

ESTRATÉGIAS PARA REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA RESIDUAL EM INDÚSTRIAS TÊXTEIS

1 INTRODUÇÃO

A indústria têxtil é uma das maiores responsáveis pela degradação ambiental global, sendo o segundo setor industrial em consumo de água e grande geradora de efluentes altamente poluentes, ricos em corantes sintéticos e substâncias tóxicas de difícil degradação (Sala e Gutiérrez-Bouzán, 2014). O processo de tingimento é um dos principais desafios, pois apresenta baixa fixação dos corantes às fibras, resultando na liberação de grande quantidade desses compostos nos corpos hídricos (Gita et al., 2017), o que torna o setor um dos maiores produtores de águas residuais industriais (Panigrahi; Santhos Kumar, 2020; Al-Asadi et al., 2020).

O consumo de água nessa indústria é alarmante, variando entre 200 e 400 litros por quilograma de produto finalizado (Erkanli et al., 2017), sobretudo nas etapas de acabamento e tingimento (Ferreira et al., 2019). A baixa eficiência hídrica e a limitada adoção de tecnologias limpas agravam o cenário de escassez em regiões vulneráveis. Nesse contexto, a segurança hídrica, prevista nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, evidencia a urgência de estratégias para o reaproveitamento da água (Partal et al., 2022; Melnikova et al., 2022).

Perante ao exposto, torna-se essencial analisar os impactos do descarte inadequado de efluentes e propor alternativas tecnológicas que viabilizem seu tratamento e reaproveitamento, considerando que o processamento úmido segue como uma das principais fontes de poluição no setor (Ali et al., 2016). Diante disso, este estudo se orienta pela seguinte questão: Quais estratégias sustentáveis podem ser aplicadas ao tratamento e reaproveitamento das águas residuais geradas pela indústria têxtil?

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Economia Circular

A Economia Circular (EC) tem se consolidado como estratégia essencial frente às crescentes pressões ambientais, sociais e econômicas do século XXI, diferenciando-se do modelo linear de “extrair, produzir, consumir e descartar” ao propor a redução do desperdício, o uso eficiente dos recursos e a minimização de emissões (Su, 2013; Geissdoerfer et al., 2020). Sua popularização ocorreu em 2015, com o Plano de Ação para a EC da Comissão Europeia, que a definiu como um sistema econômico voltado a manter o valor de produtos e materiais pelo maior tempo possível, reduzindo a geração de resíduos (Comissão Europeia, 2015; Šimková et al., 2023).

Baseada nos princípios dos 3Rs (reduzir, reutilizar e reciclar), a EC busca prolongar o ciclo de vida dos produtos desde o design até o descarte, priorizando a reutilização, o reparo, a remanufatura e a reciclagem (Murray; Skene; Haynes, 2017; Winans; Kendall; Deng, 2017). Mais do que uma escolha ética, a adoção da circularidade tornou-se uma exigência estratégica diante da pressão por práticas sustentáveis, transformações tecnológicas e competitividade empresarial (Uwugbe et al., 2018; Borrello et al., 2020).

Nesse sentido, a EC contribui para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030, ao alinhar crescimento econômico com justiça social e redução dos impactos ambientais (Jacometti, 2019). Setores intensivos em recursos naturais, como o têxtil, ilustram de forma clara esses desafios: cadeias produtivas complexas, alto consumo

de água e energia, uso de produtos químicos e grande volume de resíduos. Assim, torna-se urgente a adoção de tecnologias limpas e práticas que conciliem produtividade e responsabilidade socioambiental.

2.2 SETOR TÊXTIL

A indústria têxtil possui importância histórica e contemporânea nos âmbitos social, cultural, econômico e político, marcada pela diversidade de usos dos tecidos e pelo papel central na vida cotidiana (Fujita; Jorente, 2015). Com a consolidação do capitalismo industrial, formaram-se grandes complexos produtivos voltados à produção em massa, caracterizados pelo uso intensivo de máquinas e pela busca por eficiência (Marx, 2013; Cunha; Guedes, 2021).

Entretanto, a expansão desse setor resultou em graves impactos ambientais. A indústria têxtil está entre as maiores consumidoras de água, sobretudo nos processos de tingimento e acabamento, que demandam substâncias químicas altamente poluentes. Seus efluentes, ricos em corantes persistentes, metais pesados e compostos tóxicos, estão entre os mais difíceis de tratar (Nigam et al., 1996; Yaseen; Scholz, 2019; Trivunac et al., 2024). Além disso, estima-se que mais de 80% dos materiais têxteis pós-consumo são descartados em aterros ou incinerados, reforçando a lógica linear predominante (Fundação Ellen MacArthur, 2024).

Esse cenário tem impulsionado discussões sobre modelos produtivos mais sustentáveis, alinhados à Economia Circular, que priorizam o reuso, a reciclagem e a extensão do ciclo de vida dos produtos, por meio de estratégias como design para desmontagem, uso de fibras recicláveis e reaproveitamento de resíduos (Geissdoerfer et al., 2017; Peters, 2018). Nesse sentido, iniciativas como o Plano de Ação Europeu para o Vestuário buscam estruturar sistemas de coleta seletiva e reduzir resíduos ao longo de todo o ciclo de vida (Moorhouse; Moorhouse, 2017).

Instrumentos políticos como a Responsabilidade Estendida do Produtor (REP) também ganham relevância ao transferir aos fabricantes a responsabilidade pela reinserção dos produtos no ciclo produtivo, promovendo rastreabilidade, transparência e investimentos em tecnologias de reaproveitamento (Fundação Ellen MacArthur, 2024). Assim, repensar o setor têxtil requer a integração entre inovação tecnológica, políticas públicas e práticas empresariais sustentáveis, abrangendo tanto os resíduos sólidos quanto o tratamento e reuso das águas residuais, fundamentais para fechar ciclos produtivos e mitigar impactos ambientais.

2.3 ÁGUAS RESIDUAIS

O crescimento industrial aumentou a pressão sobre os recursos hídricos, tornando as águas residuais não apenas passivos ambientais, mas potenciais fontes de reaproveitamento (Sillanpää; Ncibi, 2017). O setor têxtil destaca-se pela alta geração de efluentes nos processos úmidos — tingimento, lavagem e acabamento — que consomem grandes volumes de água e utilizam substâncias químicas complexas (Sala; Gutiérrez-Bouzán, 2014).

Esses efluentes contêm corantes sintéticos, metais pesados e outros poluentes persistentes, tornando o tratamento técnico e economicamente desafiador (Gita et al., 2017; Kant, 2012; Sharma; Nandi, 2017). Quando tratados adequadamente, podem ser reutilizados em irrigação, refrigeração ou processos industriais, reduzindo a pressão sobre fontes de água

doce e oferecendo soluções ambientalmente e economicamente estratégicas (Dias et al., 2024; Faria et al., 2021).

Diante da escassez hídrica global e do alto consumo industrial, especialmente na têxtil, a reutilização segura da água residual torna-se essencial para garantir a continuidade das atividades produtivas, promover circularidade e reduzir impactos ambientais (Yaseen; Scholz, 2019; Batista et al., 2021; Bailone et al., 2022).

2.4 ESTRATÉGIAS PARA TRATAMENTO DAS ÁGUAS RESIDUAIS

Diante dos impactos ambientais causados pelos efluentes industriais, especialmente os provenientes do setor têxtil, o desenvolvimento de tecnologias de tratamento eficientes e sustentáveis tem se intensificado. Entre as alternativas promissoras destaca-se o uso de resíduos celulósicos modificados, provenientes de fibras naturais ou misturas, como adsorventes na remoção de poluentes, sobretudo metais pesados e corantes (Trivunac et al., 2024; John e Anandjiwala, 2008).

Esses resíduos, por serem naturais, biodegradáveis e de baixo custo, podem ser utilizados para aumentar sua capacidade adsorptiva, oferecendo uma solução de reaproveitamento alinhada à EC (Mohammed et al., 2021). Ademais, a valorização desses materiais evita sua destinação a aterros ou incineração, práticas que contribuem para a degradação ambiental (Bediako et al., 2024).

A Produção mais Limpa (P+L), por sua vez, representa uma abordagem preventiva e sistêmica que visa reduzir o uso de recursos naturais e a geração de resíduos desde a origem do processo produtivo (CNI, 2012). Aplicada com sucesso na cadeia têxtil, a P+L estimula melhorias contínuas nos processos, uso racional da água e redução da carga poluente dos efluentes (Ferreira et al., 2019).

Perante ao exposto, observa-se que o tratamento e o reúso de efluentes têxteis, configuram-se como caminhos viáveis para reduzir os impactos ambientais das atividades industriais e promover uma gestão hídrica mais sustentável. Ademais, as estratégias analisadas demonstram o potencial das tecnologias limpas, como a Produção mais Limpa, para transformar passivos ambientais em recursos valorizados (Vilaseca et al., 2014; Ferreira et al., 2019; Trivunac et al., 2024). Deste modo, o quadro 1 apresenta um quadro síntese com as principais estratégias identificadas na literatura.

Quadro 1: Estratégias de tratamento de águas residuais no setor têxtil identificadas na literatura

Estratégia	Descrição	Autores
Adsorção com resíduos celulósicos modificados	Utilização de fibras naturais tratadas para remoção de metais pesados e corantes	Trivunac et al. (2024); John e Anandjiwala (2008); Mohammed et al. (2021)
Coagulantes naturais (ex.: Moringa oleifera)	Aplicação de compostos vegetais de baixo custo na remoção de corantes reativos	Vilaseca, López-Grimau e Gutiérrez-Bouzán (2014); Verma, Dash e Bhunia (2012)
Recuperação de nutrientes (N, P) com cultivo de microalgas	Tratamento com aproveitamento de nutrientes para produção de biomassa e prevenção da eutrofização	Alcântara et al. (2015); Solovechenko et al. (2016); Namsaraev et al. (2020)
Produção mais Limpa (P+L)	Abordagem preventiva que promove o uso racional da água e redução da carga poluente	CNI (2012); Ferreira et al. (2019)
Oxidação avançada (H ₂ O ₂ + radiação UV)	Processo químico para degradação de contaminantes	Leal et al. (2018); Dias et al. (2024)

	complexos, com potencial para reúso da água tratada	
Adsorção com lodo têxtil	Reaproveitamento de resíduos sólidos têxteis como adsorventes no tratamento de efluentes	Dias et al. (2024)
Integração com princípios da Economia Circular (EC)	Enfoque transversal de reutilização da água e valorização de resíduos para fechamento de ciclos produtivos	Geissdoerfer et al. (2017); ONU (2015); Partal et al. (2022)

Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

Dessa forma, o tratamento e o reúso de águas residuais no setor têxtil configuram-se como estratégias fundamentais para reduzir os impactos ambientais, otimizar o uso de recursos hídricos e avançar na transição para modelos produtivos mais sustentáveis. Ao integrar tecnologias inovadoras, práticas de Produção mais Limpa e princípios da Economia Circular, é possível transformar passivos ambientais em recursos estratégicos, promovendo a eficiência industrial e contribuindo para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, especialmente no que se refere à gestão responsável da água e à produção e consumo conscientes.

3 METODOLOGIA

Para responder a questão de pesquisa, foi adotada uma abordagem qualitativa, que busca analisar aprofundadamente fenômenos complexos e à interpretação de significados, contextos e práticas sociais (Godoy, 1995; Denzin; Lincoln, 2011). Realizou-se uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) com foco em tecnologias e estratégias sustentáveis para o reaproveitamento de águas residuais na indústria têxtil, alinhadas à redução de impactos ambientais e ao uso eficiente da água (Tranfield; Denyer; Smart, 2003). Ademais, foi realizada uma busca nas bases Web of Science e Scopus, entre 2010 e 2024, com os termos “textile industry; circular economy; wastewater; reuse and sustainability” e o operador booleano “AND”, resultou em 17 artigos após triagem e critérios de inclusão/exclusão.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados evidenciam que a indústria têxtil vem adotando diversas tecnologias e estratégias alinhadas à Economia Circular para o reaproveitamento de águas residuais. Destacam-se a adsorção com resíduos celulósicos, coagulantes naturais, cultivo de microalgas, processos de oxidação avançada e a implementação da Produção mais Limpa. Essas abordagens apresentam benefícios ambientais, operacionais e econômicos, promovendo a redução do consumo hídrico, mitigação da poluição e valorização de resíduos. Observa-se, ainda, que a integração dessas práticas contribui para o fechamento de ciclos produtivos e fortalece a sustentabilidade industrial, embora desafios relacionados à viabilidade econômica e à escala de aplicação ainda persistam.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo reforça a importância da adoção de estratégias sustentáveis para o tratamento e reúso de águas residuais na indústria têxtil, evidenciando a relevância da Economia Circular na mitigação de impactos ambientais e na otimização do uso de recursos hídricos. As tecnologias analisadas demonstram potencial para transformar passivos ambientais em recursos produtivos, promovendo eficiência, inovação e alinhamento aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Por fim, a pesquisa destaca a necessidade de

políticas públicas e investimentos tecnológicos que viabilizem a implementação dessas práticas em larga escala, consolidando uma indústria mais resiliente e responsável.

REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR ISO 14001:2015 – Sistemas de gestão ambiental. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- AL-ASADI, S. T. et al. Adsorção de corante azul de metileno de solução aquosa usando adsorvente de baixo custo: estudos cinéticos, de adsorção isotérmica e termodinâmicos. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2020.
- ALI, I. et al. Reciclagem de águas residuais têxteis com biorreator de membrana e planta de osmose reversa para produção sustentável e mais limpa. *Desalination and Water Treatment*, 2016.
- AROISS, F. et al. Tratamento químico-físico e reutilização agrícola de águas residuais têxteis salinas em escala de demonstração. *Revista Água e Meio Ambiente*, v. 38, n. 4, p. 573–586, 2024.
- BAEK, M. H. et al. Remoção de verde malaquita de solução aquosa usando grãos de café desengordurados. *Revista de Materiais Perigosos*, v. 176, p. 820–828, 2010.
- BAILONE, R. L. et al. Water reuse in the food industry. *Discover Food*, v. 2, art. 5, 2022.
- BEDIAKO, J. K.; AGYEI-TUFFOUR, B.; ANANG, B. A. Textile waste management and sustainability: A global review. *Journal of Cleaner Production*, v. 430, 139734, 2024.
- BATISTA, G. T. et al. [Referência não localizada. Adicione os dados bibliográficos completos.]
- BUSCIO, V. et al. Redução do impacto ambiental da indústria têxtil através da reutilização de sais e água residuais: sistema ECUVal. *Chemical Engineering Journal*, 2019.
- CLAUDIO, D.; RÜCKERT, D. Environmental impacts of fast fashion: a case study of the textile industry. *Sustainability*, v. 12, n. 21, p. 1–20, 2020.
- CNI; SENAI. Guia de produção mais limpa para a indústria têxtil. Brasília: CNI, 2020.
- COMISSÃO EUROPEIA. Comunicação “Fechar o ciclo — Um plano de ação da UE para a economia circular”. Bruxelas: Comissão Europeia, 2015. COM(2015) 614.
- CUNHA, E. P.; GUEDES, L. T. A incongruência do taylorismo à indústria têxtil como sistema de máquinas no Brasil e nos Estados Unidos. *Revista Eletrônica de Administração – REAd*, Porto Alegre, v. 27, n. 3, p. 663–692, set./dez. 2021.
- DAUD, N.; AKPAN, U.; HAMEED, B. Descoloração de DN concentrado de preto de sunzol em solução aquosa pelo processo de oxidação de Fenton: efeito dos parâmetros do sistema e estudo cinético. *Desalination and Water Treatment*, v. 37, p. 1–7, 2012.
- DENZIN, N. K.; LINCOLN, Y. S. *The Sage Handbook of Qualitative Research*. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2011.
- DIAS, J. et al. Tratamento de águas residuais em indústrias semiáridas: um foco em tecnologias e potencial de reutilização. *Desalination and Water Treatment*, 2024.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Transcendendo os limites da política de REP para têxteis. 2024. Disponível em: <https://ellenmacarthurfoundation.org>. Acesso em: 3 ago. 2025.
- ERKANLI, M. et al. Recuperação de água salobra de águas residuais de tingimento reativo via ultrafiltração. *Journal of Cleaner Production*, v. 165, p. 1204–1214, 2017.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. Water reuse in Europe: Relevant guidelines and emerging initiatives. 2021.
- FARIA, A. A. et al. Avaliação do potencial de reuso industrial de água na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. *Revista Internacional de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 11, n. 2, p. 1–18, ago. 2021.
- FERREIRA, V. X. et al. O uso sustentável da água: a produção mais limpa em uma indústria têxtil do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira Multidisciplinar*, Araraquara, v. 22, n. 3, p. 119–143, set./dez. 2019.
- FUJITA, R. M. L.; JORENTE, M. J. A indústria têxtil no Brasil: uma perspectiva histórica e cultural. *Revista ModaPalavra e-Periódico*, v. 8, n. 15, jan./jul. 2015.
- GITA, S. et al. Um protótipo de um novo dispositivo de leito de coluna baseado em resíduos agrícolas para remoção de corante têxtil Optilan Red. *Water Science & Technology*, 2017.
- GODOY, A. S. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. *Revista de Administração de Empresas*, v. 35, n. 2, p. 57–63, 1995.
- GUNES, S.; AYOL, A. Aplicabilidade de diferentes materiais têxteis em processos de filtração integrados com SBR para reuso de águas residuais em pequenos assentamentos. *Water Science and Technology*, v. 84, n. 10–11, p. 3323–3335, 2021.
- JACOMETTI, V. Economia circular e resíduos na indústria da moda. *Laws*, v. 8, n. 4, p. 27, 2019.
- JOHN, M. J.; ANANDJIWALA, R. D. Recent developments in chemical modification and characterization of natural fiber–reinforced composites. *Polymer Composites*, v. 29, n. 2, p. 187–207, 2008.
- JONES, R.; BRAGA, L. Aplicações da Moringa oleifera no tratamento de águas. *Revista Brasileira de Engenharia Ambiental*, v. 15, n. 2, 2018.
- KANT, R. Textile dyeing industry an environmental hazard. *Natural Science*, v. 4, n. 1, p. 22–26, 2012.

KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 127, p. 221–232, 2018.

KOSZEWSKA, M. Economia circular — desafios para a indústria têxtil e de vestuário. *AUTEX Research Journal*, v. 4, p. 337–347, 2018.

MARX, K. *O capital*. São Paulo: Boitempo, 2013.

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. Four billion people facing severe water scarcity. *Science Advances*, v. 2, n. 2, e1500323, 2016.

MELNIKOVA, A. et al. AlgalTextile – um novo material biohíbrido para tratamento de águas residuais. *Biotechnology Reports*, v. 33, e00698, 2022.

MINELGAITE, A.; LIODIKIENĖ, G. The problem of not waste sorting behaviour, comparison of waste sorters and non-sorters in European Union: A cross-national analysis. *Science of The Total Environment*, v. 672, p. 174–182, 2019.

MOORHOUSE, D.; MOORHOUSE, D. Design sustentável: economia circular na moda e têxteis. *The Design Journal*, v. 20, p. 1948–1959, 2017.

MURRAY, A.; SKENE, K.; HAYNES, K. A economia circular: uma exploração interdisciplinar do conceito e da aplicação em um contexto global. *Journal of Business Ethics*, v. 140, p. 369–380, 2017.

NAMSARAEV, Z. et al. Microalgae cultivation for wastewater treatment and resource recovery. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 27, p. 35069–35085, 2020.

NIINIMÄKI, K. et al. The environmental price of fast fashion. *Nature Reviews Earth & Environment*, v. 1, n. 4, p. 189–200, 2020.

NIGAM, I. M.; BANAT, D.; SINGH, M. R. Processo microbiano para a descoloração de efluentes têxteis contendo corantes azo, diazo e reativos. *Process Biochemistry*, v. 31, n. 5, p. 435–442, 1996.

OZBAY, I. et al. Estudos cinéticos, termodinâmicos e de equilíbrio para adsorção de corante reativo azo em um novo adsorvente de resíduos: cinzas de carvão. *Desalination and Water Treatment*, v. 51, p. 6091–6100, 2013.

PANIGRAHI, T.; SANTHOS KUMAR, A. U. Processo de adsorção para redução de metais pesados em efluentes industriais têxteis com adsorventes de baixo custo. *Progress in Chemical and Biochemical Research*, v. 3, p. 135–139, 2020.

PARTAL, R. et al. Recuperação de água e sal reutilizável: solução de salmoura de osmose reversa na indústria têxtil – um estudo de caso. *Water Resources and Industry*, v. 27, p. 1–11, 2022.

PNUMA. *Produção mais limpa: guia para implementação em empresas industriais*. Paris: UNEP, 2001.

ROCKSTRÖM, J. et al. A safe operating space for humanity. *Nature*, v. 461, n. 7263, p. 472–475, 2009.

SALA, M.; GUTIÉRREZ-BOUZÁN, M. C. Tratamento eletroquímico de águas residuais industriais e reutilização de efluentes em escala laboratorial e semi-industrial. *Journal of Cleaner Production*, v. 65, p. 458–464, 2014.

SHARMA, P. et al. Natural coagulants for water treatment: a sustainable approach. *Environmental Technology & Innovation*, v. 20, 2020.

SILLANPÄÄ, M.; NCIBI, M. C. *A sustainable approach to wastewater treatment: Processes, technologies and energy recovery*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2017.

SIMKOVÁ, Z. et al. A taxa de utilização da economia circular em setores individuais. *Acta Montanistica Slovaca*, v. 28, n. 1, p. 13–26, 2023.

STEFFEN, W. et al. Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. *Science*, v. 347, n. 6223, 2015.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British Journal of Management*, v. 14, n. 3, p. 207–222, 2003.

TRIVUNAC, K. et al. Resíduos à base de celulose modificada para melhor adsorção de metais pesados selecionados de águas residuais. *Polímeros*, v. 16, p. 2610, 2024.

UWUIGBE, O. R. et al. Economia circular: uma revisão bibliométrica da pesquisa em economias emergentes (2010–2024). *International Journal of Energy Economics and Policy*, 2024.

UWUIGBE, U. et al. Relatórios de sustentabilidade e desempenho empresarial: uma abordagem bidirecional. *Academy of Strategic Management Journal*, v. 17, n. 3, p. 1–16, 2018.

VERMA, A. K.; DASH, R. R.; BHUNIA, P. A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters. *Journal of Environmental Management*, v. 93, n. 1, p. 154–168, 2012.

VILASECA, M.; LÓPEZ-GRIMAU, V.; GUTIÉRREZ-BOUZÁN, C. Use of Moringa oleifera seed extract in reactive dye removal. *Dyes and Pigments*, v. 110, p. 197–202, 2014.

WINANS, K.; KENDALL, A.; DENG, H. A história e as aplicações atuais do conceito de economia circular. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 68, p. 825–833, 2017.

YASEEN, D. A.; SCHOLZ, M. Textile dye wastewater characteristics and constituents of synthetic effluents: a critical review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, v. 16, p. 1193–1226, 2019.