



Influência da sazonalidade e da ocupação urbana nos parâmetros físico-químicos da água de manguezal em Turiaçu (Maranhão, Brasil)

Influence of seasonality and urban occupation on the physicochemical parameters of mangrove water in Turiaçu (Maranhão, Brazil)

Influencia de la estacionalidad y de la ocupación urbana en los parámetros físicoquímicos del agua de manglar en Turiaçu (Maranhão, Brasil)

Letícia Alves dos Santos¹, Maria Eduarda Cabral Bezerra², Regineide de Oliveira Lima³, Geyse Adriana Corrêa Ribeiro⁴, Núbia Fernanda Marinho Rodrigues⁵, Joao Paulo Tenorio da Silva Santos⁶

1. Universidade Federal do Maranhão, E-mail: alves.leticia@discente.ufma.br, 2. Universidade Federal do Maranhão, E-mail: mec.bezerra@discente.ufma.br, 3. Universidade Federal do Maranhão, E-mail: regineide.lima@ufma.br, 4. Universidade Federal do Maranhão, E-mail: geyse.correa@ufma.br, 5. Universidade Federal do Maranhão, E-mail: nubia.fernanda@ufma.br, 6. Universidade Federal do Maranhão, E-mail: joaotenorio1992@gmail.com

Resumo – Os manguezais são ecossistemas costeiros de elevada relevância ecológica; entretanto, a ocupação urbana desordenada e o lançamento inadequado de efluentes domésticos podem comprometer a qualidade da água nesses ambientes. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo analisar as características físico-químicas da água em áreas sob influência do crescimento urbano desordenado no manguezal do município de Turiaçu/MA. As coletas foram realizadas em três pontos com diferentes níveis de ocupação urbana, durante três períodos sazonais de 2024: maio (período chuvoso), agosto (transição) e outubro (estiagem avançada). Foram analisados os parâmetros pH, oxigênio dissolvido (OD), nitrito (NO_2^-), amônia (NH_3), sólidos totais dissolvidos (STD) e temperatura da água. Os resultados evidenciaram a influência da sazonalidade e da ocupação urbana sobre a dinâmica físico-química da água do manguezal. Os valores de pH variaram entre 6,53 e 7,20, com baixa variação ao longo dos períodos avaliados. O ponto CDK apresentou maior sensibilidade às variações sazonais, destacando-se pelas maiores concentrações de nitrito (0,50 ppm) e amônia (0,0100 ppm). O ponto Rabelão apresentou a menor concentração de oxigênio dissolvido (4,12 ppm), enquanto o ponto Zé Cândido demonstrou maior estabilidade físico-química e maiores concentrações de OD (11,00 ppm). A temperatura variou entre 26,4°C e 29,7°C, e os valores de STD oscilaram entre 4,80 e 6,61 ppm. Conclui-se que a sazonalidade e o nível de ocupação urbana influenciaram diretamente a qualidade da água no manguezal estudado, especialmente nos períodos de menor pluviosidade.

Palavras-chave: Ambiente estuarino. Antropização. Monitoramento ambiental. Ecossistemas costeiros. Águas salobras.

Abstract – Mangrove ecosystems are coastal environments of high ecological importance; however, disordered urban occupation and the inadequate discharge of domestic effluents may compromise water quality in these areas. In this context, the present study aimed to analyze the



physicochemical characteristics of water in areas influenced by disordered urban growth in the mangrove of the municipality of Turiaçu, Maranhão, Brazil. Samples were collected at three different levels of urban occupation during three seasonal periods in 2024: May (rainy season), August (transition period), and October (advanced dry season). The parameters analyzed were pH, dissolved oxygen (DO), nitrite (NO_2^-), ammonia (NH_3), total dissolved solids (TDS), and water temperature. The results showed the influence of seasonality and urban occupation on the physicochemical dynamics of mangrove water. pH values ranged from 6.53 to 7.20, with little variation throughout the evaluated periods. The CDK site showed greater sensitivity to seasonal variations, standing out for the highest nitrite (0.50 ppm) and ammonia (0.0100 ppm) concentrations. The Rabelão site showed the lowest dissolved oxygen concentration (4.12 ppm), whereas the Zé Cândido site showed greater physicochemical stability and higher DO concentrations (11.00 ppm). Temperature ranged from 26.4°C to 29.7°C, and TDS values ranged from 4.80 to 6.61 ppm. The findings indicate that seasonality and the level of urban occupation directly influenced water quality in the studied mangrove, especially during periods of lower rainfall.

Keywords: Estuarine environment. Anthropization. Environmental monitoring. Coastal ecosystems. Brackish waters.

Resumen – Los manglares son ecosistemas costeros de gran importancia ecológica; sin embargo, la ocupación urbana desordenada y el vertido inadecuado de efluentes domésticos pueden comprometer la calidad del agua de estos ambientes. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo analizar las características físicoquímicas del agua en áreas bajo la influencia del crecimiento urbano desordenado en el manglar del municipio de Turiaçu/MA. Las muestras se recolectaron en tres puntos con diferentes niveles de ocupación urbana durante tres períodos estacionales de 2024: mayo (lluvioso), agosto (transición) y octubre (sequía avanzada). Se analizaron los parámetros pH, oxígeno disuelto (OD), nitrito (NO_2^-), amoníaco (NH_3), sólidos disueltos totales (SDT) y temperatura del agua. Los resultados evidenciaron la influencia de la estacionalidad y de la ocupación urbana sobre la dinámica físicoquímica del agua del manglar. Los valores de pH variaron entre 6,53 y 7,20, presentando poca variación a lo largo de los períodos evaluados. El punto CDK presentó mayor sensibilidad a las variaciones estacionales, destacándose por las mayores concentraciones de nitrito (0,50 ppm) y amoníaco (0,0100 ppm). El punto Rabelão presentó la menor concentración de oxígeno disuelto (4,12 ppm), mientras que el punto Zé Cândido presentó mayor estabilidad físicoquímica y mayores concentraciones de OD (11,00 ppm). La temperatura varió entre 26,4°C y 29,7°C, y los valores de SDT oscilaron entre 4,80 y 6,61 ppm. Los resultados indican que la estacionalidad y el nivel de ocupación urbana influyeron directamente en la calidad del agua del manglar estudiado, especialmente en los períodos de menor precipitación.

Palabras clave: Ambiente estuarino. Antropización. Monitoreo ambiental. Ecosistemas costeiros. Aguas salobres.



Introdução

Nas últimas décadas, o avanço tecnológico e industrial impulsionou intenso fluxo migratório da zona rural para o meio urbano, resultando em crescimento urbano acelerado e expansão desordenada das cidades. Como consequência, populações com menor poder aquisitivo passaram a ocupar áreas ambientalmente vulneráveis, incluindo regiões de manguezal, provocando alterações na estrutura ecológica e nas características físico-químicas desses ecossistemas (MOSCHETTO et al., 2021).

Os manguezais são ecossistemas de transição entre os ambientes terrestre e marinho, característicos de regiões tropicais e subtropicais. Esses ambientes desempenham funções ecológicas fundamentais, atuando na ciclagem de nutrientes, proteção da linha costeira e manutenção da biodiversidade, além de servirem como berçários naturais para diversas espécies aquáticas. Em ambientes estuarinos, alterações nos parâmetros físico-químicos da água podem comprometer diretamente o equilíbrio ecológico do sistema e afetar a dinâmica biogeoquímica desses ecossistemas (CAI et al., 2021). No entanto, a ocupação urbana desordenada e o lançamento inadequado de resíduos e efluentes podem modificar parâmetros físico-químicos importantes, como pH, oxigênio dissolvido, nitrito, sólidos totais dissolvidos (STD), temperatura e amônia (WANG et al., 2021).

No município de Turiaçu/MA, a ausência de saneamento básico e o descarte direto de resíduos domésticos e efluentes no manguezal intensificam a degradação ambiental. A economia local depende significativamente da pesca artesanal e da extração de recursos naturais associados ao mangue, de modo que alterações na qualidade da água podem refletir diretamente na segurança alimentar, na qualidade ambiental e na saúde da população (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2024). Além disso, estudos recentes demonstram que o aporte de nutrientes e matéria orgânica em ambientes estuarinos pode favorecer processos de eutrofização, redução do oxigênio dissolvido e alterações na dinâmica do nitrogênio em sistemas costeiros sob influência antrópica (SANTOS et al., 2023; SURESH et al., 2023).

A análise dos parâmetros físico-químicos da água constitui importante ferramenta para o monitoramento dos impactos antropogênicos em ecossistemas aquáticos. A variação desses parâmetros pode indicar alterações ambientais relacionadas ao lançamento de poluentes orgânicos e químicos, nem sempre perceptíveis visualmente (BIFANO et al., 2020). Nesse contexto, compreender a influência da sazonalidade e dos diferentes níveis de ocupação urbana sobre a qualidade da água torna-se essencial para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ecossistemas estuarinos e manguezais.

Diante disso, este estudo justifica-se pela necessidade de ampliar o conhecimento sobre a qualidade da água em áreas de manguezal no município de Turiaçu/MA, contribuindo com dados científicos que possam subsidiar ações de conservação ambiental e políticas públicas voltadas ao saneamento básico e à gestão dos recursos hídricos. Além disso, estudos ambientais em municípios costeiros maranhenses ainda são relativamente escassos, especialmente considerando a influência conjunta da sazonalidade e da ocupação urbana sobre os parâmetros físico-químicos da água. O trabalho também se alinha ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6, relacionado à melhoria da qualidade da água, e ao ODS 14, voltado à conservação e uso sustentável dos oceanos e ecossistemas marinhos (ONU, 2015).

O objetivo geral deste estudo foi analisar as características físico-químicas da água em áreas sob influência de crescimento urbano desordenado no manguezal de Turiaçu/MA.



Especificamente, buscou-se comparar os parâmetros pH, oxigênio dissolvido (OD), amônia (NH_3), nitrito (NO_2^-), temperatura e sólidos totais dissolvidos (STD) em três pontos com diferentes níveis de ocupação urbana (alta, média e baixa), identificar os principais impactos ambientais associados ao descarte de resíduos e efluentes e verificar a conformidade dos dados obtidos com os padrões estabelecidos pela legislação ambiental vigente.

Materiais e métodos

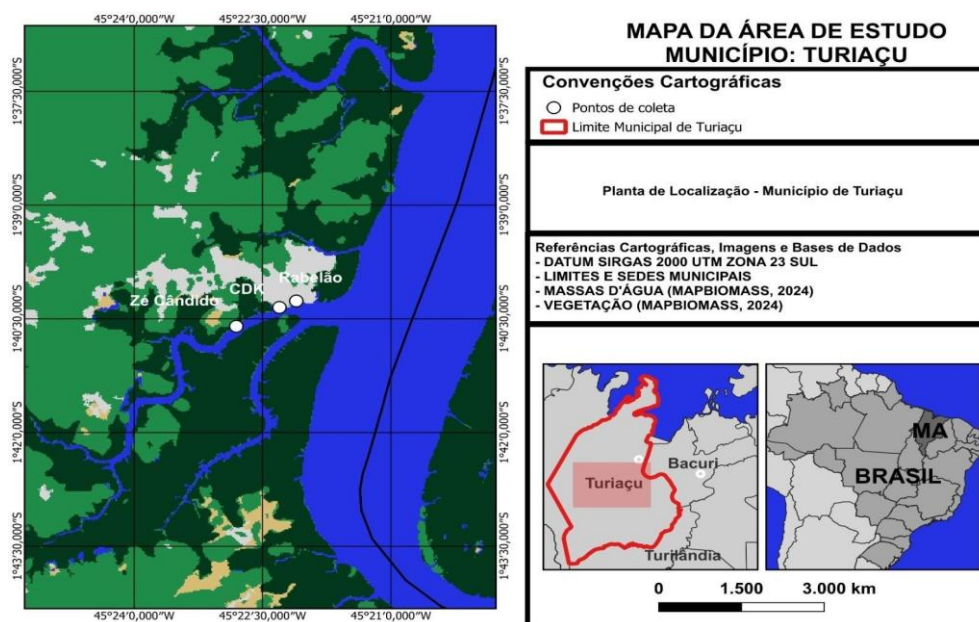
Área de estudo

O estudo foi realizado no município de Turiaçu, localizado na região litoral do estado do Maranhão, em área de influência estuarina associada a ecossistemas de manguezal. A região apresenta forte influência das marés e elevada importância ecológica, desempenhando papel fundamental na manutenção da biodiversidade costeira e na dinâmica biogeoquímica dos ambientes aquáticos.

Foram selecionados três pontos amostrais localizados em áreas com diferentes níveis de ocupação urbana e influência antrópica: CDK (média ocupação), Rabelão (alta ocupação) e Zé Cândido (baixa ocupação). A seleção dos pontos considerou as diferenças no nível de ocupação urbana e nas características ambientais observadas nas áreas de coleta.

A Figura 1 apresenta a localização dos pontos de coleta no município de Turiaçu/MA.

Figura 1 – Localização dos pontos de coleta no município de Turiaçu/MA.



Coleta das amostras

As coletas foram realizadas em três períodos sazonais de 2024, correspondentes aos meses de maio (período chuvoso), agosto (período de transição) e outubro (estiagem avançada). As coletas ocorreram durante o período de maré baixa. As amostras de água foram coletadas



em frascos apropriados de plástico Polietileno Tereftalato (PET) com volume 1 L e encaminhadas para análise no Laboratório de Química da Universidade Federal do Maranhão, Campus de Pinheiro.

Determinação dos parâmetros físico-químicos

Os parâmetros físico-químicos analisados foram: potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido (OD), nitrito (NO_2^-), amônia (NH_3), sólidos totais dissolvidos (STD) e temperatura da água.

O pH foi determinado utilizando pHmetro portátil previamente calibrado (Cloroph, modelo 009), com leituras realizadas em triplicata. As concentrações de oxigênio dissolvido, nitrito e amônia foram determinadas por meio de kits colorimétricos comerciais, seguindo as recomendações dos fabricantes. Os sólidos totais dissolvidos foram aferidos com medidor digital específico, com leitura em ppm após estabilização do equipamento. A temperatura da água foi medida *in situ* utilizando termômetro digital à prova d'água (WMeter, modelo TP101).

Os resultados obtidos foram comparados aos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 357/2005 para águas salobras Classe 2.

Resultados e discussão

Os parâmetros físico-químicos analisados apresentaram variações espaciais e sazonais significativas entre os pontos amostrais, evidenciando a influência conjunta da ocupação antrópica e da dinâmica hidrológica local sobre a qualidade da água do manguezal de Turiaçu/MA. De maneira geral, os pontos localizados em áreas de média e alta ocupação urbana apresentaram maiores alterações nos parâmetros avaliados, especialmente durante os períodos de menor pluviosidade, quando a redução da renovação hídrica favorece a concentração de poluentes e alterações nas condições físico-químicas do sistema.

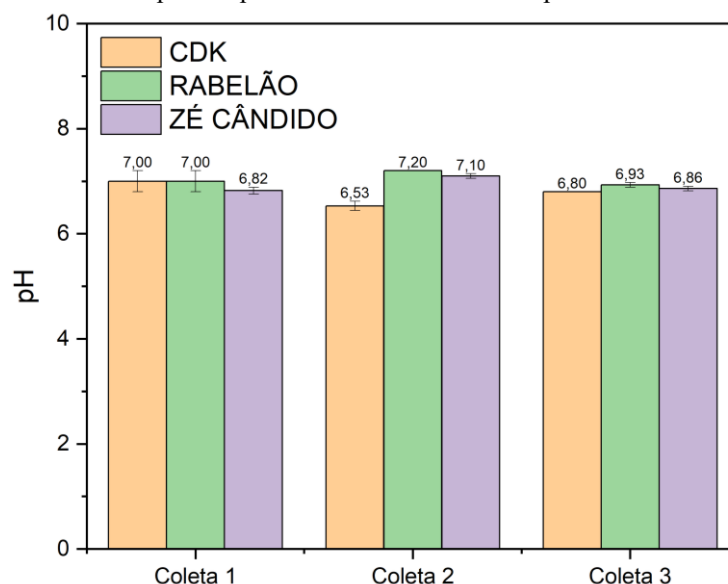
As variações observadas para pH, nitrito, amônia, sólidos totais dissolvidos (STD), oxigênio dissolvido (OD) e temperatura refletem tanto os efeitos da sazonalidade climática quanto o aporte de efluentes domésticos provenientes da ocupação desordenada das áreas de manguezal. A seguir, os resultados são apresentados e discutidos individualmente para cada parâmetro analisado.

Potencial hidrogeniônico (pH)

A Figura 2 apresenta a variação espacial e sazonal dos valores de pH nos três pontos amostrais localizados no manguezal de Turiaçu/MA. De modo geral, os valores permaneceram em faixa próxima à neutralidade ao longo dos períodos analisados, variando entre 6,53 e 7,20, indicando relativa estabilidade do sistema aquático quanto ao potencial hidrogeniônico.



Figura 2 – Valores de pH nos pontos amostrais durante os períodos sazonais avaliados.



A manutenção do pH em faixas próximas à neutralidade é fundamental para o equilíbrio dos ambientes aquáticos, uma vez que alterações acentuadas nesse parâmetro podem afetar organismos aquáticos e interferir em processos químicos e biológicos essenciais do sistema estuarino (CAI et al., 2021).

O ponto Zé Cândido apresentou maior estabilidade nos valores de pH ao longo dos períodos analisados, mantendo baixa variação do parâmetro entre as coletas, o que sugere menor influência antrópica e maior equilíbrio ambiental do ecossistema.

Em contrapartida, o ponto CDK apresentou a maior variação sazonal observada, com redução para pH 6,53 na coleta 2, indicando possível influência do acúmulo de matéria orgânica e da menor renovação hídrica durante o período de transição sazonal.

Embora o ponto Rabelão esteja localizado em uma área de maior ocupação urbana, os valores de pH permaneceram relativamente estáveis, possivelmente em função da influência da dinâmica de marés e da capacidade tamponante característica de ambientes estuarinos. Essa condição contribui para minimizar alterações bruscas no potencial hidrogeniônico da água.

Apesar das oscilações observadas entre os pontos amostrais, os valores permaneceram, em sua maioria, dentro da faixa estabelecida pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas salobras Classe 2, indicando ausência de acidificação crítica no sistema estudado.

Nitrito (NO_2^-)

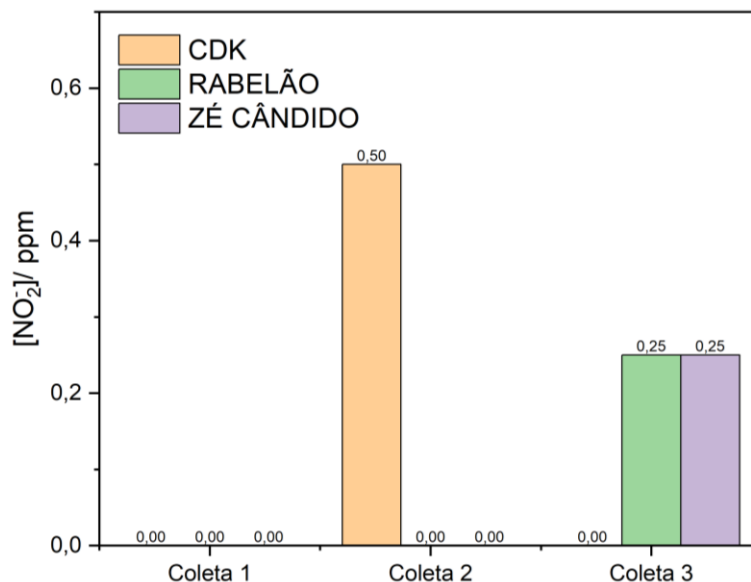
A Figura 3 apresenta a variação espacial e sazonal das concentrações de nitrito nos pontos amostrais avaliados. Observa-se que o composto apresentou comportamento fortemente influenciado pela sazonalidade, com ausência de detecção durante a coleta 1 e ocorrência de picos de concentração nos períodos subsequentes.

O ponto CDK apresentou a condição mais crítica durante a coleta 2, registrando concentração de 0,50 ppm, valor significativamente superior ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas salobras.



O aumento da concentração de nitrito nesse ponto sugere alterações na dinâmica do nitrogênio no sistema aquático, possivelmente associadas ao acúmulo de matéria orgânica e ao aporte de efluentes domésticos. Além disso, a redução da renovação hídrica durante o período de transição sazonal pode ter favorecido o acúmulo temporário de compostos nitrogenados no sistema (SANTOS et al., 2023; SURESH et al., 2023).

Figura 3 – Concentração de nitrito (NO_2^-) nos diferentes pontos amostrais durante os períodos de coleta.



Na coleta 3, correspondente ao período de estiagem mais avançada, observou-se aumento simultâneo das concentrações de nitrito nos pontos Rabelão e Zé Cândido (0,25 ppm), indicando que a redução do volume hídrico e a maior concentração de poluentes dissolvidos podem influenciar a dinâmica do nitrogênio mesmo em áreas com menor ocupação urbana. Esse comportamento evidencia a importância da sazonalidade na qualidade da água do manguezal, especialmente durante períodos de baixa pluviosidade, quando a capacidade de diluição do sistema se torna reduzida.

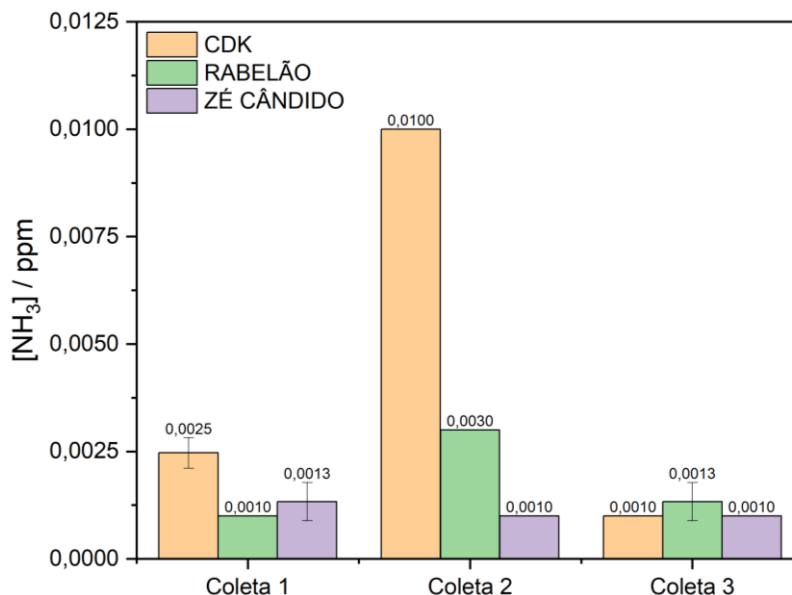
Além dos impactos sobre a qualidade ambiental, concentrações elevadas de nitrito podem representar risco à biota aquática, uma vez que o composto interfere no transporte de oxigênio em organismos aquáticos e pode comprometer o equilíbrio ecológico do ecossistema.

Amônia (NH_3)

A Figura 4 apresenta a variação espacial e sazonal das concentrações de amônia nos pontos amostrais avaliados. De maneira geral, os valores observados permaneceram baixos ao longo dos períodos analisados, indicando ausência de acúmulo desse composto nitrogenado no sistema aquático estudado.



Figura 4 – Concentração de amônia (NH_3) nos pontos amostrais durante os períodos avaliados.



O ponto CDK apresentou a maior concentração de amônia durante a coleta 2 (0,010 ppm), evidenciando comportamento semelhante ao observado para o nitrito no mesmo período. Esse resultado sugere possível alteração temporária na dinâmica do ciclo do nitrogênio, associada ao acúmulo localizado de matéria orgânica e à redução da renovação hídrica durante o período de transição sazonal.

Nos pontos Rabelão e Zé Cândido, as concentrações permaneceram reduzidas durante todas as coletas, apresentando apenas pequenas oscilações sazonais. Além disso, observou-se redução geral das concentrações na coleta 3, indicando possível restabelecimento das condições de equilíbrio do sistema e continuidade dos processos de transformação biológica do nitrogênio no ambiente aquático.

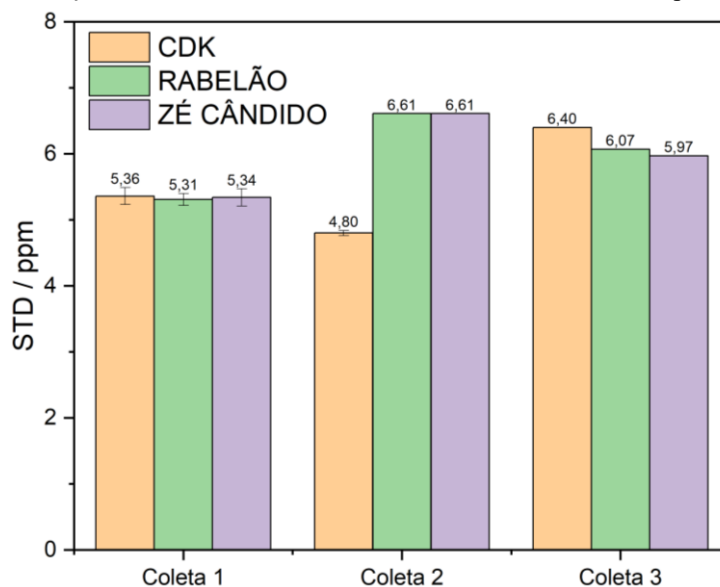
Apesar das variações observadas entre os pontos amostrais, todos os valores registrados permaneceram significativamente inferiores ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas salobras, indicando ausência de comprometimento crítico da qualidade da água em relação ao parâmetro avaliado.

Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

A Figura 5 apresenta a variação espacial e sazonal dos sólidos totais dissolvidos (STD) nos pontos amostrais avaliados. Observa-se que os valores apresentaram variações entre os períodos de coleta, evidenciando influência da sazonalidade e da dinâmica hidrológica característica do ambiente de manguezal.



Figura 5 – Variação sazonal dos sólidos totais dissolvidos nos diferentes pontos amostrais.



Na coleta 1, os valores de STD foram semelhantes entre os três pontos amostrais, variando de 5,31 a 5,36 ppm, o que indica maior homogeneidade das condições físico-químicas durante esse período. Na coleta 2, observou-se comportamento distinto entre os pontos: enquanto Rabelão e Zé Cândido apresentaram elevação dos valores para 6,61 ppm, o ponto CDK registrou redução para 4,80 ppm. Essa diferença sugere influência de condições hidrológicas locais, possivelmente relacionadas à circulação da água, ao aporte de água continental ou à variação da influência salina entre os pontos amostrados.

Na coleta 3, os valores voltaram a apresentar maior aproximação entre os pontos, embora com discreta predominância no CDK (6,40 ppm), seguido por Rabelão (6,07 ppm) e Zé Cândido (5,97 ppm). Esse comportamento pode estar associado à menor diluição durante o período de estiagem, favorecendo o aumento relativo da concentração de sólidos dissolvidos no sistema aquático.

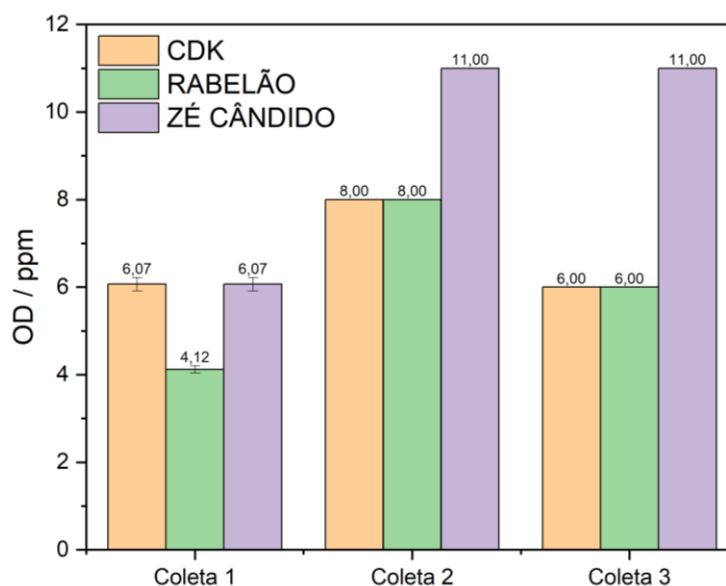
As oscilações observadas refletem a dinâmica natural dos ambientes de manguezal, nos quais a interação entre água doce, água salobra e influência das marés exerce papel importante na concentração de sólidos dissolvidos. Assim, os resultados indicam que o STD respondeu principalmente às variações sazonais e hidrológicas locais, não sendo possível atribuir isoladamente essas alterações à ocupação urbana.

Oxigênio Dissolvido (OD)

A Figura 6 apresenta a variação espacial e sazonal das concentrações de oxigênio dissolvido nos pontos amostrais avaliados. Os resultados evidenciam diferenças importantes entre as áreas analisadas, refletindo a influência da sazonalidade e do nível de ocupação urbana sobre a qualidade da água do manguezal.



Figura 6 – Concentração de oxigênio dissolvido nos pontos amostrais durante os períodos avaliados.



O ponto Rabelão apresentou a menor concentração de oxigênio dissolvido durante a coleta 1 (4,12 ppm), valor inferior ao limite mínimo estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas salobras Classe 2. Esse resultado caracteriza condição de hipóxia moderada, sugerindo maior consumo biológico de oxigênio associado à decomposição de matéria orgânica e ao aporte de efluentes domésticos na área de maior ocupação urbana.

Nas coletas subsequentes, observou-se aumento das concentrações de oxigênio dissolvido nos pontos CDK e Rabelão, indicando possível melhoria temporária das condições de renovação hídrica e circulação da água no sistema. Em contrapartida, o ponto Zé Cândido apresentou os maiores valores de OD durante as coletas 2 e 3 (11,00 ppm), evidenciando melhores condições de equilíbrio ecológico e menor influência antrópica em comparação aos demais pontos amostrais.

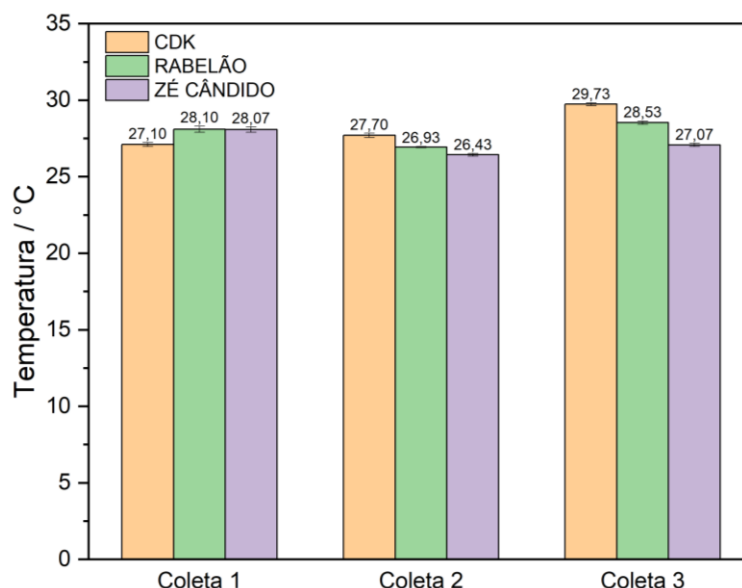
De maneira geral, os resultados demonstram que a dinâmica do oxigênio dissolvido foi influenciada tanto pela sazonalidade quanto pelo aporte de matéria orgânica no sistema aquático. Ambientes sob maior influência antrópica tendem a apresentar maior consumo de oxigênio devido à atividade microbiológica associada à decomposição de resíduos orgânicos, comprometendo a qualidade ambiental e a manutenção da biota aquática (BIFANO et al., 2020; SZEWCZYK et al., 2023).

Temperatura

A Figura 7 apresenta a variação espacial e sazonal da temperatura da água nos pontos amostrais avaliados. Os resultados demonstram pequenas oscilações térmicas entre os períodos de coleta, com valores variando entre 26,4°C e 29,7°C, caracterizando comportamento típico de ambientes tropicais estuarinos.



Figura 7 – Temperatura da água nos diferentes pontos amostrais durante os períodos avaliados.



De maneira geral, observou-se aumento da temperatura durante a coleta 3, correspondente ao período de estiagem mais avançada, especialmente nos pontos CDK (29,7°C) e Rabelão (28,5°C). Esse comportamento pode estar relacionado à redução do volume hídrico, à menor influência da precipitação e ao aumento da incidência de radiação solar sobre o sistema aquático durante períodos de baixa pluviosidade.

O ponto Zé Cândido apresentou os menores valores térmicos durante as coletas 2 e 3, sugerindo maior estabilidade ambiental, possivelmente associada à menor influência antrópica, maior cobertura vegetal e melhores condições de circulação hídrica na área de menor ocupação urbana.

Apesar das variações observadas entre os períodos sazonais, os valores registrados permaneceram dentro da faixa esperada para ambientes de manguezal tropical, não sendo observados indícios de alterações térmicas severas no sistema aquático estudado.

Influência da sazonalidade e ocupação urbana na qualidade da água

De maneira geral, os resultados evidenciaram influência da sazonalidade e do nível de ocupação urbana sobre a qualidade da água nos pontos avaliados. As variações observadas nos parâmetros físico-químicos indicam que os períodos de menor pluviosidade favoreceram alterações mais expressivas na dinâmica do sistema aquático, especialmente nos pontos com maior sensibilidade às variações sazonais e influência antrópica. Estudos realizados em ecossistemas costeiros urbanizados demonstram que a expansão desordenada das áreas urbanas e a ocupação irregular de regiões de manguezal intensificam processos de degradação ambiental e aumentam a vulnerabilidade desses ecossistemas frente às alterações físico-químicas da água (MOSCHETTO et al., 2021; PATIL et al., 2024).

O ponto CDK apresentou maior sensibilidade às variações sazonais, destacando-se pela redução do pH, elevação das concentrações de nitrito e amônia e aumento da temperatura durante os períodos de transição e estiagem. Além disso, o ponto apresentou oscilações nos



valores de STD ao longo das coletas, sugerindo influência das condições hidrológicas locais sobre a dinâmica do sistema aquático. Esse comportamento pode estar associado ao acúmulo de matéria orgânica e à redução da capacidade de diluição do sistema em períodos de menor renovação hídrica.

No ponto Rabelão, observou-se menor concentração de oxigênio dissolvido durante o período chuvoso e aumento das concentrações de nitrito na estiagem, sugerindo influência da ocupação urbana sobre a dinâmica da qualidade da água. Entretanto, as oscilações observadas ao longo das coletas indicam que fatores hidrológicos e a circulação da água também exercem influência importante sobre o comportamento dos parâmetros analisados. Resultados semelhantes foram observados por Patil et al. (2024), que identificaram redução do oxigênio dissolvido e alterações ambientais em manguezais submetidos à intensa urbanização e pressão antrópica.

Por outro lado, o ponto Zé Cândido apresentou maior estabilidade físico-química ao longo dos períodos avaliados, com menores concentrações de compostos nitrogenados na maior parte das coletas e maiores valores de oxigênio dissolvido, indicando melhores condições de equilíbrio ambiental em relação aos demais pontos amostrais.

Conclusões

Os resultados obtidos demonstraram que a sazonalidade e o nível de ocupação urbana influenciam diretamente a dinâmica físico-química da água no manguezal de Turiaçu/MA. As alterações observadas foram mais expressivas durante os períodos de menor pluviosidade, quando a redução da capacidade de diluição do sistema favoreceu mudanças nos parâmetros analisados.

Entre os pontos avaliados, o CDK apresentou maior sensibilidade às variações sazonais, destacando-se pela elevação das concentrações de nitrito e amônia, redução do pH e aumento da temperatura em determinados períodos. O ponto Rabelão apresentou menor concentração de oxigênio dissolvido e aumento das concentrações de nitrito durante a estiagem, sugerindo influência da ocupação urbana sobre a qualidade da água. Em contrapartida, o ponto Zé Cândido apresentou maior estabilidade físico-química e melhores condições ambientais em relação aos demais pontos avaliados.

De maneira geral, os resultados indicam que a sazonalidade exerce papel importante na dinâmica da qualidade da água do manguezal, especialmente em áreas sob influência antrópica.

Assim, o monitoramento contínuo dos parâmetros físico-químicos torna-se fundamental para compreensão das alterações ambientais e para subsidiar ações de conservação e gestão ambiental no município de Turiaçu/MA.

Conflitos de interesse

Os autores declaram que o trabalho não possui conflito de interesses.



Referências

- BIFANO, R. B. A. et al. Avaliação da qualidade da água em microbacias hidrográficas do extremo sul da Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 5, p. 2447-2461, 2020.
- 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, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes**. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 18 mar. 2005.
- CAI, W.-J. et al. Natural and anthropogenic drivers of acidification in large estuaries. **Annual Review of Marine Science**, v. 13, p. 23-55, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010419-011004>.
- INSTITUTO TRATA BRASIL. **Ausência de saneamento causa internação de mais de 30 mil pessoas no Maranhão. 2024**. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/internacao-de-mais-de-30-mil-pessoas-maranhao/>. Acesso em: 26/05/2026.
- MOSCHETTO, F. A. et al. Urban expansion, regeneration and socioenvironmental vulnerability in a mangrove ecosystem at the southeast coastal of São Paulo, Brazil. **Ocean & Coastal Management**, v. 200, p. 105418, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105418>.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Nova York: ONU, 2015. Disponível em: <https://sdgs.un.org/2030agenda>. Acesso em: 26/05/2026.
- PATIL, S. S.; KERKAR, A.; KANHERE, C. Ecological Disturbances and Adaptation of Mangroves in High-Disturbance Urban Areas of Navi Mumbai in India. **AgroEnvironmental Sustainability**, v. 2, n. 4, p. 186-196, 2024. DOI: <https://doi.org/10.59983/s2024020404>.
- SANTOS, S. S. et al. Análise físico-química e microbiológica das águas estuarinas da APA Planície Costeira do Guaibim, Baixo Sul da Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 4, p. 2197-2211, 2023.
- SURESH, K. et al. Recent advancement in water quality indicators for eutrophication in global freshwater lakes. **Environmental Research Letters**, v. 18, n. 6, p. 063004, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acd071>.
- SZEWCZYK, C. J.; SMITH, E. M.; BENITEZ-NELSON, C. R. Temperature sensitivity of oxygen demand varies as a function of organic matter source. **Frontiers in Marine Science**, v. 10, p. 1133336, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1133336>.
- WANG, H. et al. Mangrove loss and gain in a densely populated urban estuary: lessons from the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. **Frontiers in Marine Science**, v. 8, p. 693450, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.693450>.