



SEI-SICITE 2021

Pesquisa e Extensão para um mundo em transformação

# Avaliação da tratabilidade de efluente de celulose na remoção de compostos específicos por processo de bioaugmentação com bactérias autóctones

## *Evaluation of cellulose effluent treatability in the removal of specific compounds by bioaugmentation process with autochthonous bacteria*

Mac Wendell Barbosa da Silva (orientado)\*, Claudia Regina Xavier (orientadora)†, Gustavo Henrique Couto‡

### RESUMO

Durante o processo de produção das indústrias de celulose são gerados em média de 30m<sup>3</sup> de efluentes por tonelada de celulose produzida. Para minimizar os efeitos nocivos destes no meio ambiente, é realizado o tratamento biológico do efluente prévio a sua descarga. No marco do tratamento biológico, tem-se o processo de bioaugmentação, que potencializa as espécies microbiológicas capazes de degradar os contaminantes presentes nessas matrizes. O objetivo desse trabalho foi avaliar do tratamento do efluente Kraft por processo de bioaugmentação com bactérias nativas do efluente de celulose com capacidade de remover compostos específicos. Foram utilizadas as espécies bacterianas *Bacillus pumilus* e *Advenella kashmirensis* previamente isoladas de um sistema de tratamento biológico de reator aeróbico de leito móvel (MBBR). Foi avaliada a remoção dos parâmetros demanda química de oxigênio (DQO), cor, compostos fenólicos totais (CFT) e compostos derivados de lignina, por tratamento de bioaugmentação, resultando em remoções máximas de 37,6%, 60,3%, 26,8% 43,4% de DQO, cor, CFT e compostos lignínicos, respectivamente. O tratamento realizado por bioaugmentação com as espécies selecionadas se mostrou promissor na remoção de matéria orgânica e compostos específicos de efluentes de celulose, superando o desempenho do sistema controle, sem a adição das bactérias.

**Palavras-chave:** Tratamento biológico, Compostos recalcitrantes, Bioaugmentação.

### ABSTRACT

During the production process of the pulp industries, an average of 30m<sup>3</sup> of effluents are generated per ton of pulp produced. To minimize the harmful effects of these on the environment, the effluent is biologically treated prior to discharge. In the framework of biological treatment, there is the process of bioaugmentation, which enhances the microbiological species capable of degrading the contaminants present in these matrices. Therefore, the objective of this work was to evaluate the treatment of Kraft effluent by bioaugmentation process with native bacteria from the pulp effluent capable of removing specific compounds. The bacterial species *Bacillus pumilus* and *Advenella kashmirensis* previously isolated from an aerobic moving bed reactor (MBBR) biological treatment system were used. The removal of the parameters as chemical oxygen demand (COD), color, total phenolic compounds (TPC) and lignin-derived compounds by bioaugmentation treatment was evaluated, resulting in maximum removals of 37.6%, 60.3%, 26.8% 43.4% of COD, color, TPC and lignin compounds, respectively. The treatment performed by bioaugmentation with the selected species showed promise in the removal of organic matter and specific compounds from cellulose effluents, outperforming the control system without the addition of bacteria.

**Keywords:** Biological treatment, Recalcitrant compounds, Bioaugmentation.

\* Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil; [mac@alunos.utfpr.edu.br](mailto:mac@alunos.utfpr.edu.br)

‡ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil; [ghcouth@gmail.com](mailto:ghcouth@gmail.com)

† Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba; [cxavier.utfpr@gmail.com](mailto:cxavier.utfpr@gmail.com)



## 1 INTRODUÇÃO

Diante da elevada taxa de produção de celulose e papel (IBÁ, 2019), as indústrias de celulose e papel tem potencial para emitir grande quantidade de poluentes, destacando-se aqueles na forma líquida, uma vez que são gerados cerca de 30m<sup>3</sup> de efluente para cada tonelada de celulose que é produzida, dessa forma, caracteriza alto potencial poluidor ambiental (TOCZYŁOWSKA-MAMIŃSKA, 2017).

Sendo assim, o emprego de sistemas de tratamentos que sejam eficientes e economicamente viáveis e de suma importância para evitar possíveis impactos ambientais no meio ambiente. Para o tratamento do efluente de indústria de celulose, empregam-se sistemas biológicos, processos físico-químicos, adsorção, oxidação avançada e filtração por membrana (MAJUMDAR et al., 2019). Porém, com exceção dos métodos biológicos, os demais apresentam alto custo que podem causar a inviabilização de sua aplicação (KAMALI et al., 2019).

No Brasil o emprego de tratamentos biológicos aerados são os mais frequentes, destacando os sistemas de lagoas aeradas e lodos ativados. Uma variação de sistemas lodos ativados são os reatores de biofilme com leito móvel (MBBR) do inglês *Moving Bed Biofilm Reactor*, onde se disponibilizam meios de suporte para adesão da biomassa como um filme bacteriano, o que confere estabilidade ao processo biológico de tratamento (ASSUNÇÃO; VANZETTO; XAVIER, 2015; XAVIER et al., 2011).

Isto posto, existe um grande interesse no estudo e desenvolvimento de tecnologias mais sustentáveis nos processos biológicos no tratamento de efluentes de celulose e papel. A bioaugmentação com bactérias autóctones, aquelas que são nativas ao ambiente, do meio ambiente ou do sistema de tratamento, como nesse trabalho, é uma prática sustentável e economicamente viável para melhoria do desempenho do sistema de tratamento biológico.

Nesse sentido, poderiam bactérias isoladas de sistema MBBR tratando efluente de celulose kraft serem capazes de melhorar o desempenho do tratamento biológico quanto a remoção de compostos específicos por bioaugmentação?

Neste âmbito, o objetivo deste trabalho foi avaliar a tratabilidade de efluente da indústria de celulose Kraft na remoção de cor, compostos lignínicos e compostos fenólicos utilizando a bioaugmentação com grupos de bactérias autóctones.

## 2 METODOLOGIA

Para este estudo foi utilizada uma amostra real de efluente de celulose gentilmente fornecida por uma indústria de celulose Kraft não branqueada sediada na região metropolitana de Curitiba-PR. A indústria trata seus efluentes para adequação aos critérios de lançamento. Para a pesquisa a amostra foi coletada antes do tratamento aplicado pela indústria. No laboratório de tratamento de águas residuárias (LATAR-UTFPR) passou por um sistema MBBR em escala de bancada modificado com meio suporte esponjoso.

Para o processo de isolamento, identificação e classificação dos microrganismos presentes no efluente, foram feitas análises microbiológicas e de identificação genética no qual foram utilizados dados biológicos primários com o banco de dados do *National Center for Biotechnology Information* (NCBI), retornando as sequências mais similares e de significância estatística da busca.

Diante dos microrganismos encontrados foram selecionadas duas espécies para avaliar a tratabilidade no efluente de celulose, a *Bacillus pumilus* e a *Advenella kashmirensis*, pois ambas possuem um bom crescimento no efluente Kraft e estavam em abundância no meio (SILVA et al., 2020).

Para a determinação dos parâmetros utilizou-se das metodologias apresentadas no Quadro 1.



**Quadro 1 – Caracterização físico-química do efluente e da biomassa**

Parâmetros	Metodologia/Equipamento
pH	pHmetro CienlaB mPA-210
Temperatura	NBR 9898 (ABNT, 1987)
SST e SSV (mg L <sup>-1</sup> )	540 D, E, F (APHA, 2017)
CA (UV <sub>254nm</sub> )	(ÇEÇEN, 2003)
CFT (mg L <sup>-1</sup> )	(CHAMORRO et al., 2009)
CL (UV <sub>280nm</sub> )	(ÇEÇEN, 2003)
CLS (UV <sub>346nm</sub> )	(ÇEÇEN, 2003)
Cor (Vis <sub>440nm</sub> )	(CHAMORRO et al., 2009)
DQO (mg L <sup>-1</sup> )	5220 D (APHA, 2017)

**Nota:** SST – sólidos suspensos totais. SSV – sólidos suspensos voláteis. CA – compostos aromáticos. CFT – compostos fenólicos totais. CL – compostos lignínicos. CLS – compostos lignossulfônicos. DQO – demanda química de oxigênio.

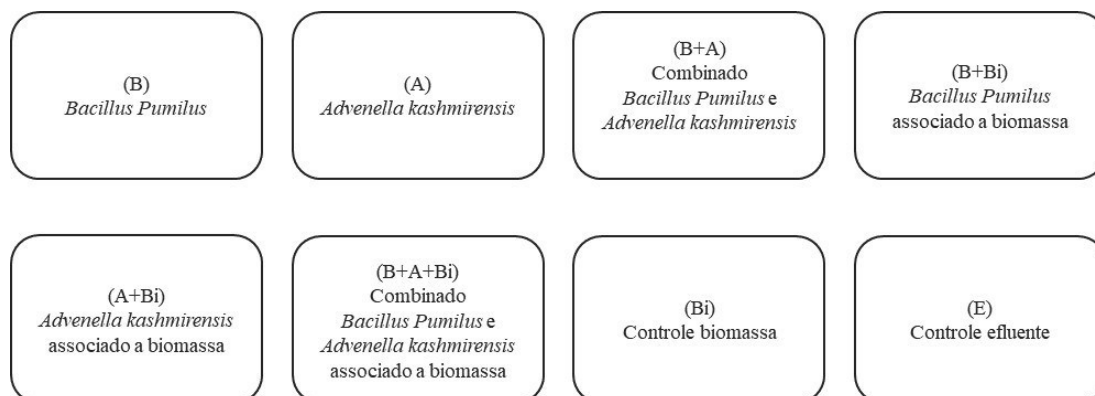
**Fonte:** Autoria própria (2021)

O desenho experimental compreendeu a análise das bactérias selecionadas, juntas e separadamente, além da análise da sua adição ao meio na presença de biomassa originária da planta de tratamento da indústria que cedeu o efluente. Para fins de comparação empregaram-se dois controles, um deles contendo apenas efluente e nutriente e o outro efluente, nutriente e biomassa (70 mg SSV·L<sup>-1</sup>), que foi a mesma utilizadas nos ensaios, todos realizados em triplicata. No total foram 8 diferentes combinações para a realização dos ensaios, as amostras contendo 100 mL foram colocadas em uma incubadora tipo Shaker a 25 °C com agitação de 100 rpm com um Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) de 11,6 horas, para promover a COV 1,2 kg DQO·m<sup>-3</sup>·d<sup>-1</sup>, a aeração foi promovida por bombas de ar.

Para os ensaios de bioaumentação foi tomado como referência o trabalho de Saleem et al. (SALEEM; AHMAD; AHMAD, 2014).

Um esquema dos ensaios está demonstrado na Figura 1.

**Figura 1 – Esquematização dos ensaios de bioaumentação**



**Fonte:** Autoria própria (2021).



Sendo assim, ao todo foram 20 ensaios de bioaumentação com as diferentes combinações com COV de  $1,2 \text{ kg DQO} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$  em cada Erlenmeyer continha 100 mL de efluente, 1 mL da bactéria isolada, 70 mg SSV  $\cdot \text{L}^{-1}$  de biomassa, quando aplicável e 3 mL de nutriente C:N:P com razão de 100:0,5:0,1 em pH 7,0 a 25°C.

Para analisar a eficiência do tratamento através do processo de bioaumentação foram avaliados os seguintes parâmetros: DQO, CFT, cor e compostos derivados da lignina, sendo estes compostos lignínicos, lignossulfônicos e aromáticos.

### 3 RESULTADOS

**3.1 Caracterização do efluente bruto da indústria de celulose Kraft.** A caracterização físico-química da amostra foi realizada após filtração em membrana de  $0,45 \mu\text{m}$  e com diluição quando necessário, sendo corrigida para apresentação dos resultados. Foram avaliados os parâmetros DQO, CFT, cor e compostos derivados da lignina, sendo estes compostos lignínicos, lignossulfônicos e aromáticos, de acordo com a Quadro 2.

**Quadro 2 – Caracterização do efluente da indústria de celulose**

Parâmetros	Resultado
pH	9,7 (0,2)
DQO ( $\text{mg L}^{-1}$ )	637,00 (4,58)
CFT ( $\text{mg L}^{-1}$ )	245,07 (15,20)
Cor ( $V_{iS440\text{nm}}$ )	0,35 (0,07)
CA ( $UV_{254\text{nm}}$ )	4,55 (0,64)
CL ( $UV_{280\text{nm}}$ )	3,87 (0,35)
CLS( $UV_{346\text{nm}}$ )	1,281 (0,21)

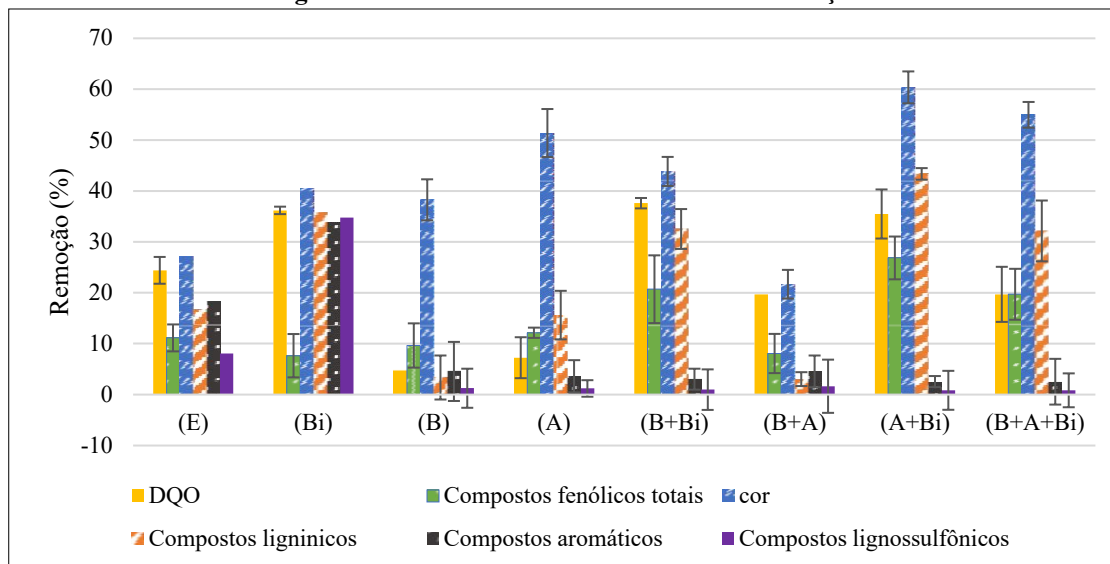
**Nota: Entre parênteses estão os desvios padrão desses resultados.**

**Fonte: Autoria própria (2021)**

**3.2 Concentração de bactérias inoculadas.** Os valores de absorbância medidos em 600 nm para a espécie de bactérias isoladas *Bacillus Pumilus* e *Advenella kashmirensis* foram de 0,6018 e 1,5817, respectivamente. Assim, a concentração de *Bacillus Pumilus* foi de  $4,81 \times 10^8 \text{ UFC mL}^{-1}$  e da *Advenella kashmirensis* foi de  $1,27 \times 10^9 \text{ UFC mL}^{-1}$ .

**3.3 Avaliação da eficiência na remoção dos compostos específicos.** Na Figura 2 são apresentados os resultados dos ensaios de bioaumentação.

**Figura 2 – Resultados dos ensaios de bioaugmentação**



Fonte: Autoria própria (2021).

Para os ensaios que estavam associados a biomassa (Bi, B+Bi, A+Bi e B+A+Bi) observou-se eficiência na remoção de DQO superior a 20%, onde o valor máximo foi de 37,6% de DQO removida para o ensaio que continha a bactéria *Bacillus pumilus* associada a biomassa (B+Bi). Isso também foi observado por Oliveira et al. (2009) tratando efluente de celulose, onde se obteve 22,1% de remoção deste mesmo parâmetro.

Observou-se que nos ensaios contendo a bactéria *Advenella kashmirensis* + 70 mg SSV L<sup>-1</sup> (A+Bi) foi obtida uma remoção média de 26,9% de compostos fenólicos totais, a maior remoção entre as combinações avaliadas. Isso não é muito comum e de fato tem-se observado que a simples aeração do sistema poderia aumentar esse parâmetro (NUNES et al., 2021), o que não foi observado nesse trabalho.

Para os ensaios que continham a bactéria *Advenella kashmirensis*, exceto (B+A), o resultado na remoção de cor foi maior que 50%. Haq et al. (2016), também observaram esse efeito por bioaugmentação com bactéria *Serratia liquefaciens*, a qual removeu cor na média em 72%. (HAQ, 2016)

Em relação aos compostos lignínicos a remoção foi maior nos ensaios contendo a bactéria *Advenella kashmirensis* + 70 mg SSV L<sup>-1</sup> (A+Bi) atingindo 43%. Assim a associação desta bactéria com a biomassa foi interessante principalmente para remover os compostos fenólicos, cor e os compostos lignínicos presentes no efluente de celulose.

#### 4 CONCLUSÃO

O uso da espécie *Advenella kashmirensis* é recente e ainda não tinham sido encontrados trabalhos na literatura para seu uso em processo de bioaugmentação em efluente de celulose Kraft. Sua associação positiva com a biomassa, melhorando o desempenho do sistema a configura como uma espécie promissora para o tratamento dessa matriz complexa. Nesse trabalho seu emprego associado a biomassa produziu a remoção de mais de 60% da cor, 43 % dos compostos lignínicos e 26% dos compostos fenólicos totais. Sendo assim, pode-se afirmar que o tratamento através da bioaugmentação utilizando a espécie bacteriana *Advenella kashmirensis*





associado a biomassa é uma alternativa sustentável e inovadora para implementação em sistemas biológicos de tratamento de efluente da indústria de celulose. Outros estudos poderiam ser realizados no futuro usando a bactéria *Advenella kashmirensis* imobilizada a fim de avaliar seu desempenho na condição de biofilme em meio suporte.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UTFPR pela bolsa de iniciação científica, ao Laboratório de Tratamento de Águas Residuárias (LATAR-UTFPR), ao Laboratório de Microbiologia da UFPR, à indústria COCELPA pela cessão das amostras para estudo, a Ma. Jackeline Nunes, e aos demais colaboradores.

## REFERÊNCIAS

- ASSUNÇÃO, A.; VANZETTO, S.; XAVIER, C. Lodos ativados vs MBBR no tratamento de efluente de indústria de celulose Kraft. 28o **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária**. Rio de Janeiro. 2015.
- HAQ, I.; KUMAR, S.; KUMARI, V.; SINGH, S. K.; RAJ, A. Evaluation of bioremediation potentiality of ligninolytic *Serratia liquefaciens* for detoxification of pulp and paper mill effluent. **Journal of Hazardous Materials**. v. 305, p. 190-199, 2016.
- IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores. Celulose. Dados estatísticos, 2019. Disponível em: <<https://iba.org/dados-estatisticos>>. Acesso em 18 jul. 2021.
- KAMALI, M.; ALAVI-BORAZJANI, S. A.; KHODAPARAST, Z.; KHALAJ, M.; JAHANSHAHI, A.; COSTA, E.; CAPELA, I. Additive and additive-free treatment technologies for pulp and paper mill effluents: advances, challenges and opportunities. **Water Resources and Industry**. v. 21, 2019.
- MAJUMDAR, S.; PRIYADARSHINEE, R.; KUMAR, A.; MANDAL, T. MANDAL, D. D. Exploring *Planococcus* sp. TRC1, a bacterial isolate, for carotenoid pigment production and detoxification of paper mill effluent in immobilized fluidized bed reactor. **Journal of Cleaner Production**. v. 211, p. 1389-1402, 2019.
- NUNES, J. V.; SILVA, M. W. B.; COUTO, G. H.; BORDIN, E. R.; RAMSDORF, W. A.; FLÔR, I. C.; VICENTE V. A.; ALMEIDA, J. D.; CELINSK, F.; XAVIER, C. R. Microbiological Diversity in an Aerated Lagoon Treating Kraft Effluent. **BioResources**, v. 16, n. 3, 2021.
- OLIVEIRA, P. L.; DUARTE, M. C. T.; PONEZI, A. N.; DURRANT, L. R. Use of *Bacillus pumilus* CBMAI 0008 and *Paenibacillus* sp. CBMAI 868 for colour removal from paper mill effluent. **Brazilian Journal of Microbiology**. v. 40, p. 354-357, 2009.
- SALEEM, M; AHMAD, S. AHMAD, M. Potential of *Bacillus cereus* for bioremediation of pulp and paper industrial waste. **Annals of Microbiology**, v. 64, n. 2, p. 823-829, 2014.
- SILVA, M. W. B. S.; XAVIER, C. R.; FLÔR, I. C; NUNES, J. V. Identificação da diversidade biológica em lodos ativados tratando efluentes de celulose. In: **XXV Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica – UTFPR**. Toledo, 2020. Disponível em <<https://eventos.utfpr.edu.br/sicite/sicite2020/paper/viewFile/6577/3287>>. Acesso em: 18 jul. 2021.
- TOCZYŁOWSKA-MAMIŃSKA, R. Limits and perspectives of pulp and paper industry wastewater treatment - A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 78, p. 764-772, 2017.
- XAVIER, C. R.; OÑATE, E.; MONDACA, M. A.; CAMPOS, J. L.; VIDAL, G. Genotoxic effects of kraft pulp mill effluents treated by biological aerobic systems. **Interciencia**. v. 36, n. 6, p. 412-416, 2011.