

II-1073 - IMOBILIZAÇÃO E EMPREGO DE BACTÉRIA AUTÓCTONE NO TRATAMENTO DE EFLUENTE KRAFT EM LAGOA AERADA

Bruna Durat Coelho⁽¹⁾

Bióloga pela Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO. Mestranda em Ciência e Tecnologia Ambiental na Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR.

Jáderson de Paula Carvalho⁽²⁾

Tecnólogo em Gestão da Produção Industrial pelo Centro Universitário Internacional – UNINTER. Mestrando em Ciência e Tecnologia Ambiental na Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR.

Gustavo Henrique Couto⁽³⁾

Doutor em Ciências - Bioquímica pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Prof. Dr. do Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA/UTFPR).

Claudia Regina Xavier⁽⁴⁾

Doutora em Ciências Ambientais pela Universidade de Concepción - Chile. Prof^ª. Dr^ª. do Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA/UTFPR).

Endereço⁽¹⁾: Rua Deputado Heitor Alencar Furtado, 5000 - Ecoville CEP 81280-340 - Curitiba - PR – Brasil - e-mail: brunadurat@alunos.utfpr.edu.br

RESUMO

O isolamento de bactérias nativas ou autóctones para processos de bioaumentação em sistemas de tratamento corresponde a uma estratégia importante para indústria papeleira no Brasil. Os microrganismos apresentam familiaridade com os contaminantes do efluente e resiliência as condições adversas deste meio, em que podem crescer como biofilmes em suportes que melhora a estabilidade e a robustez do processo. Desta forma, o presente trabalho objetivou avaliar o tratamento de efluente de celulose kraft por biofilme aderido ao meio suporte APG e pela bioaumentação com bactéria autóctone *Advenella kashmirensis* imobilizada no mesmo meio suporte. O reator consistiu em sistema de lagoa aerada em escala de bancada, sendo avaliados os parâmetros de remoção de demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), demanda química de oxigênio (DQO) e Cor. Os ensaios realizado na ausência da bactéria nativa no meio suporte apresentaram bom desempenho na remoção da matéria orgânica global com remoção de DBO₅ de 78% e de 32% de DQO. A presença de *A. kashmirensis* aderida no meio suporte APG produziu remoção de cor significativamente maior com $p < 0,05$ alcançando cerca de 8% de redução da cor. As micrografias eletrônicas do APG utilizadas no ensaio de crescimento de biofilme da fase I e II da pesquisa possibilitaram investigar a adesão de fungos e bactérias no interior do APG. Esses resultados indicam que a *A. kashmirensis* imobilizada em meio suporte esponjoso foi promissor no tratamento de efluente de celulose, sendo fundamental mais estudos e análises.

PALAVRAS-CHAVE: Aquaporousgel; Bioaumentação; Efluente kraft; Meio suporte.

INTRODUÇÃO

A manufatura da celulose kraft demanda extenso consumo de água, variando entre 10 a 100 m³ por tonelada de celulose produzida, que devido ao processo de polpação, origina efluentes contendo demanda química de oxigênio (DQO), demanda biológica de oxigênio (DBO₅), cor e ecotoxicidade. Sem tratamento, estes efluente podem produzir impactos ambientais no corpo receptor (LEWIS et al., 2018; SONKAR, et al., 2021).

Na busca por alternativas econômicas, ecológicas e de eficiência energética para o tratamento de efluentes, a bioaumentação de bactérias têm atraído a atenção devido sua eficiência na biodegradação de matéria orgânica e resistência. Associado a isto, hipóteses apontam que bactérias isoladas de habitats poluídos apresentam capacidade de desenvolver sistemas enzimáticos específicos que as permitem sobreviver a condições adversas do ambiente. Da mesma maneira, as bactérias podem crescer sob a forma de biofilmes aderidos a superfície interna de meios suporte, que fornece um ambiente protetor frente a condições desfavoráveis do meio como temperatura, pH, salinidade e variações de carga e de vazão (DINAMARCA et al., 2010; DUAN et al., 2016; SONKAR, et al., 2021).

Neste contexto, visto que os efluentes das indústrias de celulose e papel correspondem a ambientes extremos e que potencialmente são capazes de abrigar microrganismos capazes de depurá-los (LEWIS et al., 2018), o presente trabalho objetivou investigar o desempenho de biofilmes aderidos em meio suporte; e a bioaumentação com bactéria autóctone *A. kashmirensis* isolada do efluente da indústria papelreira, para o tratamento de efluente de celulose kraft por lagoa aerada.

OBJETIVO

Avaliar o desempenho de lagoas aeradas modificadas com meio de suporte esponjoso e bioaumentada com bactéria autóctone *A. kashmirensis* para tratamento de efluente de celulose kraft.

METODOLOGIA

O afluente utilizado para tratamento no sistema de lagoa aerada com meio suporte esponjoso foi cedido por uma indústria de celulose kraft da região de Curitiba. O afluente foi coletado na calha Parshall, na entrada do sistema de tratamento da indústria que consiste de Lagoa de decantação primária, Lagoa Aerada Facultativa e Lagoa de Polimento. O afluente foi coletado em galões de 20L e armazenados a 4°C no Laboratório de Tratamento de Águas Residuárias - LATAR da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

A pesquisa foi realizada em lagoa aerada de volume útil de 1 L (figura 1) em acrílico, com COV de 0,2 kgDQO.m⁻³.d⁻¹, com afluente ajustado para a razão de C:N:P de 100:0,5:0,1 composto de 1,9103 g L⁻¹ de cloreto de amônio (NH₄Cl) e 0,5624 g L⁻¹ de fosfato dipotássico (K₂HPO₄) e correção de pH para 7,00. O sistema foi operado em duas fases.

Na fase I o volume da LA foi preenchido em 10% de meios suporte APG cedido pela Nisshinbo Chemical Inc, sobre o meio suporte se formou o biofilme da biomassa inoculada no sistema (70mg.L⁻¹ SSV) oriunda do lodo da indústria. Sendo então a fase I operada por 46 dias com TDH médio de 2,56 d.

Posteriormente se estruturou um novo sistema, em que foi pré-inoculado na LA a biomassa da indústria de 70mg.L⁻¹ SSV e condições similares as da fase I exceto pelo APG, que passou por experimento de imobilização da bactéria *A. kashmirensis* a qual demonstrou estar aderida na concentração média de 8,4 mg por unidade de APG; o meio suporte com a bactéria aderida foi adicionada a LA, monitorado por 63 dias em um TDH médio de 3,90 d.

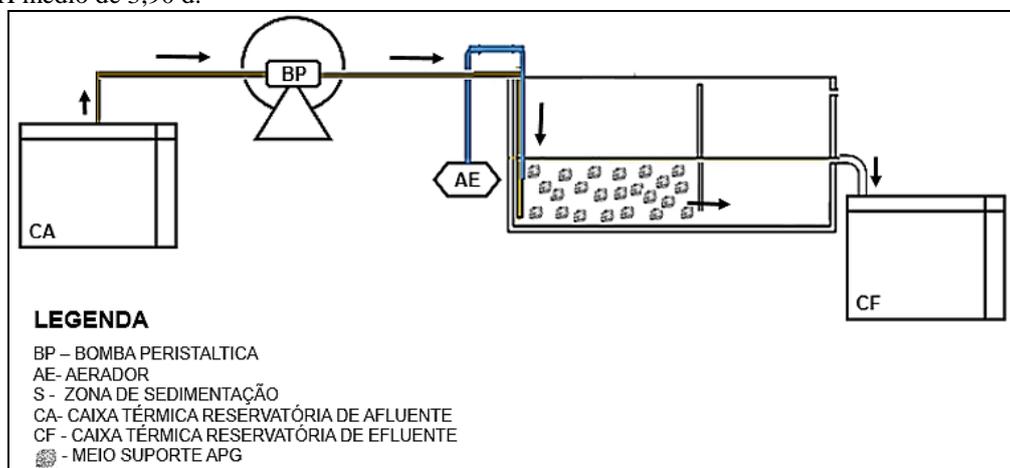


Figura 1. Esquema da Lagoa de bancada

A espécie bacteriana utilizada neste estudo foi isolada de um sistema MBBR em escala de bancada modificado com meio suporte esponjoso APG, durante a pesquisa desenvolvida no laboratório de tratamento de águas residuárias (LATAR-UTFPR) pelos autores Silva et al. (2020). Portanto, foi necessário proceder o repique e plaqueamento da bactéria utilizada neste estudo, conforme proposto por Sanders et al. (2012).

O ensaio de crescimento de biofilme de *A. kashmirensis* ao APG foi monitorado partir da pesagem da biomassa aderida a cada 3 dias, durante 21 dias, conforme metodologia propostas por Gandhi; Udayasoorian; Meda (2010) e Scherer et al. (2022) alterações.

A eficiência dos tratamentos foi verificada por monitoramento diário da vazão e pH e determinação 2 vezes por semana da DQO e DBO₅ conforme a metodologia Standard Methods (APHA, 2017) e Cor conforme descrito por Chamorro et al. (2009). Os parâmetros foram medidos no afluente e efluente da lagoa, sendo as análises feitas em triplicata. As análises por microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram realizadas no Centro de Caracterização de Materiais Multiusuário da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – CMCM UTFPR para acompanhar a adesão do biofilme na superfície do meio suporte esponjoso.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização das amostras da indústria, as quais foram utilizadas como afluente nesse trabalho é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Características das amostras da indústria

Parâmetro	Afluente da fase I	Afluente da fase II
DBO ₅ (mg.L ⁻¹)	125,28 (21,09)	148,27 (18,08)
DQO (mg.L ⁻¹)	515,68 (18,20)	952,11 (10,14)
Cor (Vis440 nm)	0,92 (0,09)	0,68 (0,03)

Nota: DQO – Demanda Química de Oxigênio. DBO₅ – Demanda Bioquímica de Oxigênio. Os valores entre parêntesis representam o desvio padrão de três amostras industriais, cada uma destas analisadas em triplicata.

Na Figura 2 são apresentados os resultados para remoção da matéria orgânica global de DQO e DBO₅, na fase I e fase II respectivamente. As letras associadas a eficiência de remoção representam diferença significativa $p < 0,05$ quando houver.

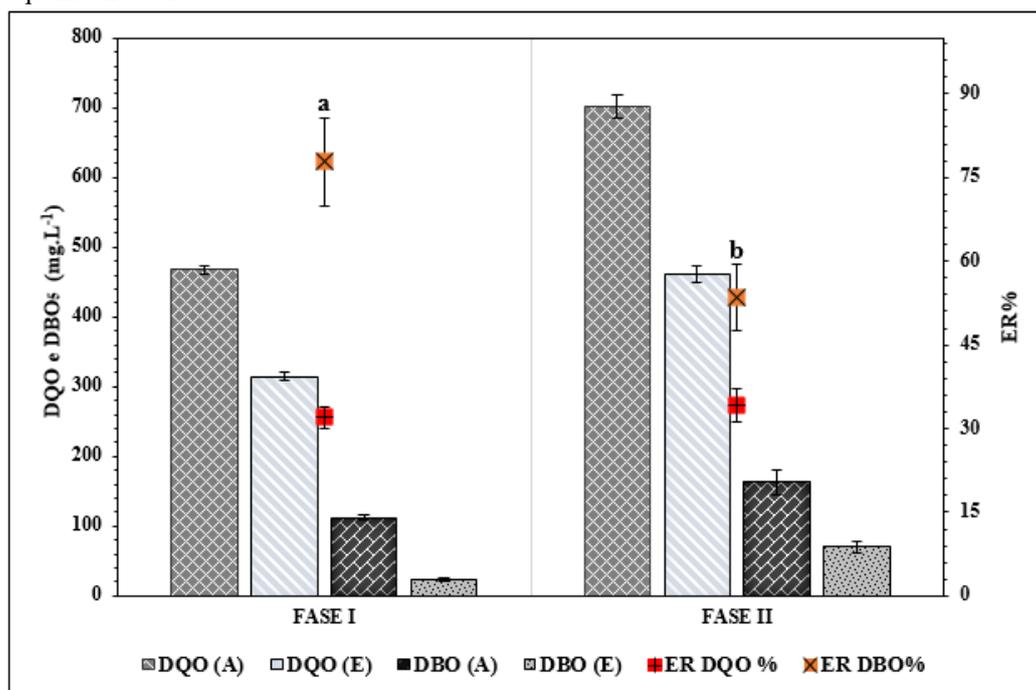


Figura 2. Desempenho do tratamento na remoção de DQO e DBO₅ nas fases I e II. Médias de cada parâmetro em relação a fase I e fase II seguidas de distintas letras em minúsculo diferem estatisticamente ao nível de 5%.

Os valores de eficiências de remoção para a DQO e DBO₅ respectivamente encontradas na fase I foram de 32% e 78%. Para a fase II, foi obtida uma ER de 34% para DQO e de 53% de DBO₅, valor que diferiu que diferiu estatisticamente a um nível de confiança de 95% da fase I.

Peitz (2019), tratando efluente kraft em lagoa aerada facultativa com COV de 0,2 kgDQO.m⁻³.d⁻¹ com meio suporte APG associado à biomassa, observou ER de 50% de DQO e 75% de DBO₅ após 60d de tratamento.

Na figura 3 são apresentadas a porcentagem de remoção de cor do efluente. As letras associadas a eficiência de remoção representam diferença significativa p<0,05 quando houver.

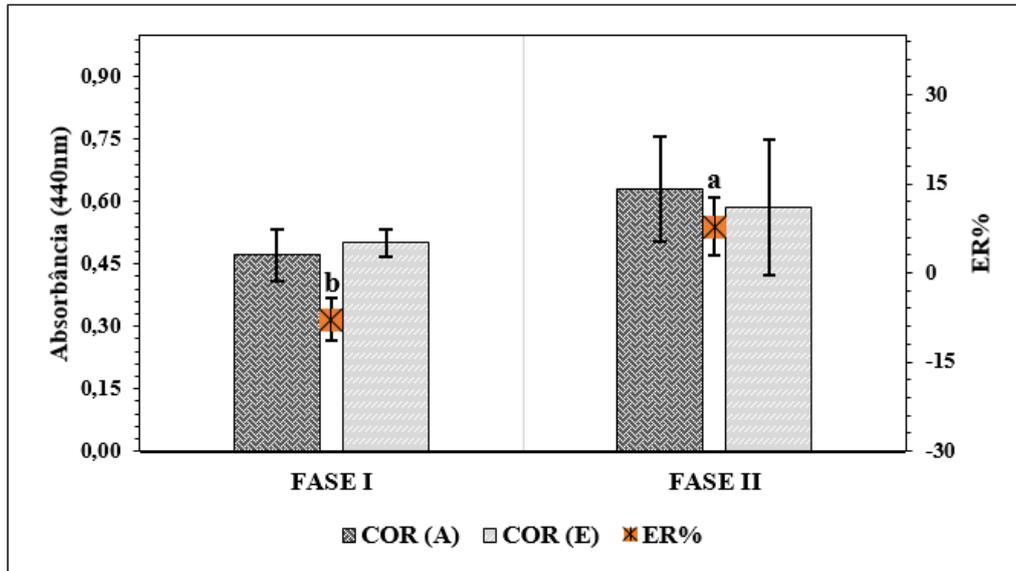


Figura 3. Níveis de remoção de Cor. Médias de remoção de cor em relação a fase I e fase II seguidas de distintas letras em minúsculo diferem estatisticamente ao nível de 5%.

Para a fase I houve incremento de 8% da cor, para a fase II a remoção foi de 8%, sendo diferente estatisticamente da fase I (p<0,05). Peitz (2019), tratando efluente kraft em lagoa aerada facultativa com APG, observou incremento de 38% de cor. Segundo a pesquisadora, os níveis de incremento de cor potencialmente estão relacionados aeração do sistema, enquanto o interior do meio suporte existe menor difusão do OD e a presença de ambientes anóxicos. O fato de ter havido remoção da fase II pode indicar que apesar da tendência do meio interno do APG menos aerado, houve eficiência de remoção deste composto, o que pode estar associadas ao potencial da bactéria *A. kashmirensis* para o tratamento deste parâmetro.

Na figura 4 são apresentadas as micrografias do meio suporte esponjoso APG, a fim de verificar a adesão microbiana em sua estrutura interna.

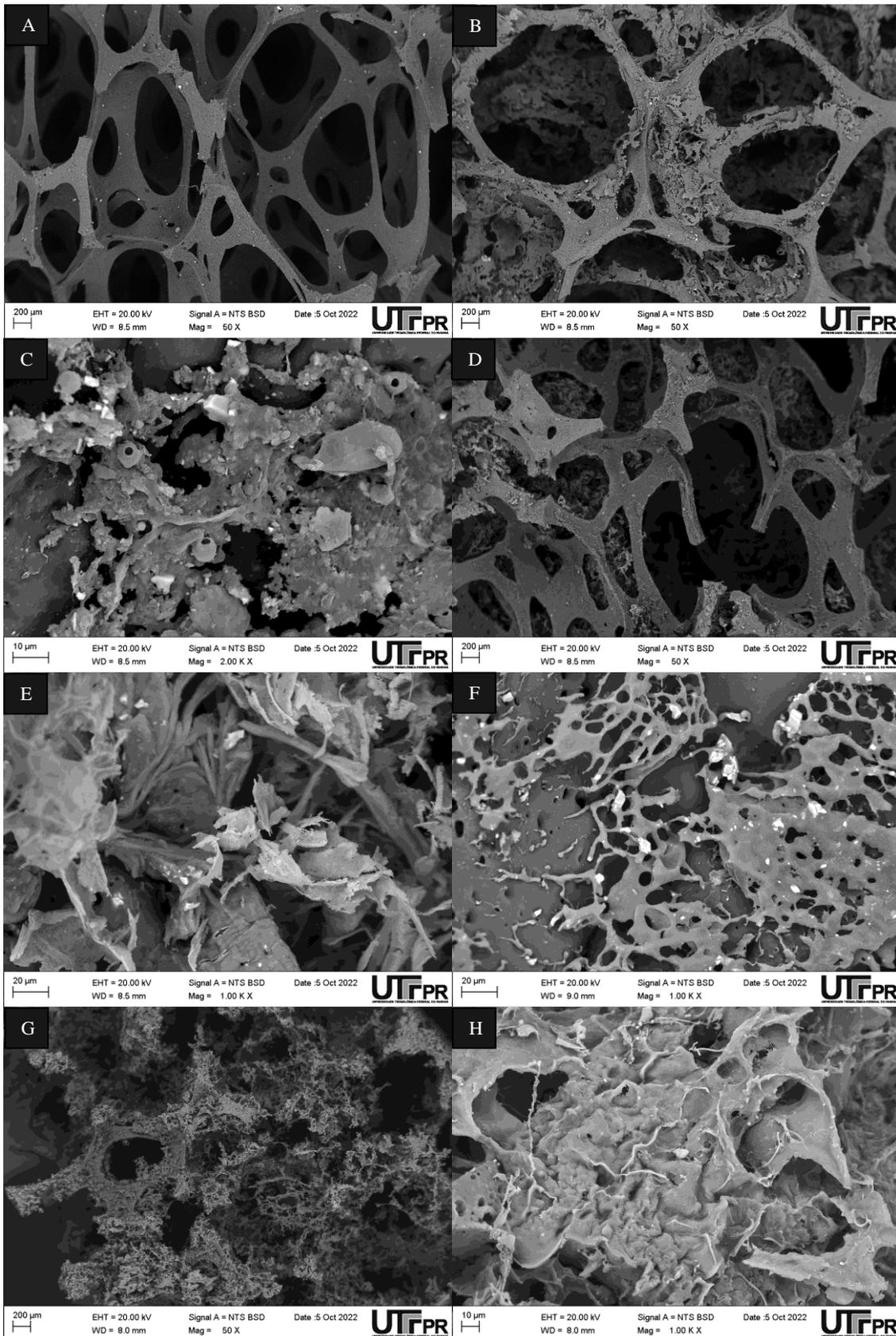


Figura 4. Imagens de microscopia eletrônica de varredura do meio de suporte APG

Na figura 4A se observa a estrutura interna do APG antes do utilização na lagoa aerada (aumento de 50x); onde existem vários poros internos, que são potenciais superfícies de adesão para o crescimento de microrganismos em biofilme.

Na figura 4B é apresentado o APG após 46d de operação da lagoa da fase I é possível verificar que a biomassa não cobriu totalmente os poros internos do APG (aumento de 50X). Na figura 4C são encontrados no APG da fase I componentes que se assemelham a conídeos (aumento 2000X), estrutura reprodutiva especializada observadas em fungos filamentosos, que por adesão a um substrato são germinadas originando hifas (AOR et al., 2018).

Nas figuras 4D, 4E e 4F, pode-se verificar a estrutura do biofilme de *A. kashmirensis* aderida ao APG após 21 dias do ensaio de imobilização. Na figura 4D se verifica a adesão a um aumento de 50X. Na figura 4E se verificam projeções da matriz do biofilme (aumento 1000X), há uma relação benéfica em estruturas de biofilme menos espessos e projetados, em que devido as maiores interfaces líquido-biofilme a adsorção de moléculas e difusão de nutrientes no seu interior é facilitada (CHAVES, 2004). Enquanto que na figura 4F se constata uma constituição mais espessa do biofilme (aumento 1000X), possivelmente advindas da adesão na parte externa do APG. Segundo Chaves (2004), a turbulência e forças de tensão no meio aquoso podem afetar a estrutura física dos biofilmes, que tendem a tornar-se mais densos e coesos para evitar o desprendimento do meio suporte.

Na figura 4G se observa a estrutura do APG após operação da lagoa aerada da fase II (aumento 50X), ocorrendo maior adesão de biofilmes nos espaços dos poros. Se ressalta que o APG desta etapa inicialmente passou por imobilização da bactéria *A. kashmirensis*, sendo posteriormente adicionada a lagoa, desta forma, a biomassa do lodo da lagoa também cresceu no meio suporte, como observado também na figura 4H em que se verifica em comparação as MEVs da fase I uma maior adesão de biofilmes aos poros internos do suporte APG (aumento de 1000X).

De forma geral, é possível observar que durante as operações das lagoas da fase I e fase II, o APG proporcionou área de adesão para formação de uma matriz de biofilme bastante diversa, constituída de bactérias e fungos. Como também correspondeu a suporte capaz de imobilizar a espécie bacteriana autóctone *A. kashmirensis*, utilizada nesta pesquisa no processo de bioaugmentação de efluente de celulose kraft, onde o principal diferencial observado foi a remoção de cor, mesmo em condições adversas.

CONCLUSÕES

Neste estudo foi avaliado a tratabilidade do efluente kraft pela adição de meio suporte APG; e adição de *A. kashmirensis* como biofilme aderido.

A remoção de DQO não diferiu estatisticamente pela bioaugmentação com a bactéria imobilizada, cujo sistema reduziu a DQO em 34% e a DBO₅ em 53%. Na presença da bactéria aderida ao meio suporte como biofilme, configurando um processo de bioaugmentação para tratamento do efluente kraft, se obteve maior relevância para remoção de Cor, que apesar de ter sido baixa, menor 10%, é promissora visto que consiste em um parâmetro recalcitrante, sendo uma alternativa viável que precisa ser mais estudada.

REFERENCIAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION in Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23. ed. Washington: American Public Health Association, 2017.
2. AOR, A. C.; MELLO, T. P.; SANGENITO, L. S.; FONSECA, B. B.; ROZENTAL, S.; LIONE, V. F.; VEIGA, V. F.; BRANQUINHA, M. H.; SANTOS, A. L. S. Ultrastructural viewpoints on the interaction events of *Scedosporium apiospermum* conidia with lung and macrophage cells. *Memórias Instituto Oswaldo Cruz*, v. 113, 2018.
3. CHAVES, L. C. D. Estudo da cinética de formação de biofilmes em superfícies em contacto com água potável. Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho, Portugal, 2004.

4. DINAMARCA, M. A.; IBACACHE-QUIROGA, C.; BAEZA, P.; GALVEZ, S.; VILLARROEL, M.; OLIVERO, P.; OJEDA, J. Biotransformation of gas oil using inorganic supports biomodified with metabolically active cells immobilized by adsorption. *Bioresource Technology*. v. 101, p. 2375–2378, 2010.
5. DUAN, J.; LIANG, J.; WANG, Y.; DU, W.; WANG, D. Kraft lignin biodegradation by *Dysgonomonas* sp. WJDL-Y1, a new anaerobic bacterial strain isolated from sludge of a pulp and paper mill. *Journal of Microbiology and Biotechnology*. v. 26, p. 1765–1773, 2016.
6. GANDHI, M. S.; UDAYASOORIAN, C.; MEDA, V. Biological treatment of pulp and paper mill effluent using immobilized *Bacillus subtilis*. *International Journal of Biological Sciences*, v. p. 1, 131-140, 2010.
7. LEWIS, R.; COHEN, J.; AWAD, J.; BURGER, H.; MARZOUK, J.; BURCH, G.; LEWIS, D. M.; VAN LEEUWEN, J. A. Study of the impacts of process changes of a pulp and paper mill on aerated stabilization basin (ASB) performance. *Chemosphere*, v. 211, p. 767-774, 2018.
8. PEITZ, C.; XAVIER, C. R. Evaluation of aerated lagoon modified with spongy support medium treating Kraft pulp mill effluent. *Revista Facultad de Ingeniería*, v. 92, p. 70-79, 2019.
9. SANDERS, E. R. Aseptic Laboratory Techniques: Plating Methods. *Journal of Visualized Experiments*. v. 63, p. 1-18, 2012.
10. SCHERER, K.; SOERJAWINATA, W.; SCHAEFER, S.; KOCKLER, I.; ULBER, R.; LAKATOS, M.; BRÖCKEL, U.; KAMPEIS, P.; WAHL, M. Influence of wettability and surface design on the adhesion of terrestrial cyanobacteria to additive manufactured biocarriers. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, v. 45, p. 931–941, 2022.
11. 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. XXV Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica – UTFPR. Toledo, 2020. Disponível em: <<https://eventos.utfpr.edu.br/sicite/sicite2020/paper/view/6577>>.
12. SONKAR, M.; KUMAR, V.; KUMAR, P.; SHAH, M.P.; MAJUMDAR, C. B.; BISWAS, J. K.; DUTT, D.; MISHRA, P. K. Bioaugmentation with existing potent microorganisms to accelerate the treatment efficacy of paper industry wastewater pollutants. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 9, Issue 5, p. 2-10, 2021.