



POR MAURO BERNI

Pesquisador das áreas de meio ambiente e energia do Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético (NIPE), da Universidade de Campinas (Unicamp-SP)
E-mail: mberni@unicamp.br

BIORREFINARIAS E EFLUENTES DA INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL

A indústria de celulose e papel desempenha um papel significativo na economia global, utilizando grandes quantidades de materiais lignocelulósicos e água doce no processo de fabricação de celulose e papel, o que leva à geração de volumes substanciais de efluentes. Esses efluentes são altamente resistentes ao tratamento e apresentam pH alcalino, coloração escura e altos níveis de compostos orgânicos persistentes, como haletos orgânicos adsorvíveis. Além disso, as águas residuais contêm quantidades significativas de lignina, hemicelulose e celulose.

O manuseio e o descarte adequados desses efluentes de forma econômica e ambientalmente sustentável tornaram-se preocupações cruciais nos últimos anos, considerando seus possíveis impactos sobre os seres vivos.

Métodos convencionais de tratamento de águas residuais, como tanques de aeração de superfície e usinas de lodo ativado, não se alinham com a visão atual da economia circular. Portanto, conforme indicam Vineet Kumar e Pradeep Verma do Laboratório de Bioenergia e Bioprocessos da Escola de Ciências da Vida, Universidade Central do Rajastão, Bandarsindri, Ajmer, Rajastão, Índia (ver <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780443218019000100?via%3Dihub>); é essencial desenvolver abordagens de reciclagem inovadoras e sustentáveis que maximizem a recuperação de materiais e/ou utilizem essas águas residuais como fonte de energia, facilitem o desenvolvimento de materiais com alto valor agregado e gerem produtos químicos baseados em soluções baseadas na natureza (SBN), sustentáveis para a gestão de resíduos. A incorporação do conceito de biorrefinaria parece ser uma das opções mais promissoras para a valorização dos fluxos de efluentes gerados na indústria de celulose e papel.

Conforme Kumar e Verma (2025), os efluentes gerados na produção de celulose e papel no mundo representam 42% do volume global de águas residuais industriais, o que equivale a 3 bilhões de toneladas. Este efluente de coloração marrom-escura é caracterizado por altos níveis de sólidos dissolvidos totais (SDT), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO). Além disso, o efluente gerado contém uma ampla gama de compostos orgânicos, incluindo lignina, sais inorgânicos e metais pesados.

Devido a restrições financeiras, o tratamento eficaz de efluentes é frequentemente negligenciado no nível industrial, particularmente em países em desenvolvimento. Consequentemente, a recuperação econômica e o descarte seguro de efluentes tornaram-se tarefas desafiadoras para alcançar a globalização da sustentabilidade desta indústria. A geração de bioenergia e bioprodutos, por meio de biorrefinarias avançadas surgiram como soluções viáveis para abordar a questão do descarte seguro de efluentes e fornecer uma abordagem eficaz de gerenciamento de efluentes (Kumar et al., 2023).

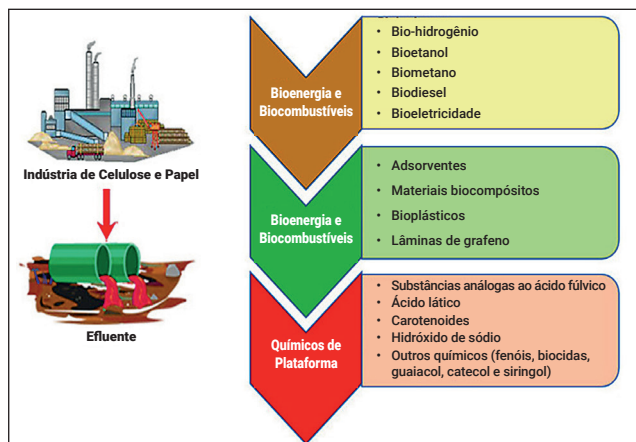


Figura: Valorização de efluentes descartados da indústria de celulose e papel para produção de bioenergia e bioprodutos sob o conceito de biorrefinarias.

Fonte: Kumar V., Verma P., 2025

Os métodos tradicionais de tratamento de efluentes, incluindo a incineração e aterro, bem como a disposição inadequada em cursos de água, enfrentam várias limitações, tornando o conceito de biorrefinarias de efluentes mais atraente.

Biorrefino se refere ao processamento sustentável de biomassa em energia renovável e uma gama de produtos valiosos. As biorrefinarias de efluentes enfatizam baixa pegada de carbono, mitigação das mudanças climáticas e sustentabilidade geral, necessitando do desenvolvimento de sistemas de tratamento de efluentes ecologicamente corretos.

Várias técnicas de biorrefino, incluindo processos químicos, hidrotérmicos e biológicos, demonstraram sua capacidade de valorizar efluentes e atualizar produtos intermediários de biorrefinaria para atingir rendimentos desejáveis (ver Figura). Essa abordagem de biorrefinaria, não apenas expande o portfólio de produtos, mas também abre novas oportunidades de negócios. Consequentemente, a integração da geração de bioenergia e bioprodutos pode levar a fluxos de receita extras para desenvolver a economia da cadeia de produção de celulose e papel. ■

Referências:

Kumar V. et al., Emerging technological solutions for the management of paper mill wastewater: Treatment, nutrient recovery and fourth industrial revolution, *Journal of Water Process Engineering*, 53 (2023), Article 103715, <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.103715>.

Kumar V., Verma P., Chapter 10 – Recent trends in biorefineries using pulp and paper effluents for bioenergy and value-added products formation, Editor(s): Mu. Naushad, Shamsul Rahman Mohamed Kutty, Md. Sohrab Hossain, Abdullahi Haruna Birniwa, Ahmad Hussaini Jagaba, *Biorefinery of Industrial Effluents for a Sustainable Circular Economy*, Elsevier, 2025, <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-21801-9.00010-0>.