

## **DEGRADAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL: REFLEXOS DAS ATIVIDADES INDUSTRIAIS E DESAFIOS PARA A GOVERNANÇA AMBIENTAL**

Antonia Letícia Paiva de Sousa<sup>1</sup>, José Sávio Bezerra<sup>1</sup>, Ludmylla Beatrice Martins do Nascimento<sup>1</sup>, Janine Brandão de Farias Mesquita<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Prof<sup>ª</sup>Água – Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.  
Universidade Federal do Ceará. Crateús, Ceará, Brasil.

### **1) Introdução**

A água é um recurso crucial para o desenvolvimento regional, servindo como fonte vital para o abastecimento de água potável, agrícola e industrial (Krishan; Yadav; Srivastava, 2023; Babuji *et al.*, 2023). O crescimento da população mundial, a intensificação de atividades industriais, como a mineração, e as mudanças climáticas têm ampliado a pressão sobre os recursos hídricos, tornando esse compartimento ambiental vulnerável à poluição (Burritt & Christ, 2018; Santana *et al.*, 2020).

A poluição hídrica, resultante de substâncias que modificam as propriedades físico-químicas e biológicas da água, ocorre, em geral, pela intervenção humana e se intensifica com a expansão das áreas urbanas, juntamente com o desenvolvimento de atividades domésticas, industriais e agrícolas (Owa, 2013; Afolalu *et al.*, 2022). O crescimento industrial, embora represente o progresso econômico das nações, também é responsável pelo elevado consumo de água em seus processos produtivos, especialmente no setor têxtil (Adane *et al.*, 2021; Panhwar *et al.*, 2024).

No Brasil, o aumento da demanda por água ocorre principalmente nos usos para abastecimento urbano, indústria de transformação e agricultura irrigada, que representam a maior parcela das retiradas de água, aproximadamente 83%. Somente o setor industrial, compreende 9,2% dessa parcela, o que equivale a 194 m<sup>3</sup>/s de retirada de água em 2023 (ANA, 2024). Nos processos industriais, a água é vastamente empregada em múltiplas funções, como resfriamento, aquecimento, limpeza, diluição, processamento e transporte de produtos (Oladimeji *et al.*, 2024). Como consequência dessas funções, acontece a geração de efluentes com características distintas, que variam quanto os tipos e às

concentrações de poluentes, incluindo sólidos, sedimentos, compostos orgânicos, nutrientes e metais pesados (Kato & Kansha, 2024).

O lançamento desses poluentes em corpos hídricos representa elevado risco aos ecossistemas aquáticos e à saúde pública. Adicionalmente, os recursos hídricos podem ser afetados por derramamento e vazamentos acidentais em tanques e oleodutos provenientes da indústria petroquímica (Akhtar *et al.*, 2021).

Considerando o cenário de países em desenvolvimento, como o Brasil, as principais fontes poluidoras da água possuem origem, sobretudo, nos setores agrícola e industrial. A intensificação dessas atividades e seus efeitos nos recursos hídricos requerem uma abordagem integrada de governança ambiental, que englobe a dinâmica entre os diversos setores e subsidie a cooperação na busca por alternativas sustentáveis (Xiao; Liu; Ge, 2021). Diante desse cenário, é crucial compreender a interação entre a expansão do setor industrial e seus efeitos sobre os ecossistemas aquáticos, a fim de propiciar o desenvolvimento de políticas públicas eficazes e assegurar a gestão sustentável dos recursos hídricos.

## **2) Objetivo Geral e Específicos**

O presente estudo objetiva investigar os efeitos da poluição hídrica resultantes das atividades industriais no Brasil, destacando os impactos na economia e desafios para a gestão dos recursos hídricos e ambiental. Como objetivos específicos, a pesquisa almeja:

- Realizar uma revisão crítica da literatura sobre estudos de caso que apresentam a conexão entre as atividades industriais e os impactos na qualidade dos corpos hídricos;
- Identificar, por meio de estudos de caso de desastres ambientais associados às atividades industriais, os principais entraves que impedem a efetividade dos instrumentos de regulação ambiental direcionados especificamente à prevenção e mitigação da poluição hídrica de origem industrial; e
- Avaliar as inferências econômicas subsequentes da degradação da qualidade da água.

### **3) Metodologia**

Este estudo analisa os fatores relacionados às atividades industriais e seus efeitos sobre a qualidade hídrica, bem como os aspectos legais associados. A revisão bibliográfica crítica teve como propósito a compreensão das definições, conceitos e perspectivas relacionados ao tema da pesquisa (Alshamaila *et al.*, 2023). A escolha de uma revisão crítica com abordagem qualitativa justifica-se por seu caráter abrangente e interdisciplinar, que integra rigorosamente múltiplas perspectivas (Zhang *et al.*, 2023).

O processo de revisão da literatura consistiu, *a priori*, em uma busca sistemática com base em critérios como relevância, data de publicação e alinhamento com os objetivos do presente estudo. Dessa forma, a pesquisa bibliográfica foi realizada por meio de bases científicas renomadas – *SciELO*, *Scopus*, *SpringerLink*, *ScienceDirect* e o Portal de Periódicos da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior). A pesquisa abrangeu publicações em inglês e português, preferencialmente dos últimos dez anos (2015-2025), utilizando-se palavras-chave como “*corpos d'água*”, “*reservatórios*”, “*atividades industriais*”, “*desastres ambientais*”, “*poluição hídrica*”, “*gestão de recursos hídricos*” e “*Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH)*”.

Um total de 54 artigos altamente relevantes foi identificado. Aplicaram-se os seguintes critérios de exclusão: 1) estudos que abordassem outros tipos de poluição, como atmosférica e a do solo; e 2) publicações que abordem somente aspectos legais internacionais sem relação direta com a PNRH. A partir desse levantamento, foram selecionados os estudos de caso com base em sua relevância histórica, por representarem grandes marcos da atividade industrial brasileira e seus impactos sobre a qualidade da água e economia. Por último, os resultados foram sistematizados de modo a propiciar uma visão holística da dinâmica das atividades industriais no Brasil e de seus reflexos na degradação dos recursos hídricos.

### **4) Resultados e Discussão**

No Brasil, diversos eventos com danos ambientais, impactos na economia local e regional e degradação da qualidade da água em decorrência do setor industrial foram

testemunhados. Os desastres ambientais ocorridos em Mariana e Brumadinho, em Minas Gerais, nos anos de 2015 e 2019, respectivamente (Santana *et al.*, 2020), e o vazamento de petróleo no sistema estuarino da Baía de Guanabara (Vieira *et al.*, 2007), ilustram essa problemática e relevam lacunas em importantes marcos regulatórios na legislação ambiental brasileira. Os estudos de caso apresentados a seguir detalham esses aspectos destacados.

#### **4.1) Estudo de Caso 1: Vazamento de Petróleo no Sistema Estuarino e na Costa Brasileira**

No estado do Rio de Janeiro, em 2000, ocorreu um dos maiores desastres ambientais do Brasil, decorrente de um acidente durante a transferência de óleo em um oleoduto da Refinaria Duque de Caxias da Companhia Brasileira de Petróleo (Petrobras). O evento ocasionou o vazamento de mais de um milhão de litros de petróleo no sistema estuarino eutrófico, Baía de Guanabara (Vieira *et al.*, 2007; Silva; Azevedo e Aquino Neto, 2007). O desastre resultou em perdas ao ecossistema local, com a morte da fauna e a poluição do solo em diversos municípios afetados (Disner *et al.*, 2020).

Euzebio, Da Silveira Rangel e Marques (2019) destacam que os poluentes liberados pela indústria do petróleo, como os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e os do grupo formado por benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno (BTEX), podem se acumular no solo e contaminar a fauna, flora, a água e, em especial, os seres humanos. Ainda conforme esses autores, a presença de hidrocarbonetos do tipo HPAs na água pode desencadear diversas alterações nos parâmetros da qualidade da água, como a turbidez, condutividade, quantidade de metais pesados, pH, temperatura e salinidade.

Outro caso envolvendo o vazamento de petróleo ocorreu inicialmente em 30 de agosto de 2019 na costa brasileira, sendo considerado um dos desastres ambientais de maior extensão e grave já registrado no Brasil (Soares *et al.*, 2020). O evento se perpetuou até 19 de março de 2020, atingindo 11 estados das regiões Nordeste e Sudeste, 130 municípios e mais de 1000 localidades afetadas, conforme dados registrados pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA (2020).

O incidente afetou diversos ecossistemas costeiros como praias, manguezais e ecossistemas submersos como recifes de coral e bancos de rodólitos (Brum *et al.*, 2020; Soares *et al.*, 2020). Lourenço *et al.* (2020), ao realizarem análises químicas, constataram a presença de hidrocarbonetos leves no óleo vazado, representando uma ameaça significativa à vida marinha, tendo em vista que esses compostos possuem maior solubilidade, biodisponibilidade e toxicidade à que os hidrocarbonetos pesados.

Conforme Soares *et al.* (2020), esse impacto ambiental resultou em diversas perdas socioeconômicas nas áreas costeiras afetadas, como a redução do turismo, a interrupção de atividades de pesca e a paralisação da extração de mariscos em comunidades tradicionais e artesanais. Ainda conforme Soares *et al.* (2020), a inércia governamental por parte do Governo Federal – demonstrada pela falta em propor ações e coordenar organizações não-governamentais, militares, sociedade civil, estados e municípios brasileiros –, somada à ausência da implementação imediata do Plano de Contingência de Incidentes de Poluição por Petróleo em Águas sob Jurisdição Nacional (PNC) e aos cortes orçamentários de políticas públicas e na ciência, dificultou o desenvolvimento de estudos e a implementação de medidas urgentes para atenuar ou mitigar os danos socioambientais resultantes do desastre..

#### **4.2) Estudo de Caso 2: Rompimento da Barragem do Córrego do Feijão, em Minas Gerais**

Em Minas Gerais, após um dos maiores desastres ambientais envolvendo atividades da mineração – o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão, em Mariana – registrou-se em 25 de janeiro de 2019, o rompimento da barragem de rejeitos do Córrego do Feijão, em Brumadinho. Esse desastre resultou em um fluxo de lama que causou a morte de mais de 270 pessoas e após esse desastre, foram identificadas mudanças significativas na qualidade da água da bacia do Rio Paraopeba (Rose; Mugi; Saleh, 2023).

Segundo o estudo de Thompson *et al.* (2020), além de alterações nos parâmetros de qualidade da água, como o aumento da turbidez, foram encontradas evidências de alta toxicidade nas águas do Rio Paraopeba, com possível ameaça à saúde pública. Essas evidências foram identificadas após a realização de testes ecotoxicológicos em maio de

2019, os quais indicaram maiores taxas de mortalidade de embriões do organismo-modelo (peixe-zebra), atribuídas à falha da barragem e ao lançamento de esgotos domésticos.

Mello *et al.*, (2024) identificaram que, mesmo após 5 anos da catástrofe ambiental, a qualidade da água do rio Paraopeba possui sinais de deterioração em pontos específicos de amostragem, com parâmetros que ultrapassam os níveis de conformidade: turbidez acima de 100 NTU, ferro excedendo 0,3 mg/L, além de concentrações elevadas de alumínio e manganês. Melo, Guimarães e Cortese (2024) destacam que o rompimento da barragem do Córrego do Feijão evidenciou a fragilidade da governança de desastres no Brasil, a ausência de planos de resposta eficientes e a importância do protagonismo da sociedade civil na reconstituição e na mobilização coletiva.

#### **4.3) Aspectos legais e regulamentação do uso industrial da água no Brasil**

A Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), promulgada pela Lei nº 6.938/1981, em seu art.4º apresenta dentre seus objetivos específicos, a definição de critérios e padrões de qualidade ambiental, bem como normas que dizem respeito ao uso e manejo de recursos ambientais, incluindo as águas interiores, subterrâneas e superficiais. Ainda em seu art.4º, determina ao usuário que polui ou predador, a obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos gerados aos recursos ambientais e a quem utiliza esses recursos com fins econômicos, é necessário a contribuição por essa utilização. Além disso, a PNMA define o licenciamento e a revisão de atividades efetiva e potencialmente poluidoras como um de seus instrumentos (Brasil, 1981).

Norteadas por essas premissas, a Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei Nº 9.433/1997 (Brasil, 1997), define a outorga de concessão de direito ao uso da água como instrumento de controle quantitativo e qualitativo dos recursos hídricos, aplicável principalmente aos usos mais intensos da água, que alteram o regime, a quantidade e a qualidade da água de um corpo hídrico, como em atividades industriais. Conforme a PNRH, essas atividades efetiva e potencialmente poluidoras necessitam de outorga para o lançamento de efluentes gerados no âmbito de suas atividades (Brasil, 1997). Em consonância com o disposto na Política Nacional do Meio Ambiente sobre a definição dos padrões de qualidade ambiental (Brasil, 1981), o órgão deliberativo e consultivo, o

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) delibera, no âmbito de sua competência, a definição desses padrões. Desse modo, a Resolução do CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011 (Brasil, 2011), altera e complementa a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 (Brasil, 2005), dispondo sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. A Resolução CONAMA nº 430/2011, responsabiliza as indústrias pelos efluentes gerados em seus processos produtivos e sua obrigação em atender os padrões vigentes de lançamento em corpos receptores de modo a garantir a proteção à saúde pública e ao meio ambiente (Brasil, 2011).

Considerando esse arcabouço legal no Brasil, a PNMA com a exigência legal da implementação de seu instrumento, licenciamento ambiental, e a PNRH ao apresentar a outorga de lançamentos de efluentes das fontes poluidoras dos recursos hídricos, como o setor industrial, e a Resolução nº 430/2011, ao definir os padrões de lançamento desses efluentes, configuram-se como instrumentos importantes para prevenir e/ou minimizar os impactos ambientais, sociais e econômicos negativos oriundos de atividades efetiva e potencialmente capazes de alterar a quantidade e qualidade dos recursos hídricos existentes.

Por outro lado, conforme os estudos de caso apresentados, evidencia-se que, embora o Brasil disponha de um arcabouço de instrumentos legais de base robusta – como a Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981), a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997) e as Resoluções do CONAMA nº 357/2005 e nº 430/2011 –, a efetividade desses instrumentos ainda enfrenta desafios diante dos crescentes impactos das atividades industriais. Dentre esses desafios, incluem: fragilidade na fiscalização das fontes poluidoras; o monitoramento insuficiente, que não abrange substâncias e contaminantes emergentes, como fármacos, cosméticos e pesticidas; e ausência de integração consolidada entre os órgãos gestores e esferas de governo. Desse modo, essas lacunas dificultam o pleno exercício dos aspectos legais voltados ao controle da poluição hídrica no país.

Diante disso, é crucial o fortalecimento de um ambiente regulatório mais robusto, que incorpore incentivos à inovação e à adoção de processos produtivos ambientalmente

responsáveis, sobretudo em áreas mais vulneráveis à poluição hídrica. Somente por meio de um esforço coletivo entre os setores público e privado será possível mitigar os danos causados pela degradação da qualidade da água e promover um modelo de desenvolvimento econômico sustentável nas regiões industriais brasileiras.

### **5) Agradecimentos**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), através do Convênio CAPES/UNESP Nº. 951420/2023. Agradeço ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfªÁgua pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

### **6) Referências**

ALSHAMAILA, Yazn et al. Effective use of smart cities in crisis cases: A systematic review of the literature. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 85, p. 103521, 2023.

ANA, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2023: informe anual / **Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico**. Brasília: ANA, 2024. Disponível em:

<[https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura2024\\_04122024.pdf](https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura2024_04122024.pdf)> Acesso em: 8 de Out. de 2025.

AKHTAR, Naseem et al. Various natural and anthropogenic factors responsible for water quality degradation: A review. **Water**, v. 13, n. 19, p. 2660, 2021.

ADANE, Teshale; ADUGNA, Amare Tiruneh; ALEMAYEHU, Esayas. Textile industry effluent treatment techniques. **Journal of Chemistry**, v. 2021, n. 1, p. 5314404, 2021.

AFOLALU, Sunday A. et al. Waste pollution, wastewater and effluent treatment methods—an overview. **Materials Today: Proceedings**, v. 62, p. 3282-3288, 2022.

ALBERGARIA-BARBOSA, Ana Cecília et al. Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Mangroves of the Northern Coast of Bahia after the Brazilian 2019 Oil Spill. **Available at SSRN 5369809**.

BISPO, Carlos José Capela et al. HEAVY METALS IN SURFACE WATERS IN A STATE OF THE BRAZILIAN AMAZON: AN INTEGRATIVE REVIEW. **Rev. Gest. Soc. Ambient.**, Miami, v.18.n.6, p.1-17, 2024.

BURRITT, Roger L.; CHRIST, Katherine L. Water risk in mining: Analysis of the Samarco dam failure. **Journal of cleaner production**, v. 178, p. 196-205, 2018.

BRUM, H. D.; CAMPOS-SILVA, J. V.; OLIVEIRA, E. G. Brazil oil spill response: Government inaction. **Science**, v. 367, n. 6474, p. 155-156, 2020.

BABUJI, Preethi et al. Human health risks due to exposure to water pollution: a review. **Water**, v. 15, n. 14, p. 2532, 2023.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 1981.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e dá outras providências. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 1997.

BRASIL. Ministério 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, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 53, p. 58-63, 18 mar. 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução CONAMA Nº 357/2005. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 92, p. 89-95, 16 maio 2011.

DISNER, Geonildo Rodrigo et al. The environmental impacts of 2019 oil spill on the Brazilian coast: Overview. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, 2020.

EUZEBIO, Camilla Szerman; DA SILVEIRA RANGEL, Giovanna; MARQUES, Rejane Côrrea. Derramamento de petróleo e seus impactos no ambiente e na saúde humana. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (RBCIAMB)**, n. 52, p. 79-98, 2019.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Localidades Atingidas (2020). Disponível em: <<https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/fiscalizacao-e-protecao-ambiental/emergencias-ambientais/manchasdeoleo/localidades-atingidas>> Acesso em: 8 Dez. de 2024.

KATO, Shoma; KANSHA, Yasuki. Comprehensive review of industrial wastewater treatment techniques. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 31, n. 39, p. 51064-51097, 2024.

KRISHAN, Amit; YADAV, Shweta; SRIVASTAVA, Ankita. Water Pollution's Global Threat to Public Health: A Mini-Review. 2023.

LOURENÇO, Rafael André et al. Mysterious oil spill along Brazil's northeast and southeast seaboard (2019–2020): Trying to find answers and filling data gaps. **Marine Pollution Bulletin**, v. 156, p. 111219, 2020.

MELLO, Caio CS; LEÃO, Monica MD; AMORIM, Camila C. Five years after the Brumadinho dam collapse: Evaluation of water quality based on combined analysis of land use and environmental data. **Science of The Total Environment**, v. 957, p. 177619, 2024.

MELO, Tatiane Lucia de; GUIMARÃES, Liliane de Oliveira; CORTESE, Tatiana Tucunduva P. Philippe. Disaster governance and the role of civil society: A study of the mining disaster in Brumadinho, Brazil. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 114, p. 104945, 2024.

OWA, F. D. et al. Water pollution: sources, effects, control and management. **Mediterranean journal of social sciences**, v. 4, n. 8, p. 65-68, 2013.

OLADIMEJI, T. E. et al. Review on the impact of heavy metals from industrial wastewater effluent and removal technologies. **Heliyon**, v. 10, n. 23, 2024.

PANHWAR, Aijaz et al. Water resources contamination and health hazards by textile industry effluent and glance at treatment techniques: A review. **Waste Management Bulletin**, v. 1, n. 4, p. 158-163, 2024.

ROSE, Rodrigo L.; MUGI, Sohan R.; SALEH, Joseph Homer. Accident investigation and lessons not learned: AcciMap analysis of successive tailings dam collapses in Brazil. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 236, p. 109308, 2023.

SANTANA, Caroline S. et al. Assessment of water resources pollution associated with mining activity in a semi-arid region. **Journal of Environmental Management**, v. 273, p. 111148, 2020.

SILVA, Taís Freitas da; AZEVEDO, Débora de Almeida; AQUINO NETO, Francisco Radler de. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments and waters from Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 18, p. 628-637, 2007.

VIEIRA, Ricardo P. et al. Archaeal communities in a tropical estuarine ecosystem: Guanabara Bay, Brazil. **Microbial Ecology**, v. 54, n. 3, p. 460-468, 2007.

XIAO, Lu; LIU, Jianyue; GE, Jinwen. Dynamic game in agriculture and industry cross-sectoral water pollution governance in developing countries. **Agricultural Water Management**, v. 243, p. 106417, 2021.

ZHANG, Wei et al. Community-based conservation of freshwater resources: learning from a critical review of the literature and case studies. **Society & Natural Resources**, v. 36, n. 6, p. 733-754, 2023.