



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS TERESINA CENTRAL CURSO TECNOLOGIA EM GESTÃO
AMBIENTAL**

MARIA RITA COSTA ALVES

**ANÁLISE DA FITOTOXIDADE DAS ÁGUAS DO RIO PARNAÍBA NA ÁREA DE
INFLUÊNCIA DAS ATIVIDADES INDUSTRIAIS E COMERCIAIS DO DISTRITO
INDUSTRIAL DE TERESINA/PI**

**TERESINA
2025**

MARIA RITA COSTA ALVES

ANÁLISE DA FITOTOXICIDADE DAS ÁGUAS DO RIO PARNAÍBA NA ÁREA
DE INFLUÊNCIA DAS ATIVIDADES INDUSTRIAIS E COMERCIAIS DO
DISTRITO INDUSTRIAL DE TERESINA/PI

Trabalho de Conclusão de Curso (artigo científico)
apresentado como exigência parcial para obtenção
do diploma do Curso de Tecnologia em Gestão
Ambiental do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina
Central.

Orientador: Prof. Dr. Jovan Marques Lara Junior

TERESINA

2025

ANÁLISE DA FITOTOXICIDADE DAS ÁGUAS DO RIO PARNAÍBA NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DAS ATIVIDADES INDUSTRIAIS E COMERCIAIS DO DISTRITO INDUSTRIAL DE TERESINA/PI

Maria Rita Costa Alves¹
Jovan Marques Lara Junior²

RESUMO

A qualidade dos recursos hídricos é essencial para a manutenção dos ecossistemas e para o uso humano, sendo a poluição industrial um fator agravante recorrente em áreas urbanas. Nesse contexto, o Rio Parnaíba, relevante para o abastecimento, a agricultura e a pesca em Teresina (PI), pode sofrer alterações especialmente na região do Distrito Industrial, onde há potencial lançamento de efluentes. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar a fitotoxicidade das águas do Rio Parnaíba antes (P1) e após (P2) a área de influência do Distrito Industrial de Teresina/PI. Foram coletadas amostras de água em dois pontos (06/11/2025) e realizados bioensaios com *Allium cepa* L., além de análises de pH e condutividade elétrica. Após sete dias de exposição, avaliaram-se ganho de massa dos bulbos, número de raízes, comprimento radicular e peso das raízes. Os resultados físico-químicos indicaram pH neutro e baixa condutividade em ambos os pontos, sem diferença estatística. Entretanto, o bioensaio evidenciou redução significativa no ganho de massa das cebolas expostas à água de P2, enquanto P1 apresentou melhores índices de biomassa. As variáveis número, comprimento e peso das raízes não diferiram estatisticamente entre os tratamentos. Conclui-se que, embora os parâmetros físico-químicos básicos indiquem aparente estabilidade, a diminuição do ganho de massa em P2 sugere a presença de contaminantes com efeito fitotóxico subletal não detectado por pH e condutividade, reforçando a necessidade de monitoramento contínuo e integrado e de análises químicas complementares para identificação de potenciais poluentes e subsídio a ações mitigadoras no Rio Parnaíba.

Palavras-chave: contaminação; monitoramento ambiental; *Allium cepa* L.

ABSTRACT

Water quality is essential for ecosystem integrity and human uses, and industrial pollution is a frequent aggravating factor in urban areas. In this context, the Parnaíba River—important for water supply, agriculture, and fishing in Teresina (Piauí, Brazil)—may be affected, especially near the Industrial District, where effluent discharges may occur. Therefore, this study aimed to assess the phytotoxicity of Parnaíba River waters before (P1) and after (P2) the influence area of the Teresina Industrial District. Water samples were collected at two sites (November 6, 2025), and *Allium cepa* L. bioassays were performed, along with pH and electrical conductivity measurements. After seven days of exposure, bulb mass gain, number of roots, root length, and root biomass were

¹ Graduanda do curso de Tecnologia de Alimentos, IFPI. catce.2024111tgab0040@aluno.ifpi.edu.br

² Prof. Dr. Ciência e Tecnologia de Alimentos. IFPI. jovan.marques@ifpi.edu.br.

evaluated. Physicochemical results indicated neutral pH and low conductivity at both sites, with no statistical differences. However, the bioassay showed a significant reduction in bulb mass gain for onions exposed to P2 water, whereas P1 presented higher biomass gain. Root number, root length, and root biomass did not differ statistically among treatments. In conclusion, although basic physicochemical parameters suggested apparent stability, the lower bulb mass gain at P2 indicates the possible presence of contaminants causing sublethal phytotoxic effects not detected by pH and conductivity, highlighting the need for continuous, integrated monitoring and complementary chemical analyses to identify potential pollutants and support mitigation actions for the Parnaíba River.

Keywords: contamination; environmental monitoring; *Allium cepa* L.

Data de aprovação: 11/12/2025

1 INTRODUÇÃO

A disponibilidade e a qualidade da água doce são determinantes para a manutenção dos ecossistemas, para a segurança hídrica e para o desenvolvimento socioeconômico, sobretudo em centros urbanos que concentram múltiplas pressões antrópicas sobre os corpos d'água. No Brasil, a degradação da qualidade das águas superficiais é frequentemente associada à combinação de esgotos domésticos, efluentes industriais e alterações do uso e ocupação do solo, exigindo estratégias de monitoramento que integrem diferentes linhas de evidência para apoiar a gestão ambiental (ANA, 2012).

Nesse contexto, o Rio Parnaíba assume papel estratégico para o estado do Piauí e para a cidade de Teresina, por sustentar usos múltiplos, como abastecimento público, atividades produtivas e serviços ecossistêmicos associados às comunidades aquáticas. Estudos de qualidade da água no Parnaíba indicam que trechos sob influência urbana podem apresentar alterações relevantes, reforçando a necessidade de avaliações sistemáticas e territorialmente orientadas (Rocha *et al.*, 2011).

Em Teresina, o Distrito Industrial (DIT) concentram-se empreendimentos com potencial de geração de efluentes e resíduos capazes de introduzir misturas complexas de contaminantes nos corpos receptores. Ainda que parâmetros físico-químicos básicos, como pH e condutividade elétrica, sejam essenciais para o diagnóstico inicial e frequentemente compõem redes de monitoramento, esses indicadores podem não capturar efeitos biológicos subletais decorrentes de

contaminantes em baixas concentrações ou de misturas com ação sinérgica (ANA, 2012).

Diante dessa limitação, bioensaios ecotoxicológicos têm sido amplamente empregados como ferramentas complementares para detectar efeitos adversos em organismos expostos à água ambiental, contribuindo para a identificação de riscos que não se evidenciam apenas por análises convencionais. Entre esses ensaios, o modelo vegetal com *Allium cepa* L. destaca-se por ser de baixo custo, sensível e aplicável ao monitoramento ambiental, com ampla base metodológica e de interpretação de respostas biológicas (Fiskesjö, 1985; Leme; Marin-Morales, 2009; Nicuță *et al.*, 2025).

À luz dessas considerações, este trabalho avaliou a fitotoxicidade das águas do Rio Parnaíba em dois pontos de amostragem: antes e após a área de influência do Distrito Industrial de Teresina/PI, combinando parâmetros físico-químicos (pH e condutividade elétrica) e bioensaio com *Allium cepa* L.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 RECURSOS HÍDRICOS, POLUIÇÃO E MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA

A água é elemento central para a integridade ecológica e para o bem-estar humano, sustentando processos de regulação ambiental, provisão de habitats e usos diretos - abastecimento, irrigação, recreação e produção (Libânio, 2010). A degradação da qualidade da água, por sua vez, está associada a fontes difusas e pontuais, destacando-se esgotos domésticos e efluentes industriais como vetores recorrentes de alteração da composição físico-química e do equilíbrio biológico dos corpos hídricos (ANA, 2012; Vianna, 2015).

No país, redes e programas de monitoramento adotam parâmetros básicos (pH, condutividade, temperatura, oxigênio dissolvido, entre outros) para caracterização da qualidade das águas superficiais e suporte ao planejamento (ANA, 2012). Entretanto, embora úteis para triagem e comparabilidade, esses parâmetros não necessariamente traduzem a magnitude de impactos ecotoxicológicos, especialmente quando a contaminação envolve compostos orgânicos, metais e misturas em concentrações capazes de causar efeitos biológicos sem grandes mudanças em indicadores gerais (Chowdhary *et al.*, 2022).

2.2 INFLUÊNCIA DE ATIVIDADES INDUSTRIAIS E COMERCIAIS SOBRE CORPOS HÍDRICOS

Atividades industriais e comerciais podem contribuir para a carga de poluentes por meio de efluentes contendo matéria orgânica, nutrientes, sais, surfactantes, solventes, corantes e metais, com potencial de alterar processos ecológicos e afetar organismos aquáticos e ripários (Dias; Tanaka; Malmonge, 2019; Chowdhary *et al.*, 2022). A literatura indica que efluentes industriais podem apresentar toxicidade mesmo quando alguns parâmetros gerais parecem “aceitáveis”, reforçando a relevância de abordagens integradas (físico-química + ecotoxicologia) para detecção de riscos ambientais (Chowdhary *et al.*, 2022).

2.3 MARCO REGULATÓRIO E PARÂMETROS DE REFERÊNCIA

No Brasil, a Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece a classificação dos corpos de água e condições/padrões de qualidade, incluindo faixa de pH para águas doces, além de diretrizes para proteção de comunidades aquáticas e usos múltiplos (Brasil, 2005). A Resolução CONAMA nº 430/2011 complementa e atualiza diretrizes relacionadas ao lançamento de efluentes, definindo condições, parâmetros e padrões para gestão do lançamento em corpos receptores (Brasil, 2011).

Embora essenciais, tais normas não substituem a necessidade de avaliação biológica, pois conformidade com parâmetros selecionados não implica, por si só, ausência de efeitos ecotoxicológicos. Por essa razão, recomenda-se a triangulação entre enquadramento legal, parâmetros físico-químicos e evidências biológicas (Chowdhary *et al.*, 2022).

2.4 BIOENSAIOS COM *ALLIUM CEPA* L E AVALIAÇÃO DE FITOTOXICIDADE

Bioensaios com *Allium cepa* L. são amplamente utilizados em monitoramento ambiental por permitirem observar respostas em diferentes níveis biológicos (morfologia, crescimento, citotoxicidade e genotoxicidade), com reconhecida utilidade para triagem de toxicidade em águas e efluentes (Fiskesjö, 1985; Leme; Marin-Morales, 2009; Nicuță *et al.*, 2025). Estudos recentes reforçam o valor do modelo como

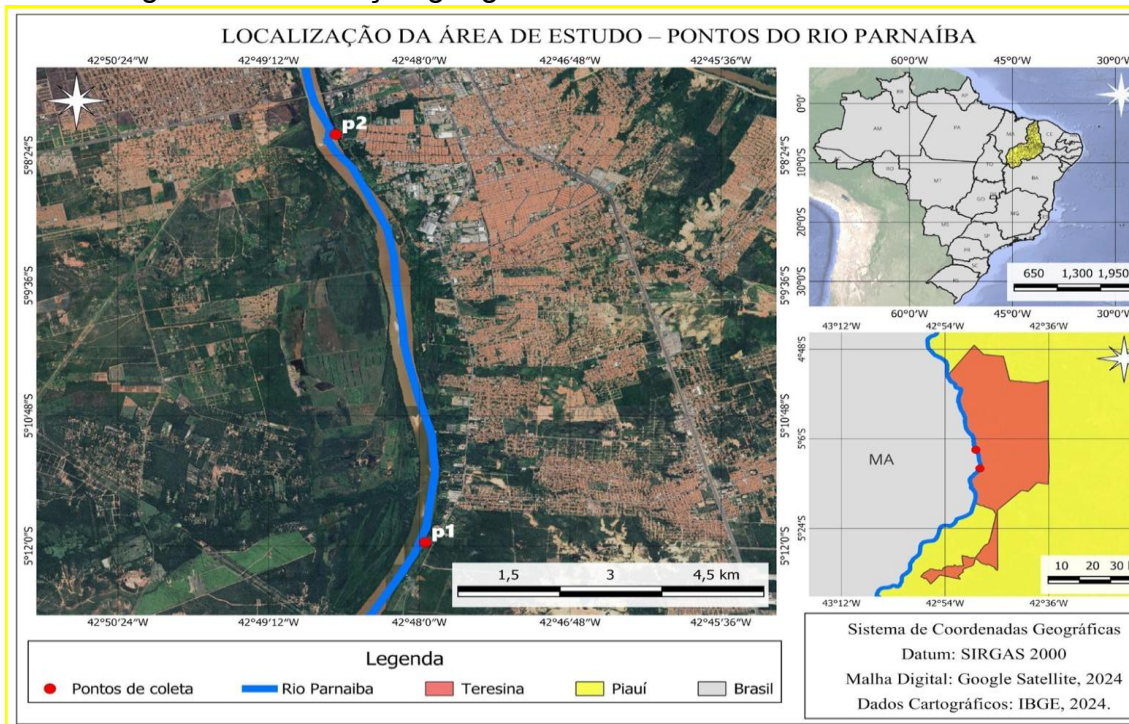
ferramenta robusta para avaliações ambientais, incluindo detecção de efeitos em amostras com misturas complexas de contaminantes (Cauch-Suárez *et al.*, 2024; Mohammed *et al.*, 2023).

Em aplicações ecotoxicológicas, a interpretação dos resultados deve considerar que diferentes desfechos (ex.: biomassa, número de raízes e comprimento radicular) podem responder de modo distinto à mesma exposição, e que a ausência de efeito em um parâmetro não exclui impacto em outro (Nicuță *et al.*, 2025). Assim, recomenda-se integrar métricas de crescimento com análises físico-químicas e, quando possível, ampliar o conjunto de contaminantes monitorados - por exemplo, metais e compostos orgânicos (Chowdhary *et al.*, 2022).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido no município de Teresina, Piauí, Brasil, em trecho do Rio Parnaíba associado à área de influência do Distrito Industrial de Teresina (DIT). Foram definidos dois pontos de coleta para comparação espacial: P1, localizado antes da área industrial, com coordenadas -5.199424; -42.799212, e P2, localizado após a área industrial, com coordenadas -5.136751; -42.8110896 (Figura 1).

Figura 1: Localização geográfica do distrito industrial de Teresina – PI



Fonte: Autora (2025)

A coleta de água foi realizada em 6 de novembro de 2025, obtendo-se duas amostras do rio (uma por ponto). A amostragem seguiu as recomendações da ABNT NBR 9898:1987, utilizando frascos apropriados para coleta de água, devidamente identificados como P1 e P2, com acondicionamento em recipiente térmico e posterior armazenamento refrigerado até o momento das análises (ABNT, 1987).

As amostras foram caracterizadas por parâmetros físico-químicos básicos, especificamente pH e condutividade elétrica, visando subsidiar a interpretação ecotoxicológica. Paralelamente, foi conduzido bioensaio de fitotoxicidade com *Allium cepa* L., selecionada por sua ampla aplicação em monitoramento ambiental (Fiskesjö, 1985; Leme; Marin-Morales, 2009). No laboratório, foram escolhidas 18 cebolas em boas condições, as quais passaram por limpeza superficial, remoção de casca externa e de raízes preexistentes, seguida de pesagem inicial. Em seguida, os bulbos foram distribuídos em três tratamentos, com seis repetições cada: amostra de água do ponto P1, amostra de água do ponto P2 e água mineral como controle. Cada cebola foi posicionada em recipiente de isopor contendo a respectiva solução, de modo a manter contato direto da região basal do bulbo com a água, permitindo emissão e crescimento das raízes (Figura 2).

Figura 2- Ensaio com *Allium cepa* L



Fonte: Autora (2025)

Os recipientes permaneceram em temperatura ambiente por sete dias. Ao final do período de exposição, registraram-se os seguintes desfechos: diferença de peso (ganho de massa) dos bulbos, número de raízes, comprimento das raízes e peso das raízes, conforme procedimento descrito no trabalho-base, e procedeu-se à comparação entre tratamentos por teste estatístico de comparação de médias (*Tukey*, com significância $p < 0,05$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados físico-químicos (Tabela 1) indicaram pH neutro em ambos os pontos (P1 = 7,42; P2 = 7,50), sem diferença estatística entre as médias, situando-se dentro da faixa prevista pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces, o que sugere ausência de acidificação/alcalinização relevante no momento da coleta (BRASIL, 2005).

Tabela 1: Valores médios de pH e condutividade elétrica da água nos pontos de coletas

Amostras	pH	Condutividade Elétrica (µs/cm)
P1	7,42 ± 0,01 ^a	0,6 ± 0,00 ^a
P2	7,50 ± 0,00 ^a	0,6 ± 0,00 ^a

Fonte: Autora (2025). Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de *Tukey* ($p < 0,05$).

A condutividade elétrica também não diferiu entre P1 e P2 (0,6 µS/cm em ambos os pontos), evidenciando baixa concentração de íons dissolvidos no período amostrado. Em termos interpretativos, a condutividade é um indicador indireto de sais/íons em solução, frequentemente utilizada para inferir alterações associadas a aportes de efluentes; contudo, valores baixos e estáveis não afastam a possibilidade de presença de contaminantes orgânicos, metais em baixas concentrações ou misturas tóxicas sem aumento expressivo de íons (ANA, 2012; Chowdhary *et al.*, 2022). Essa leitura é coerente com a recomendação de integrar parâmetros básicos com ferramentas ecotoxicológicas para ampliar a sensibilidade do diagnóstico (ANA, 2012).

No bioensaio com *Allium cepa* L. (Tabela 2), observou-se diferença estatisticamente significativa no ganho de massa dos bulbos entre os tratamentos, com melhor desempenho em P1 (25,25 g) e menor ganho em P2 (11,18 g), enquanto o

controle apresentou valor intermediário (17,81 g). Esse padrão indica que, apesar da estabilidade nos parâmetros físico-químicos básicos, a água coletada após o DIT apresentou indícios de efeitos biológicos subletais capazes de reduzir o incremento de biomassa, sugerindo interferência em processos fisiológicos associados à absorção e ao crescimento, o que é compatível com a literatura que descreve a utilidade do modelo *Allium cepa* L para detectar toxicidade em matrizes ambientais (Fiskesjö, 1985; Leme; Marin-Morales, 2009; Nicuță *et al.*, 2025).

Tabela 2: Valores médios dos parâmetros físicos do teste de Fitotoxicidade em *Allium cepa* L.

Amostras	Diferença de peso (g)	Nº de raízes	Comprimento das raízes (cm)	Peso das raízes (g)
P1	25,25 ± 1,34 ^a	6,33 ± 1,08 ^a	29,36 ± 4,76 ^a	0,43 ± 0,11 ^a
P2	11,18 ± 0,68 ^b	6,03 ± 0,30 ^a	36,93 ± 3,74 ^a	0,35 ± 0,13 ^a
Controle	17,81 ± 0,93 ^c	7,50 ± 3,08 ^a	36,43 ± 4,32 ^a	0,42 ± 0,90 ^a

Fonte: Autora (2025). Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Quanto ao número de raízes, comprimento radicular e peso das raízes, não foram identificadas diferenças estatísticas entre P1, P2 e controle. Esse resultado não invalida o sinal observado no ganho de massa; ao contrário, reforça que diferentes desfechos biológicos podem apresentar sensibilidades distintas diante do mesmo cenário de exposição, especialmente em exposições de curta duração, com contaminantes em baixas concentrações ou em misturas com efeitos específicos (Nicuță *et al.*, 2025; Cauich-Suárez *et al.*, 2024).

A comparação entre P1 e P2, portanto, sustenta a hipótese operacional de que o trecho amostrado após o Distrito Industrial pode estar recebendo aportes que promovem efeitos biológicos detectáveis por bioensaio, ainda que não se expressem por variações de pH e condutividade. Do ponto de vista de gestão, isso é relevante porque parâmetros básicos são frequentemente utilizados em programas de monitoramento; entretanto, para identificar fontes e caracterizar risco, recomenda-se ampliar o painel analítico, incluindo metais e compostos orgânicos, além de indicadores de carga orgânica (DBO/DQO) e nutrientes, associando-os à resposta ecotoxicológica (ANA, 2012; CHOWDHARY *et al.*, 2022).

Por fim, a interpretação deve considerar que a campanha amostral representa um recorte temporal (coleta em um único dia), podendo não capturar variações

sazonais e eventos episódicos (chuvas, variação de produção industrial, descargas pontuais). Assim, a evidência de efeito subletal em P2 reforça a necessidade de monitoramento contínuo e integrado, com desenho amostral capaz de representar variação temporal e espacial e apoiar decisões de mitigação (ANA, 2012).

5 CONCLUSÃO

A avaliação integrada de parâmetros físico-químicos (pH e condutividade elétrica) e de resposta biológica por bioensaio com *Allium cepa* L. permitiu identificar indícios de alteração ecotoxicológica nas águas do Rio Parnaíba em Teresina/PI, na comparação entre o ponto antes (P1) e o ponto após (P2) a área de influência do Distrito Industrial. Embora pH e condutividade tenham se mantido semelhantes entre os pontos e dentro de referências normativas, o ganho de massa dos bulbos expostos à água de P2 foi significativamente menor, sugerindo a presença de substâncias capazes de produzir efeitos subletais não detectados pela triagem físico-química adotada.

Como contribuição principal, o estudo evidencia a pertinência do uso de bioensaios como ferramenta complementar para o diagnóstico ambiental em trechos urbanos do Parnaíba, reforçando que avaliações baseadas apenas em parâmetros gerais podem subestimar riscos biológicos. Recomenda-se, como continuidade, a ampliação do monitoramento com: (i) campanhas em diferentes períodos hidrológicos (seca/chuva); (ii) inclusão de parâmetros químicos complementares (metais e compostos orgânicos, além de DBO/DQO e nutrientes); e (iii) integração com indicadores ecotoxicológicos adicionais, para subsidiar ações mitigadoras e fortalecer a gestão ambiental local.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil**. Brasília, DF: ANA, 2012. Disponível em: (documento PNQA – “PANORAMA_DA_QUALIDADE_DAS_AGUAS.pdf”). Acesso em: 19 fev. 2026.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9898: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

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. Brasília, DF: MMA, 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores. Brasília, DF: CONAMA, 2011.

CAUICH-SUÁREZ, L. Y. et al. Bioassays with *Allium cepa* for the monitoring of toxicity in groundwater: an applied study. **Applied Sciences**, v. 14, n. 23, 2024.

CHOWDHARY, P. et al. Detection and identification of hazardous organic pollutants in industrial wastewater and assessment of phytotoxic/cytotoxic/genotoxic effects. **Chemosphere**, 2022.

DIAS, G. da C.; TANAKA, F. C.; MALMONGE, L. F. Efeitos das contaminações de corpos hídricos oriundos da atividade industrial e agricultura. **Revista Augustus**, v. 24, n. 48, p. 117-133, 2019.

FISKESJÖ, G. The *Allium* test as a standard in environmental monitoring. **Hereditas**, v. 102, n. 1, p. 99-112, 1985.

LEME, D. M.; MARIN-MORALES, M. A. *Allium cepa* test in environmental monitoring: a review on its application. **Mutation Research/Reviews in Mutation Research**, v. 682, n. 1, p. 71-81, 2009.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. ed. Campinas: Átomo, 2010.

MOHAMMED, J. S. et al. Assessment of cytogenotoxicity of plastic industrial effluent using *Allium cepa* root tip cells. **International Journal of Cell Biology**, v. 2023, e5161017, 2023.

NICUȚĂ, D. et al. The *Allium cepa* model: a review of its application in environmental and toxicological assessments. **[Journal/Repository]**, 2025. Disponível em: PubMed Central. Acesso em: 19 fev. 2026.

ROCHA, J. R. et al. Análise da qualidade das águas do Rio Parnaíba (Teresina/PI). **[Anais ABES / trabalho técnico]**, 2011.

VIANNA, A. M. Poluição ambiental: um problema de urbanização e crescimento desordenado das cidades. **Revista Sustinere**, v. 3, n. 1, 2015.