



## ESTRATÉGIAS DE BIOAUMENTAÇÃO PARA O TRATAMENTO BIOLÓGICO DE EFLUENTE DE INDÚSTRIA DE PAPEL

Emerson Vinícius Martins Fiaros<sup>(1)</sup>; Ana Livia de José Matos<sup>(2)</sup>; Cassiana Maria Reganham Coneglian<sup>(3)</sup>; Dagoberto Yukio Okada<sup>(3)</sup>

<sup>1</sup>Químico Industrial, pela Universidade Federal do Maranhão. Mestrando em Tecnologia com área de concentração em ambiente, pela Faculdade de Tecnologia, Campus I/Limeira, Universidade Estadual de Campinas

<sup>2</sup>Graduanda de Engenharia Ambiental, pela Universidade Estadual de Campinas, Campus I/Limeira

<sup>3</sup> Faculdade de Tecnologia, Campus I/Limeira, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

**Endereço<sup>(1)</sup>:** R. Paschoal Marmo, 1888 - Jd. Nova Itália. CEP:13484-332 - Limeira, SP. Telefone: (19) 2113-3339 - e-mail: [e242707@dac.unicamp.br](mailto:e242707@dac.unicamp.br)

### RESUMO

O setor da indústria de papel possui um forte potencial devido as suas diversas formas de poluição, tanto atmosférica como hídrica. Se usa uma quantidade expressiva de água em suas etapas de produção. As indústrias de papel geram preocupação para o meio ambiente, seu aumento na taxa de poluição se deve à falta de tratamento adequado e de cuidado com o destino final desse efluente, pois os mesmos contêm compostos lignocelulolíticos que dificultam a sua degradação em processos biológicos. O sucesso de tais processos envolve a presença de microrganismos que possuem enzimas capazes de realizar as etapas iniciais de quebra da cadeia celulósica. O uso de aditivos biológicos, que contenham tais enzimas e microrganismos capazes de realizar essas etapas iniciais de degradação, é primordial para desenvolver uma comunidade microbiana capaz de realizar o tratamento de efluente de indústria de papel. A aplicação da técnica de bioaumentação nesse efluente serve para fortalecer alguns microrganismos que são desejáveis para o tratamento e que estão presentes na amostra. O objetivo do presente trabalho foi adicionar 5% de aditivo em reatores aeróbios e anaeróbios para que se potencialize a remoção de matéria orgânica, fazendo com que o lodo ativado consiga se adaptar ao tratamento. Foram utilizados reatores aeróbios e anaeróbios, com adição desse componente em cada tipo de reator e o seu par serviu para controle, a fim de validar sua eficiência, as bateladas nos aeróbios e anaeróbios eram de 48h, o controle dessa remoção de carga principalmente por análises de DQO da adição e retirada, sendo também realizadas outras análises, como por exemplo, alcalinidade, condutividade e SST do efluente. Resultados preliminares confirmam a eficiência dos reatores removendo aproximadamente 85% e 35%, dos reatores aeróbios e anaeróbios inoculados com aditivo, respectivamente. Além de se observar uma alta no pH dos reatores aeróbios indo de 7 para 8, possivelmente esse aumento tenha feito com que os grupos microbianos estivessem mais a vontade de trabalhar, ao se observar que nos anaeróbios o pH não subiu tanto e a eficiência de remoção não foi tão efetiva.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aditivo biológico, Tratamento anaeróbio, Tratamento aeróbio, Indústria de papel, Tratamento biológico.

### INTRODUÇÃO

A indústria de papel e celulose se destaca como uma grande consumidora de água, gerando cerca de 3 bilhões de m<sup>3</sup> de água residuária por ano, o que corresponde a aproximadamente 30% da produção global industrial de águas residuárias (Hou et al., 2020).

Efluentes oriundos das indústrias de papel e celulose apresentam grupos orgânicos procedentes de ligninas, extrativos e carboidratos degradados, outros compostos presentes devido as etapas de branqueamento, pois utiliza-se matérias-primas que contêm cloro, gerando organoclorados (Hubbe et al., 2016). O despejo incorreto causa a diminuição dos níveis de oxigênio dissolvido dentre outras alterações das características físico-químicas desses corpos hídricos, além também de possíveis efeitos tóxicos na biota local (Ojunga et al., 2010; Tripathy et al., 2022). Geralmente essas indústrias utilizam tratamentos primário e secundário. Os primários normalmente usam decantadores para separar sólidos suspensos pela sedimentação, principalmente as fibras. Os secundários normalmente são processos biológicos aeróbios usando sistemas de lodo ativado ou lagoas



aeradas para retirar matéria orgânica biodegradável se necessário, os processos terciários são utilizados para retirar DQO, cor e sólidos suspensos remanescentes (Ashrafi et al., 2015).

Tratamentos biológicos envolvem métodos de biorremediação, que usam organismos para metabolizar poluentes, reduzindo risco ambientais (Nagda et al. 2021). Os métodos de biorremediação são conhecidos como bioaumentação, atenuação natural ou bioestimulação. Na bioestimulação consegue-se aperfeiçoar condições ambientais para os microrganismos pelo acréscimo de oxigênio, nutrientes, correção de pH, adequação da temperatura, potencial de redução ou aeração (Abena et al. 2019). O processo de bioaumentação adiciona bactérias alóctones, que não estão presentes no ambiente, ou bactérias autóctones, que estão presentes no ambiente. Tal processo se baseia no controle desses microrganismos para ampliar sua biomassa, fazendo com que eles degradem poluentes em corpos hídricos, no solo e em efluentes (Abena et al. 2019).

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Efluente da Reciclagem de Papel (ERP)

O efluente foi obtido na indústria de papel reciclado Ramenzoni (Cordeirópolis/SP). A amostra foi coletada após o efluente passar por tratamentos que visam a floculação e a decantação da parte bruta com adição de polímero e de ácidos. O efluente foi coletado em armazenado em bombonas com capacidade de 25L e levadas para a Universidade Estadual de Campinas/Faculdade de Tecnologia (UNICAMP/FT) campus I, Limeira/SP. O efluente industrial foi analisado seguindo os parâmetros de pH, condutividade, sólidos suspensos totais (SST) e DQO (APHA, 2012).

### Bioaumentação

Foi utilizado o composto orgânico denominado de Componente E (CE), na inoculação dos reatores aeróbios e anaeróbios. O CE foi fornecido pela Microbiol Industria e Comercio LTDA (Limeira/SP), tendo em sua composição de 20% de esterco bovino, 5% de produto orgânico comercial (sólido-Microgeo®) e água. O Microgeo atua como um meio de cultura probiótico gerando alimentação aos microrganismos do rumem bovino afim de realizar o processo de Compostagem Líquida Contínua (CLC®) (D'ANDREA, 2010).

### Reatores em bateladas sequenciais

Foram utilizados quatro reatores em cloreto de polivinila (PVC) de 150 mm de diâmetro externo e com volume útil de 2,5 L sendo dois em condições aeróbias e dois em condições anaeróbias, que foram alimentados em bateladas sequenciais. Os inóculos utilizados foram lodo de reatores anaeróbios de manta de lodo e fluxo ascendente (upflow anaerobic sludge blanket – UASB) para os reatores anaeróbios, e lodos ativados para os reatores aeróbios, ambos coletados em estação de tratamento de esgoto (Limeira/SP).

Dois destes reatores com a água residuária foram inoculados com o CE, sendo um aeróbio e o outro anaeróbio (Tabela 1), os outros serviram como controle operando sem a adição de CE. Os dois reatores inoculados com CE receberam 5% (v/v) conforme Bon et al. (2022), e foram operados até atingir a estabilidade de remoção de DQO. Todos os reatores foram mantidos em temperatura ambiente se mantendo uma temperatura média de  $25 \pm 1$  °C.

Tabela 1. Condições dos reatores utilizados no tratamento de águas residuárias de indústria de papel reciclado

	Condição	Aditivo
Reator 1	Aeróbio	5%
Reator 2	Aeróbio	-
Reator 3	Anaeróbio	5%
Reator 4	Anaeróbio	-

Nos reatores foram monitorados o efluente na entrada e na saída de cada, a cada 48h, por meio de parâmetros como: pH, condutividade, sólidos suspensos totais (SST) e DQO (APHA, 2012).

## RESULTADOS

Tabela 2. Resultados das médias dos parâmetros de entrada (E) e saída (S) do efluente nos tratamentos

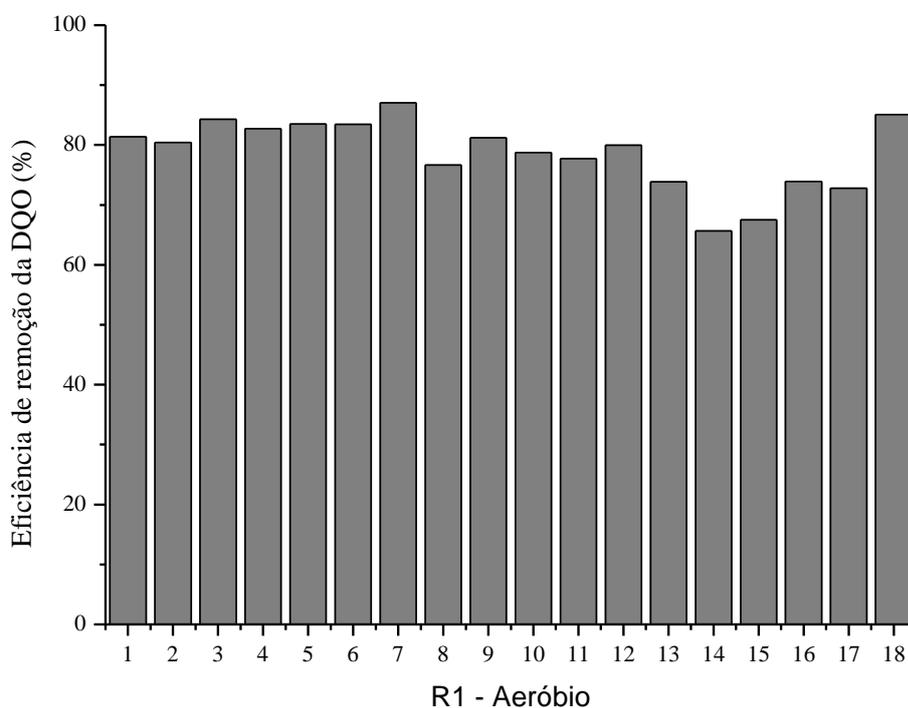
Reator	pH (E)	pH (S)	Condutividade mS/cm (E)	Condutividade $\mu$ S/cm (S)	DQO Mg O <sub>2</sub> /L (E)	DQO Mg O <sub>2</sub> /L (S)	SST mg/L (E)	SST mg/L (S)
R1	7,16	8,51	2166	1119	2189	432	172	128
R2	6,86	8,3	2232	1208	2382	703	239	155
R3	6,91	7,43	2350	2254	2505	1792	312	206
R4	6,71	7,33	2564	2366*	2718	2245	271	236

\*o valor ficou em mS

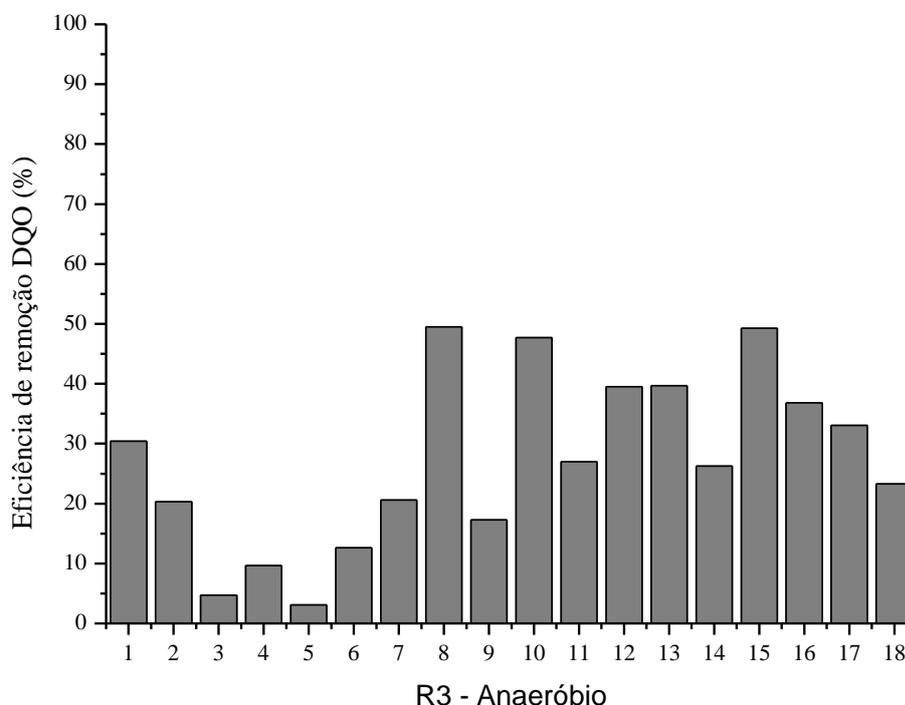
Neste estudo observou-se que o valor de pH dos reatores na saída ficou entre 7,33 e 8,51 (Tabela 2), com um valor maior que a entrada. A partir dos resultados observados na Tabela 2, consegue-se notar que os parâmetros na saída de todos os reatores tiveram diminuições aceitáveis de DQO, condutividade e SST, sendo nos aeróbios as maiores remoções e com um valor de pH levemente alcalino. Os reatores anaeróbios mostraram remoções de DQO e SST, mas não tão eficientes como os aeróbios, onde o pH ficou próximo a neutralidade e a condutividade do reator sem adição do aditivo não foi tão eficiente.

Figura 1. Remoção de DQO nos reatores aeróbio R1 (a) e anaeróbio3 R3 (b)

(a)



(b)



Quando se observa os gráficos de remoção de DQO (Fig. 1), o reator aeróbio possui uma eficiência elevada relacionado ao anaeróbio. A eficiência foi observada apenas nos reatores que foram utilizado o aditivo biológico. Observa-se que a remoção de DQO no reator aeróbio teve eficiência alta já nos primeiros 13 dias de tratamento chegando a quase atingir 90% (Fig. 1a), mas a partir do 15° dia a eficiência diminuiu. Por outro lado, o reator anaeróbio não obteve boa taxa de remoção da DQO, sequer atingindo 50% nas 17 bateladas iniciais (Fig. 1b). Porém, observa-se que a partir do 19° dia essa taxa começou a apresentar estabilidade entre 30 e 50%, devido provavelmente da adaptação dos microrganismos anaeróbios. No reator anaeróbio é possível notar uma provável estabilidade de remoção após o 21° dia de batelada, enquanto o aeróbio se mostrou constante desde sua primeira batelada. Vale ressaltar que as bateladas duraram 48 h cada.

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

Estudos realizados por Bon et al. (2022) mostraram eficiências de remoção de DQO de 68% e 45% em reatores com tratamentos aeróbio e anaeróbio, respectivamente. Comparando com o presente estudo, nota-se que o aeróbio (R1) teve uma taxa de remoção mais eficiente enquanto que o reator anaeróbio (R3) não conseguiu manter uma taxa de remoção tão boa quanto o relatado por Bon et al. (2022). Essa maior remoção no reator aeróbio pode ter sido favorecido o metabolismo pelas temperaturas, que no atual trabalho a temperatura teve uma média de 25 °C enquanto a autora manteve valores médios de 21 °C, tendo uma queda brusca de 4,7 °C. Por outro lado, a menor eficiência dos reatores anaeróbios do presente estudo pode estar associada ao tempo de adaptação, visto que a quantidade de dias fora menor comparando aos de Bon et al. (2022). Provavelmente, os reatores anaeróbios se estabilizariam caso fosse deixado por mais dias conforme tendência observada na Fig. 1b após a 21ª batelada.

Estudos feitos por Meyer e Edwards (2014) e Bakraoui et al., (2020) com águas residuárias de indústrias de papel e celulose relataram eficiências de remoção de DQO entre 28,68% e 80,63% na condição anaeróbia, respectivamente. Hooda et al. (2015) adicionaram uma cepa de bactéria Gram-positiva afim de tratar efluentes de indústrias de papel e celulose em reatores anaeróbios, e observaram remoções de DQO de 69% após adaptação dos microrganismos. Tyagi et al. (2014) isolaram duas bactérias e um fungo oriundos de solos



contaminados com a poluição desses efluentes industriais de papel e celulose, e obtiveram remoção de 94,7% de DQO.

Efluentes tratados de maneira aeróbia constantemente demonstram efluentes de alta qualidade em relação a remoção de contaminantes comparados aos processos anaeróbios isolados (Barton et al., 1998). Tratamentos anaeróbios para tratamentos de indústrias de papel e celulose apresentam vantagens quando comparado ao aeróbio, sendo alguns deles um menor consumo de produtos químicos e menor produção de lodo. Entretanto, se observou que alguns microrganismos anaeróbios, acabam por terem uma maior sensibilidade a determinados produtos químicos e substâncias tóxicas, sendo um deles o material de lignocelulose e alguns compostos de difícil biodegradação, que são encontrados em grande maioria nesses efluentes de indústrias de papéis oriundos de etapas do Kraft branqueado (Liang et al., 2021).

## CONCLUSÕES

Os reatores aeróbicos, utilizando lodo ativado com auxílio do aditivo, conseguiram desempenhar uma estabilidade e eficiência de remoção de DQO e diminuição nos demais parâmetros. Já os reatores anaeróbios indicaram que necessitavam de maior adaptação dos microrganismos, de modo que a taxa de remoção de DQO foi bem baixa, além dos demais parâmetros que não apresentaram alterações significativas. A bibliografia apresenta resultados promissores com o uso da bioaugmentação, e analisando pelos resultados obtidos há indícios de que um tempo maior de adaptação do lodo pode levar ao aumento da eficiência de remoção de DQO.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abena, MTB et al. Biodegradation of total petroleum hydrocarbons (TPH) in highly contaminated soils by natural attenuation and bioaugmentation. *Chemosphere* 234, 864-874, 2019.
2. APHA. Standard Methods. 22 ed. APHA, 2012.
3. Ashrafi, O et al. Wastewater treatment in the pulp-and-paper industry: A review of treatment processes and the associated greenhouse gas emission. *J Environ Manage*, 158, 146–157, 2015.
4. Bakraoui, M et al. Kinetic study and experimental productions of methane production from UASB reactor treating wastewater from recycled pulp and paper for the continuous test. *Biomass Bioenerg* 139, 105604, 2020.
5. Barton, DA et al. Stand-Alone Biological Treatment of Kraft Mill Condensates-Pilot Plant Studies. In: *The 1998 TAPPI International Environmental Conference & Exhibit. Part 2; Tappi*, 521–537, 1998.
6. Bon, DC et al. Benefits of biological additive inoculation in the treatment of effluent from the paper recycling industry. *J Water Process Eng*, v. 50, 103269, 2022.
7. D’Andrea, PA. Microbiol. Processo de compostagem líquida contínua – CLC e biofertilizante. *PI0207342-0*, 2010.
8. Hooda, R et al. Screening and identification of ligninolytic bacteria for the treatment of pulp and paper mill effluent. *Water Air Soil Poll*, v. 226, n. 9, 305, 2015.
9. Hou, R et al. Tertiary treatment of biologically treated effluents from pulp and paper industry by microwave modified activated carbon adsorption. *Desalin Water Treat* 182, 118–126, 2020.
10. Hubbe, MA et al. Wastewater treatment and reclamation: A review of Pulp and paper industry practices and opportunities. *BioResources*, 11, 7953–8091, 2016.
11. Liang, J et al. Performance and Microbial Communities of a Novel Integrated Industrial-Scale Pulp and Paper Wastewater Treatment Plant. *J Clean Prod*, 278, 123896, 2021.



12. Meyer, T & Edwards, EA. Anaerobic digestion of pulp and paper mill wastewater and sludge. *Water Res* 65, 321-349, 2014.
13. Nagda, A et al. Bioremediation of industrial effluents: A synergistic approach, *J Basic Microb* 62, 395-414, 2021.
14. Ojunga, S et al. Impact of a kraft pulp and paper mill effluent on phytoplankton and macroinvertebrates in river Nzoia, Kenya. *Water Qual Res J Can*, 45, 235–250, 2010.
15. Tripathy, AP et al. Impact of effluent of pulp & paper industry on the flora of river basin at Jaykaypur, Odisha, India and its ecological implications. *Environ Res*, 204, 111769, 2022.
16. Tyagi, S et al. Bioremediation of pulp and paper mill effluent by dominant aboriginal microbes and their consortium. *Int J Environ Res*, v. 8, n. 3, 561-568.5, 2014.