao Parque Nacional da Chapada das Mesas (Ponto 1) até a foz do rio Farinha no rio Tocantins (Ponto 10).

As campanhas de amostragem foram realizadas nos meses de fevereiro, abril, junho, agosto e outubro de 2025, de modo a contemplar diferentes períodos do ciclo hidrológico anual. Em cada ponto, as coletas de água foram realizadas em duas profundidades da coluna d'água: subsuperfície (1 m) e profundidade intermediária (2 m), utilizando-se uma garrafa de Van Dorn.

As amostras foram acondicionadas em frascos plásticos esterilizados de 1 litro, devidamente identificadas e armazenadas em caixas térmicas com gelo até o momento das análises. As variáveis pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e temperatura foram mensuradas in situ, em ambas as profundidades, por meio de uma sonda multiparâmetros modelo AK88, permitindo a obtenção de leituras instantâneas e minimizando alterações nos parâmetros analisados.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) em esquema fatorial de dois fatores (mês e profundidade). Quando identificadas interações ou efeitos principais significativos, procedeu-se ao desdobramento das médias por meio do teste de Scott-Knott, adotando-se o nível de 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas com o

auxílio do software ASSISTAT, versão 7.7, sendo o teste de Scott-Knott escolhido por sua eficiência na formação de grupos estatisticamente homogêneos, facilitando a interpretação dos resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Variação do pH ao Longo do Tempo e na Coluna de Água

A análise de variância indicou efeito altamente significativo da interação entre mês e profundidade ($F = 36,03$; $p < 0,01$) sobre os valores de pH da água do rio Farinha (Tabela 1), evidenciando que a variação vertical do pH foi dependente da sazonalidade.

Tabela 1

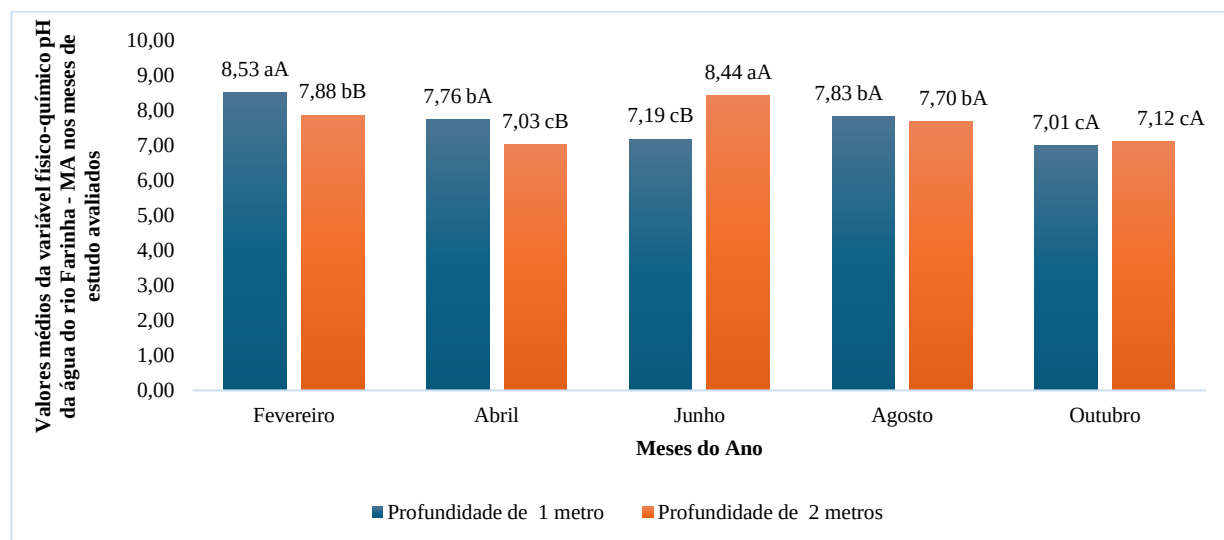
Resultado da Análise estatística da variável físico-químico pH da água do rio Farinha nos meses de estudo avaliados (fevereiro, abril, junho, agosto e outubro)

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F
Meses do ano	4	15,18635	3,79659	42,9619**
Profundidade em cada ponto de coleta	1	0,02280	0,0228	0,2580 ns
Meses do ano x Profundidade em cada ponto de coleta	4	12,73639	3,18410	36,0310**
Tratamento	9	27,94554	3,10506	35,1366**
Resíduo	90	7,95339	0,08837	
Total	99	35,8893		

Nos meses de fevereiro e abril, os valores de pH foram significativamente maiores na subsuperfície (1 m) em comparação à profundidade de 2 m. Em contraste, no mês de junho observou-se um padrão inverso, com valores significativamente mais elevados de pH a 2 m de profundidade. Já nos meses de agosto e outubro, não foram detectadas diferenças estatisticamente significativas entre as profundidades analisadas (Figura 1). O coeficiente de variação de 3,89% indica elevada precisão experimental, enquanto a média geral de pH durante o período de estudo foi de 7,65.

Figura 1

Valores médios de pH da água do rio Farinha nos meses de estudo avaliados (fevereiro, abril, junho, agosto e outubro)



Legenda: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade (CV = 3,89%).

Esses resultados revelam águas levemente alcalinas, condição comum em sistemas fluviais influenciados por litologias sedimentares e por atividades agropecuárias. Do ponto de vista normativo, os valores de pH observados enquadram-se nos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para corpos d'água doces das classes 1, 2 e 3, que prevê faixa aceitável entre 6,0 e 9,0, indicando conformidade com os padrões legais de qualidade da água (BRASIL, 2005).

A diferença observada entre as profundidades nos meses chuvosos pode estar associada ao maior aporte de matéria orgânica dissolvida e de íons provenientes da lixiviação do solo, intensificado pelas precipitações pluviométricas elevadas. Esse aporte inclui substâncias húmicas, como os ácidos fúlvicos e húmicos, resultantes da degradação da matéria orgânica presente nas águas e nos solos adjacentes, especialmente em áreas com vegetação nativa densa. Esses ácidos conferem maior acidez natural à água devido à liberação de prótons (H^+), promovendo uma tendência à diminuição do pH em camadas mais profundas ou menos influenciadas pela fotossíntese (BUENO *et al.*, 2005; SOUZA, 2006; LOPES & MAGALHÃES JR., 2010).

Simultaneamente, a intensificação da atividade fotossintética na camada superficial, durante o período chuvoso, promove o consumo de CO_2 dissolvido, o que eleva o pH nessa zona

e acentua o gradiente vertical de pH.

Por outro lado, a inversão do gradiente vertical registrada em junho sugere alterações nos processos de mistura da coluna d'água, com maior influência do fluxo de base no início do período seco. Esse fluxo, menos enriquecido em matéria orgânica superficial e ácidos húmicos, contribui para uma maior homogeneização dos valores de pH ao longo do perfil. Importante destacar que, apesar das variações sazonais naturais observadas, os valores de pH permaneceram dentro da faixa preconizada pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (geralmente 6,0 a 9,0 para as classes de águas doces mais comuns), sem ultrapassar os limites estabelecidos para preservação da qualidade ambiental e usos múltiplos.

Essa integração reforça que as flutuações no pH são processos hidrológicos e biogeoquímicos naturais, típicos de ambientes aquáticos tropicais influenciados por cobertura vegetal nativa e regimes pluviométricos sazonais, e não indicam impactos antrópicos significativos.

Variação da Condutividade Elétrica na Bacia do Rio Farinha

A condutividade elétrica da água apresentou efeitos altamente significativos em função do mês ($F = 584,16$; $p < 0,01$), da profundidade ($F = 4,47$; $p < 0,05$) e da interação entre esses fatores ($F = 314,54$; $p < 0,01$) (Tabela 2), indicando forte controle sazonal e vertical sobre a concentração de íons dissolvidos.

Tabela 2

Resultado da Análise estatística da variável físico-químico Condutividade Elétrica ($\mu S.cm^{-1}$) da água do rio Farinha nos meses de estudo avaliados (fevereiro, abril, junho, agosto e outubro)

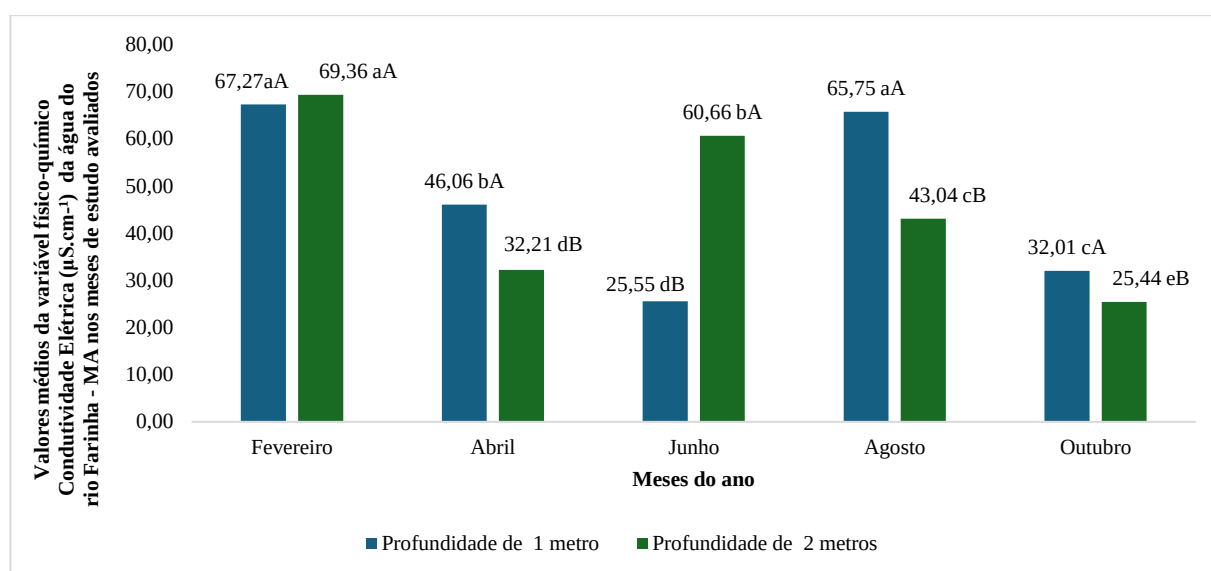
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F
Meses do ano	4	18393,38	4598,35	584,16**
Profundidade em cada ponto de coleta	1	35,16	35,16	4,47*
Meses do ano x Profundidade em cada ponto de coleta	4	9903,89	2475,97	314,54**
Tratamento	9	28332,44	31,48,04872	399,92**
Resíduo	90	708,45	7,87	
Total	99	29040,89		

Os maiores valores de condutividade elétrica foram registrados em fevereiro (período chuvoso intenso), sem diferenças significativas entre as profundidades, refletindo o elevado aporte de íons dissolvidos associado à lixiviação de solos da bacia hidrográfica e ao carreamento

de sedimentos e nutrientes para o canal fluvial. Em abril, observou-se redução acentuada da condutividade, com valores significativamente mais elevados na subsuperfície. Já em junho (início do período seco), verificou-se padrão inverso, com maior condutividade a 2 m de profundidade, sugerindo maior contribuição do fluxo de base (escoamento subterrâneo), mais rico em minerais dissolvidos provenientes de rochas e solos mais profundos. Em agosto, os valores voltaram a aumentar, mantendo-se superiores na subsuperfície, enquanto outubro apresentou os menores valores do período analisado (Figura 2).

Figura 2

Valores médios de Condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) da água do rio Farinha nos meses de estudo avaliados (fevereiro, abril, junho, agosto e outubro)



Legenda: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade ($CV = 6,0\%$).

De forma geral, a elevação da condutividade elétrica nos meses chuvosos pode ser atribuída ao intenso aporte de íons por lixiviação do solo e carreamento superficial, processo típico de regiões tropicais influenciado pelas características geoquímicas locais e pela periodicidade das precipitações (VON SPERLING, 2007; ESTEVES, 2011; PIRATOBA *et al.*, 2017). O uso do solo na bacia pode modificar diretamente a composição química da água, refletindo-se na condutividade elétrica, uma vez que alterações no uso e cobertura do solo intensificam o transporte de sais e nutrientes solúveis (PIRATOBA *et al.*, 2017).

Vale ressaltar que, no Brasil, não existem valores de referência legais específicos para

condutividade elétrica na Resolução CONAMA nº 357/2005 ou em normas correlatas para águas doces continentais. Podem-se adotar, como referência comparativa, os valores propostos por Von Sperling (2007), segundo os quais águas naturais apresentam condutividade na faixa de 10 a 100 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, enquanto ambientes poluídos por esgotos domésticos ou efluentes industriais podem atingir valores de até 1000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (SIQUEIRA, 2018). Os resultados obtidos no rio Farinha situam-se majoritariamente dentro da faixa típica de águas naturais não impactadas, confirmando que as variações observadas são predominantemente sazonais e de origem natural, sem indícios de contaminação antrópica significativa, corroborando com os resultados encontrados por Silva *et al.* (2024).

Variação do Oxigênio Dissolvido (OD) na Bacia do Rio Farinha

A concentração de oxigênio dissolvido (OD) apresentou variação altamente significativa em função dos meses do ano, da profundidade e da interação entre esses fatores (Tabela 3), evidenciando padrões sazonais e verticais bem definidos ao longo do período de estudo. O efeito dos meses foi o fator de maior magnitude ($F = 34,66$; $p < 0,01$), seguido pela profundidade ($F = 16,74$; $p < 0,01$) e pela interação mês $\times$ profundidade ($F = 3,67$; $p < 0,01$), indicando que a dinâmica do OD no rio Farinha é fortemente condicionada pelas variações sazonais do regime hidrológico e pelos processos físicos e biogeoquímicos associados à coluna d'água.

Tabela 3

Resultado da Análise estatística da variável físico-químico Oxigênio Dissolvido ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) da água do rio Farinha nos meses de estudo avaliados (fevereiro, abril, junho, agosto e outubro)

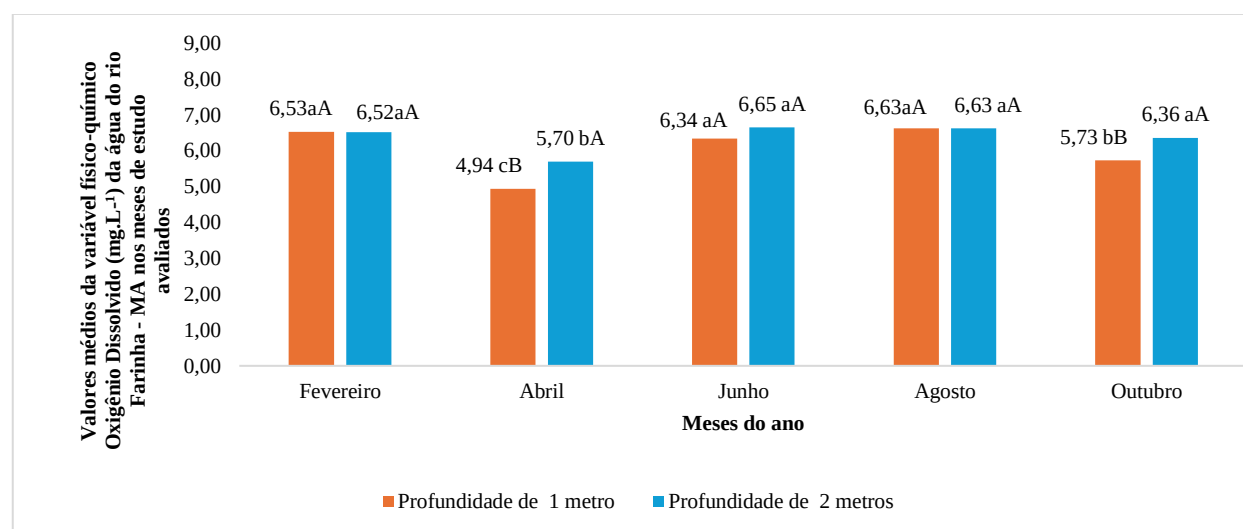
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F
Meses do ano	4	23,539	5,88	34,66**
Profundidade em cada ponto de coleta	1	2,843	2,84	16,74**
Meses do ano x Profundidade em cada ponto de coleta	4	2,495	0,62	3,67**
Tratamento	9	28,877	3,21	18,90**
Resíduo	90	15,283	0,17	
Total	99	44,16		

Nos meses de fevereiro, junho e agosto, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre as profundidades avaliadas, com valores médios de OD variando entre 6,34 e 6,65 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, o que sugere uma condição de relativa homogeneidade vertical da coluna d'água nesses períodos. Em abril, por outro lado, registraram-se os menores valores médios de OD,

associados a um gradiente vertical significativo, com maiores concentrações a 2 m de profundidade. Já no mês de outubro, observou-se um padrão de estratificação vertical, com maiores valores de OD na profundidade intermediária (Figura 3). O coeficiente de variação de 6,64% indica elevada precisão experimental, reforçando a confiabilidade dos resultados obtidos. A média geral de OD ao longo do período de estudo foi de $6,20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, valor compatível com sistemas fluviais de boa qualidade ambiental.

Figura 3

Valores médios de Oxigênio Dissolvido ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) da água do rio Farinha nos meses de estudo avaliados (fevereiro, abril, junho, agosto e outubro)



Legenda: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade ($CV = 6,64\%$).

Os menores valores de OD observados em abril podem estar associados à intensificação dos processos de decomposição da matéria orgânica transportada para o rio durante o período chuvoso. As chuvas mais intensas favorecem o carreamento de sedimentos finos, resíduos orgânicos e nutrientes provenientes da bacia de drenagem, aumentando a atividade microbiana e, consequentemente, o consumo de oxigênio dissolvido. De acordo com a CETESB (2024), o OD constitui um fator limitante essencial para a manutenção da vida aquática e para os processos naturais de autodepuração dos ecossistemas aquáticos, sendo diretamente consumido durante a degradação da matéria orgânica por microrganismos aeróbios.

Nesse contexto, a influência das atividades antrópicas desenvolvidas ao longo da bacia hidrográfica deve ser considerada na interpretação da dinâmica do OD. Estudos realizados por

Santos e Medeiros (2023), na bacia do Rio Paraíba do Meio, demonstram que práticas como agricultura, pecuária, ocupação irregular das margens fluviais e a deficiência dos sistemas de esgotamento sanitário contribuem para o aumento do aporte de matéria orgânica e nutrientes nos corpos d'água. Esses fatores intensificam a demanda bioquímica de oxigênio e favorecem processos de eutrofização, especialmente durante períodos de maior precipitação, quando o transporte difuso de poluentes é potencializado. Embora se trate de outra bacia hidrográfica, tais processos são análogos aos observados em sistemas fluviais com características semelhantes, como o rio Farinha, reforçando a relação entre uso e ocupação do solo e a variabilidade do OD.

Quando há disponibilidade adequada de oxigênio dissolvido, a matéria orgânica é eficientemente mineralizada e os nutrientes regenerados podem ser assimilados pela flora aquática; entretanto, em situações de aporte excessivo, o consumo de OD pode superar sua reposição natural, desencadeando estágios avançados de eutrofização, caracterizados pelo crescimento excessivo de organismos fotossintetizantes e por impactos negativos sobre a fauna aquática (BARRETO *et al.*, 2013; MENDONÇA, GONÇALVES & RIGUE, 2020).

Por outro lado, o aumento das concentrações de OD observado em outubro, especialmente em maior profundidade, pode estar associado à dinâmica hidrodinâmica do rio, incluindo efeitos de remanso relacionados à barragem da UHE Estreito, que favorecem a mistura da coluna d'água e a redistribuição do oxigênio. Adicionalmente, as variações sazonais de temperatura exercem influência direta sobre a solubilidade do oxigênio na água, uma vez que temperaturas mais elevadas reduzem sua capacidade de dissolução (MALMÆUS *et al.*, 2006; ZWOLSMAN & VAN BOKHOVEN, 2007; VAN VLIET & ZWOLSMAN, 2008; DELPLA *et al.*, 2011; SILVA, 2024), o que pode explicar os padrões observados nos períodos de transição entre estações.

É importante destacar que os valores médios de OD registrados no rio Farinha permaneceram acima dos limites mínimos estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces, que preconiza concentrações iguais ou superiores a $5,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ para corpos d'água enquadrados na Classe 2 e superiores a $6,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ para Classe 1, em condições adequadas à preservação da vida aquática. Dessa forma, apesar das variações sazonais observadas, os resultados indicam que a qualidade ambiental do rio Farinha não se encontra comprometida, sendo as flutuações de OD predominantemente associadas a processos naturais, modulados pela hidrologia e pelo uso e ocupação da bacia hidrográfica.

Variação da Temperatura da Água na Bacia do Rio Farinha

A temperatura da água apresentou comportamento sazonal complexo, com efeito altamente significativo do mês ($F = 21,98$; $p < 0,01$) e, sobretudo, da interação entre mês e profundidade ($F = 99,25$; $p < 0,01$). O efeito isolado da profundidade não foi significativo ($F = 2,59$; $p > 0,05$), indicando que as diferenças térmicas verticais dependem fortemente da época do ano (Tabela 4).

Tabela 4

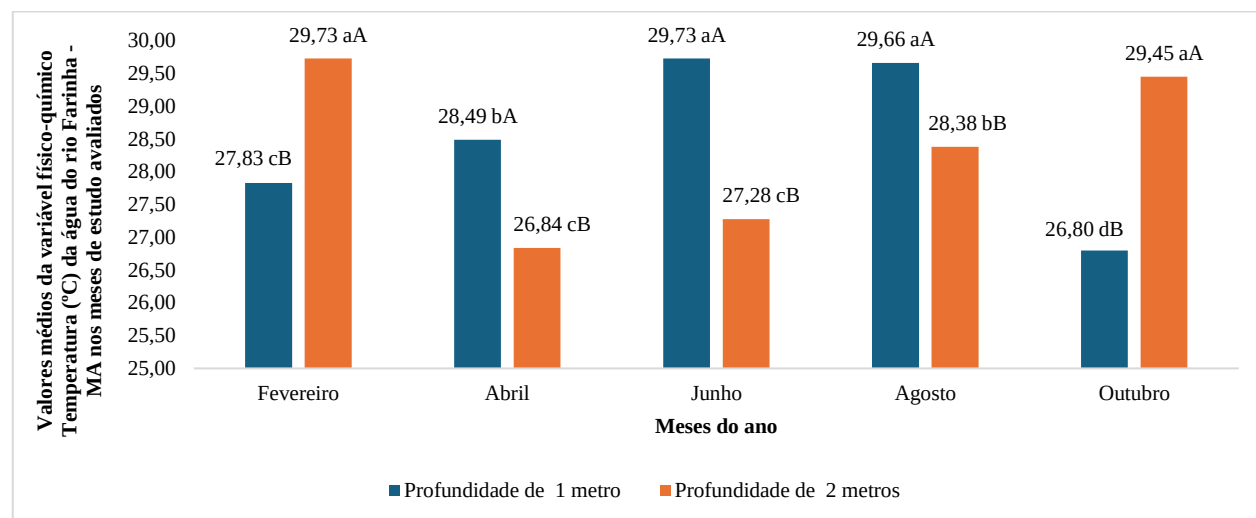
Resultado da Análise estatística da variável físico-químico Temperatura (°C) da água do rio Farinha nos meses de estudo avaliados (fevereiro, abril, junho, agosto e outubro)

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F
Meses do ano	4	23,059	5,76	21,98**
Profundidade em cada ponto de coleta	1	,681	0,68	2,59 ns
Meses do ano x Profundidade em cada ponto de coleta	4	104,143	26,04	99,25**
Tratamento	9	127,882	14,21	54,17**
Resíduo	90	23,609	0,26	
Total	99	151,492		

A análise da interação mês $\times$ profundidade revelou variação sazonal bem definida no padrão de estratificação térmica da coluna d'água. Nos meses de fevereiro, abril e junho, observou-se um gradiente térmico típico, caracterizado por temperaturas significativamente mais elevadas na subsuperfície (1 m) em relação à profundidade de 2 m. As maiores diferenças térmicas ocorreram nos meses de junho e agosto, quando a temperatura superficial atingiu aproximadamente 29,7 °C, refletindo maior incidência de radiação solar e menor mistura vertical durante esse período (Figura 4).

Figura 4

Valores médios de Temperatura (°C) da água do rio Farinha nos meses de estudo avaliados (fevereiro, abril, junho, agosto e outubro)



Legenda: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade (CV = 1,80%).

Em contraste, nos meses de fevereiro e outubro, verificou-se um padrão térmico atípico, caracterizado por homotermia ou inversão térmica. No mês de fevereiro, as temperaturas foram semelhantes entre as profundidades, sugerindo maior mistura da coluna d'água. Já no mês de outubro, observou-se inversão térmica significativa, com a temperatura a 2 m de profundidade (29,4 °C) superior à registrada na subsuperfície, que apresentou o menor valor do período estudado (26,8 °C). Esse comportamento pode estar associado à redução da radiação incidente na superfície, maior perda de calor por evaporação e à influência do fluxo de base, que tende a apresentar temperaturas mais estáveis e elevadas em profundidade.

A temperatura da água desempenha papel central na dinâmica dos ecossistemas aquáticos, uma vez que está diretamente associada à solubilidade do oxigênio dissolvido, à taxa metabólica dos organismos e à intensificação dos efeitos de contaminantes presentes no sistema. A elevada precisão experimental do parâmetro, evidenciada pelo baixo coeficiente de variação (CV = 1,80%), confere robustez aos resultados obtidos. A temperatura média geral da água ao longo do período de estudo foi de 28,42 °C, valor compatível com sistemas fluviais tropicais inseridos no bioma Cerrado. Em períodos de temperaturas mais elevadas, observa-se aumento da atividade metabólica da biota aquática, acompanhado por maior consumo de oxigênio, o que pode ampliar a sensibilidade do ambiente aos impactos antrópicos. Nesse contexto, as variações sazonais e

verticais da temperatura registradas no rio Farinha, especialmente nos meses de maior estratificação térmica, indicam condições potencialmente mais críticas para a qualidade da água, reforçando a importância do monitoramento integrado de parâmetros térmicos, físico-químicos e biológicos em bacias hidrográficas sob influência de atividades agropecuárias (CETESB, 2024a).

As variações térmicas observadas, portanto, exercem influência direta sobre processos físico-químicos e biológicos, como a solubilidade do oxigênio dissolvido, a atividade metabólica da biota aquática e a dinâmica dos nutrientes, reforçando a importância do monitoramento contínuo desse parâmetro em bacias sujeitas a múltiplas pressões antrópicas.

CONCLUSÃO

O rio Farinha apresenta elevada variabilidade sazonal em sua composição físico-química, fortemente condicionada pela interação entre o regime hidrológico e o uso do solo na bacia. A estratificação vertical observada para pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido evidencia um sistema fluvial dinâmico, no qual a coluna d'água responde de maneira diferenciada às mudanças sazonais e aos processos hidrológicos. Os resultados obtidos estabelecem uma linha de base consistente para o monitoramento ambiental do Cerrado maranhense. Embora o rio mantenha, de modo geral, níveis adequados de oxigenação, as flutuações observadas nos valores de pH e condutividade elétrica configuram sinais de alerta quanto às pressões decorrentes da expansão agropecuária e da infraestrutura energética regional. Dessa forma, o estudo fornece subsídios técnicos relevantes para a gestão integrada da bacia hidrográfica e para o planejamento de ações voltadas à conservação dos recursos hídricos.

AGRADECIMENTOS

Este estudo contou com o apoio institucional e financeiro da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), por intermédio da Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação (PROPGI), por meio da concessão da Bolsa Produtividade, a qual viabilizou os recursos necessários para a realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS

BARETO, L. V.; BARROS, F. M.; BONOMO, P.; ROCHA, F. A.; AMORIM, J. S. da.

- Eutrofização em rios brasileiros. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 16, n. 29, p. 2165–2179, 2013.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 18 mar. 2005.
- BUENO, L. F.; GALBIATTI, J. A.; BORGES, M. J. Monitoramento de variáveis de qualidade da água do Horto Ouro Verde, Conchal – SP. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 742–748, set./dez. 2005.
- CAMPOS, R. F. F. de; BARCAROLLI, I. F. Análise da interação antrópica na qualidade da água de um sistema lótico, Rio do Peixe, Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 16, n. 1, p. 542–556, 2023.
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Mortandade de peixes**: Oxigênio dissolvido. São Paulo, 2024. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 20 de dezembro, 2025.
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Mortandade de peixes**: Temperatura da água. São Paulo, 2024a. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 20 de dezembro, 2025.
- DELPLA, I.; JUNG, A. V.; BAURES, E.; CLÉMENT, M.; THOMAS, O. Impactos da mudança climática na qualidade da água da superfície em relação à produção da água de beber. **Revista Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 85–107, 2011.
- EISENBERG, J. N. S.; BARTRAM, J.; WADE, T. J. The water quality in Rio highlights the global public health concern over untreated sewage. **Environmental Health Perspectives**, v. 124, p. 180–181, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1289/EHP187>.
- ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.
- LEVÊQUE, J. G.; BURNS, R. C. A structural equation modeling approach to water quality perceptions. **Journal of Environmental Management**, v. 197, p. 440–447, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.086>.
- LOPES, F. W. de A.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. Influência das condições naturais de pH sobre o índice de qualidade das águas (IQA) na bacia do Ribeirão de Carrancas. **Revista Geografias**, Belo Horizonte, v. 6, n. 2, p. 134–137, 2010. DOI: <https://doi.org/10.35699/2237-549X.13301>.
- MALMAEUS, J. M.; BLENCKNER, T.; MARKENSTEN, H.; PERSSON, I. Lake phosphorus dynamics and climate warming: A mechanistic model approach. **Ecological Modelling**, v. 190, n. 1–2, p. 1–14, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.017>.

- MATOS, A. S. et al. Caracterização da qualidade da água dos afluentes do córrego Trindade em Itumbiara-GO. **Revista Ifes Ciência**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 1–10, 2023. DOI: <https://doi.org/10.36524/ric.v9i1.1798>.
- MENDONÇA, J. K.; GONÇALVES, D. F.; RIGUE, F. M. Experimento para determinação semiquantitativa de oxigênio dissolvido em água doce. **Revista Sítio Novo**, Porto Nacional, v. 4, n. 1, p. 53–61, 2020.
- NOBRE, N. C. et al. Caracterização morfométrica, climática e de uso do solo da bacia hidrográfica do Rio Farinha – MA. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 9, n. 1, p. 11–34, 2020. DOI: <https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v9i1.19021>.
- PIRATOBA, A. V. A. et al. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. **Ambiente & Água**, Taubaté, v. 12, n. 3, 2017. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1999>.
- SANTOS, E. D. O.; MEDEIROS, P. R. P. A ação antrópica e o processo de eutrofização no Rio Paraíba do Meio. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 35, e66441, 2023. DOI: <https://doi.org/10.14393/SN-v35-2023-66441>.
- SIQUEIRA, R. C. **Avaliação do pH e condutividade em águas superficiais na barragem de rejeitos em Minas do Camaquã**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Minas) – Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 2018.
- SILVA, C. M. da. **Perdas de água, solo e nutrientes em bacias hidrográficas do cerrado maranhense: Estudo de caso da bacia do Rio Farinha – MA**. 2024. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2024.
- SILVA, C. M. da; BRITO, L. G. de; SILVA, M. M. A. da; CARVALHO, A. E. F. B. de; ALMEIDA JÚNIOR, J. P. de; SILVA, M. F. da; SILVA, W. A. da; PEREIRA FILHO, J. Analysis of the physico-chemical relationship between losses of water, soil and soil nutrients in the water of the Farinha River – MA. **Caderno Pedagógico**, [S. l.], v. 21, n. 9, e8028, 2024. DOI: <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n9-206>.
- SILVA, C. M. da; PEREIRA FILHO, J. Variations in land use and land cover in a region of the Brazilian Cerrado: A case study of the Farinha River Basin, MA, and Chapada das Mesas National Park. **Agua y Territorio**, Jaén, n. 25, e8285, 2025. DOI: <https://doi.org/10.17561/at.25.8285>.
- SOUZA, R. A. S. **Avaliação das frações de fosfato como indicadores de eutrofização de águas superficiais**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.
- VAN VLIET, M. T. H.; ZWOLSMAN, J. J. G. Impact of summer droughts on the water quality of the Meuse River. **Journal of Hydrology**, v. 353, n. 1–4, p. 1–17, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.01.001>.
- VON SPERLING, M. **Estudos de modelagem da qualidade da água em rios**. Belo Horizonte:

Editora UFMG, 2007.

ZWOLSMAN, J. J. G.; VAN BOKHOVEN, A. J. Impact of summer droughts on water quality of the Rhine River – A preview of climate change? **Water Science and Technology**, v. 56, n. 4, p. 45–55, 2007. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2007.535>.