



II – 53 - PRODUÇÃO DE CELULASE A PARTIR DO TRATAMENTO BIOLÓGICO DE EFLUENTE DE INDÚSTRIA DE PAPEL

Joice Maciel dos Santos ⁽¹⁾

Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) *campus* Limoeiro do Norte. Mestranda em Tecnologia e Gestão Ambiental pelo IFCE *campus* Fortaleza.

Lidiani Rodrigues Ribeiro ⁽²⁾

Graduanda no curso de Tecnologia em Gestão Ambiental Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) *campus* Fortaleza.

Sara Maria Paula da Rocha Rodrigues ⁽³⁾

Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) *campus* Sobral. Mestranda em Tecnologia e Gestão Ambiental pelo IFCE *campus* Fortaleza.

Antônio Marcelo Magalhães Gomes ⁽⁴⁾

Tecnólogo em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) *campus* Sobral. Mestrando em Tecnologia e Gestão Ambiental pelo IFCE *campus* Fortaleza.

Gloria Maria Marinho Silva ⁽⁵⁾

Farmacêutica-bioquímica pela Universidade Federal do Ceará - UFC. Mestre em Engenharia Civil (Saneamento Ambiental) pela Universidade Federal do Ceará. Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos/USP.

Endereço ⁽¹⁾: Avenida 13 de Maio, 2180 - Benfica - Fortaleza - CE - CEP: 60040-531 - Brasil - Tel: (88) 996735544 - e-mail: joice.maciел.santos60@aluno.ifce.edu.br.

RESUMO

O estudo aborda a problemática dos efluentes industriais gerados pelas indústrias de papel e celulose, destacando a preocupação com a disposição adequada desses resíduos devido ao seu potencial impacto ambiental. A pesquisa investiga a utilização de microrganismos e processos biológicos inovadores, focando no fungo *Aspergillus niger* AN400, como uma alternativa para o tratamento eficiente desses efluentes. A metodologia incluiu a preparação do efluente sintético, testes de toxicidade e reações em bateladas agitadas com biomassa dispersa. Os parâmetros monitorados incluíram pH, DQO, SSV e produção de celulase. Os resultados indicaram uma notável capacidade do fungo em degradar o efluente, além de uma significativa remoção de DQO. A análise dos resultados sugere que o método pode ser uma alternativa promissora, tanto em termos ambientais quanto econômicos, para o tratamento de efluentes industriais complexos, mas ressalta a necessidade de estudos adicionais para validar sua viabilidade em larga escala.

PALAVRAS-CHAVE: Efluente Industrial, *Aspergillus Niger*, Biorremediação, Celulase.

INTRODUÇÃO

Apesar do avanço tecnológico, as indústrias de papel e celulose continuam a caracterizar-se pelo consumo significativo de recursos naturais e diversos produtos químicos ao longo de suas operações. Além das elevadas quantidades de recursos empregados, a geração substancial de efluente nessas indústrias é uma preocupação destacada (THOMPSON et al., 2001), exigindo maior atenção quanto à sua disposição.

Diante da expressiva produção de efluente, as preocupações frequentes concentram-se nas altas concentrações de DQO, cor e toxicidade presentes nesses resíduos (LAKHMIDEVI e MUTHUKUMAR, 2010). Em virtude das características ambientalmente prejudiciais do efluente, estudos constantes visam desenvolver tecnologias para seu tratamento, buscando mitigar os impactos ambientais associados. Nesse contexto, a pesquisa destaca-se ao explorar a utilização de microrganismos e processos biológicos inovadores como alternativas promissoras para o tratamento eficiente do efluente industrial.

Microrganismos, encontrados em diversos ambientes com estruturas altamente organizadas, demonstram notável capacidade de adaptação, crescimento populacional veloz e resistência a várias condições ambientais,



desde as mais simples até as mais extremas (VERMELHO et al., 2006). Este estudo, ao abordar a aplicação de tecnologias biológicas inovadoras, contribui não apenas para a eficácia no tratamento de efluentes, mas também para a promoção de práticas sustentáveis na indústria de papel e celulose.

Na presente pesquisa, empregou-se a técnica de biorremediação, centrada no uso do fungo pertencente ao gênero *Aspergillus*, notadamente o *Aspergillus niger* AN400. O principal objetivo consistiu na degradação do efluente proveniente da indústria de papel, explorando, simultaneamente, o potencial desse microrganismo para a produção de celulase.

MATERIAIS E MÉTODOS

O delineamento metodológico desta pesquisa foi elaborado em diferentes procedimentos.

PREPARAÇÃO DO EFLUENTE SINTÉTICO

O efluente utilizado nesta pesquisa foi cuidadosamente formulado em ambiente laboratorial, empregando fragmentos de papel provenientes de revistas, jornais e cadernos. Esses materiais foram meticulosamente misturados com água da torneira e submetidos a um período de repouso de 48 horas. Posteriormente, o composto foi triturado, resultando em diferentes concentrações do efluente: 5%, 10%, 25%, 50%, 75%, e 100%.

TESTE DE TOXICIDADE

O teste de toxicidade foi conduzido em placas de Petri, onde cada concentração do efluente foi combinada com o meio de cultivo Portanto Dextrose Ágar (PDA) e a espécie fúngica *Aspergillus niger* AN400. O objetivo principal consistiu em avaliar o comportamento do fungo em cada concentração e sua capacidade de degradação ao longo de intervalos de tempo distintos: 0h, 24h, 48h, 72h, 96h e 168h.

BATELADAS AGITADAS COM BIOMASSA DISPERSA

Para as bateladas agitadas com biomassa dispersa, reatores foram montados utilizando Erlenmeyer de 250ml, contendo 150ml do efluente, 0,5g de glicose e 2×10^6 da solução de esporos de *Aspergillus niger* AN400. A agitação foi mantida a 150 rpm, com temperatura constante de 30°C. A concentração utilizada foi de 100%, e os tempos de reação avaliados foram: 0h, 24h, 48h, 72h, 96h, 120h, 144h, 168h, 192h, 216h e 240h. Todos os reatores foram preparados em duplicatas.

PARÂMETROS DE MONITORAMENTO

Conforme o método analítico do "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (APHA, 2012), realizaram-se análises do Potencial Hidrogeniônico (pH), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Suspensos Voláteis (SSV) e produção da enzima celulase. Estes parâmetros foram monitorados e registrados, fornecendo uma análise abrangente das transformações ocorridas ao longo do experimento, garantindo uma avaliação criteriosa dos resultados obtidos.

RESULTADOS

Na exposição do *Aspergillus niger* AN400 ao efluente de papel, notou-se um crescimento vigoroso do fungo entre as 48h e 72h, independentemente das concentrações. O desempenho mais proeminente ocorreu nas concentrações de 75% e 100%, onde o fungo praticamente colonizou toda a placa no período de 96h. O gênero *Aspergillus* é objeto de extensas investigações devido à sua presença global, podendo ser encontrado em organismos vegetais e animais, bem como no ar e na água (ALVES, 2012). Essa ampla distribuição pode explicar a eficácia do fungo em proliferar em todas as concentrações testadas.

O efluente, em suas características originais, exibe elevadas concentrações de Demanda Química de Oxigênio (DQO). Mesmo após o tratamento, essa característica persiste, destacando a necessidade imperativa de buscar alternativas para o tratamento eficiente desse efluente industrial (BENDER et al., 2019). Observou-se uma notável remoção de DQO ao longo de todos os tempos reacionais, alcançando uma remoção de 87,73% no último período avaliado (Figura 1).

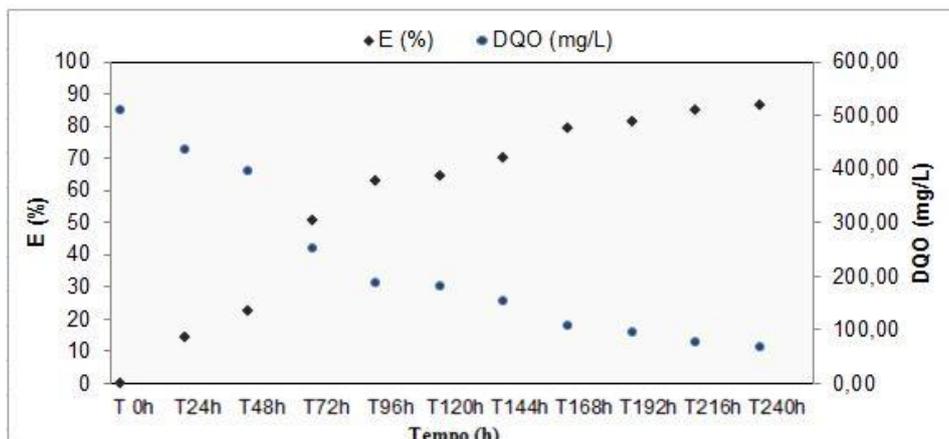


Figura 1: Desempenho na remoção de DQO

Em contrapartida à DQO, os Sólidos Suspensos Voláteis (SSV) apresentaram um aumento considerável, partindo de 74 mg/L e atingindo 268 mg/L no final do tempo reacional de 240h, o que reflete ao crescimento da biomassa, conforme evidenciado na Figura 2. A disponibilidade de matéria orgânica e nutrientes no efluente de papel, combinada com a presença de glicose, justifica o aumento na concentração de SSV, uma vez que esses componentes são essenciais para o desenvolvimento dos fungos (KYRIACOU et al., 2005).

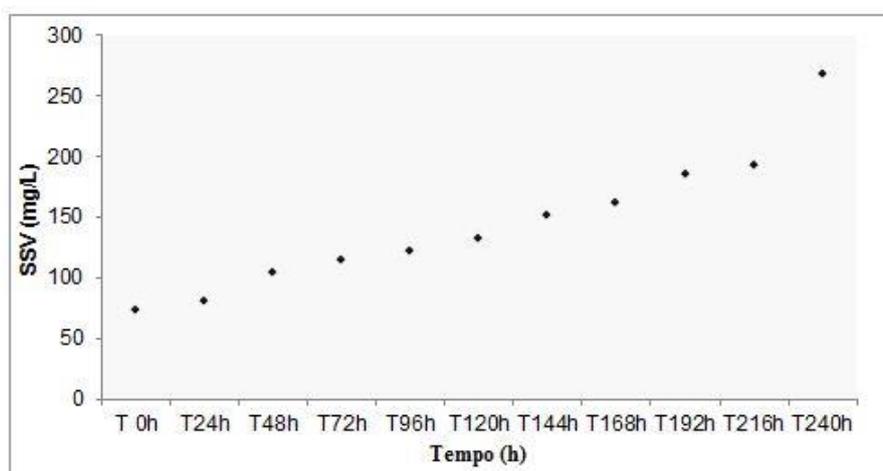


Figura 2: Sólidos Suspensos Voláteis (SSV) nos diferentes tempos reacionais

O pH do sistema permaneceu próximo à faixa de neutralidade, com variações sutis em direção a valores mais ácidos ou básicos. Este parâmetro, que pode variar de 4 a 9 (ZWAIN et al., 2013), foi monitorado como parte integrante das análises, contribuindo para a compreensão do comportamento do sistema ao longo do experimento.

O pico da atividade enzimática ocorreu entre os tempos reacionais de 96h e 120h, atingindo aproximadamente 0,42 e 0,43 FPU/mL, respectivamente, seguido por uma redução até o último tempo reacional, conforme demonstrado na Figura 3.

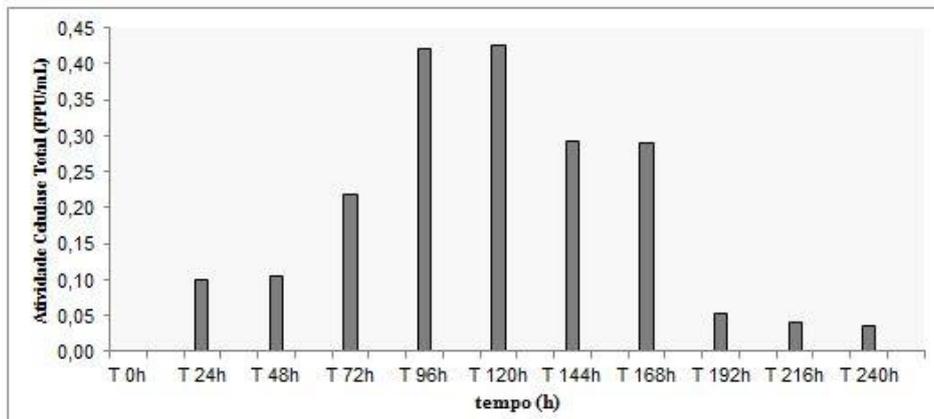


Figura 3: Atividade enzimática em termos de celulase total

Acharya e Modi (2008), ao empregar o fungo AN400 para a produção de celulase utilizando serragem de madeira como substrato, também observaram o ápice da atividade enzimática após 96h, obtendo resultados em torno de 0,0925 FPU/mL sob agitação.

A atividade enzimática do fungo *Aspergillus niger* foi estudada por Boggione et al. (2016) ao degradar substratos lignocelulósicos. Nesse estudo, os pesquisadores também observaram uma produção máxima de atividade enzimática de celulase (endoglucanase, exoglucanase e β -glucosidase) com 96 horas de fermentação em cascas de soja como suporte.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

É relevante considerar a perspectiva econômica e ambiental associada ao tratamento do efluente de papel utilizando o *Aspergillus niger* AN400. A eficácia demonstrada na remoção significativa de DQO sugere que esse processo biológico pode ser uma alternativa promissora para a redução do impacto ambiental das indústrias de papel e celulose.

A utilização do *Aspergillus niger* AN400 para a produção de celulase apresenta potenciais implicações econômicas positivas. A celulase é uma enzima crucial na indústria de papel e celulose, sendo empregada no processo de pré-tratamento de celulose para a produção de papel. A eficiência do *Aspergillus niger* AN400 na produção dessa enzima, conforme evidenciado pelo pico de atividade enzimática em 120h, sugere a possibilidade de otimização desse processo para uma produção mais eficaz e sustentável.

Entretanto, é fundamental conduzir estudos mais aprofundados, incluindo análises de viabilidade econômica e avaliações do ciclo de vida, para determinar a aplicabilidade comercial e o impacto ambiental real desse método em escala industrial. Além disso, é necessário considerar a variabilidade das características do efluente original, conforme mencionado anteriormente, ao estender essas conclusões para situações práticas.

Em suma, a análise destes resultados não apenas destaca a capacidade do *Aspergillus niger* AN400 no tratamento do efluente de papel, mas também sinaliza para a necessidade de uma abordagem holística que incorpore considerações econômicas e ambientais para uma implementação bem-sucedida em larga escala. Essa análise mais ampla pode orientar futuras pesquisas e práticas industriais, promovendo abordagens sustentáveis para o tratamento de efluentes industriais complexos.

CONCLUSÕES

A pesquisa delineou um processo promissor para a produção de enzimas por meio do biotratamento do efluente da indústria de papel utilizando o fungo *Aspergillus niger* AN400 em reatores de bateladas. Os resultados das análises realizadas demonstram a viabilidade e eficácia do método, destacando, em particular, a atividade expressiva da celulase.



Os resultados obtidos fortalecem a perspectiva de continuar o desenvolvimento desse processo, sugerindo que o efluente das indústrias de papel e celulose pode ser considerado um insumo valioso e um elemento de valor agregado nesse tipo de tratamento. A produção de celulase, uma enzima fundamental na indústria de papel, destaca o potencial econômico e sustentável desse método, proporcionando uma alternativa eficiente para o tratamento de efluentes complexos.

Dessa forma, os resultados encorajadores indicam que o processo de biotratamento com *Aspergillus niger* AN400 pode não apenas atender às demandas ambientais e regulatórias, mas também oferecer benefícios econômicos significativos. A continuidade da pesquisa e o refinamento do processo podem levar a avanços notáveis na produção de enzimas a partir de efluentes industriais, contribuindo para práticas mais sustentáveis e inovadoras na indústria de papel e celulose.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, Standard Methods for the examination of Water and Wastewater – SMEWW. American Public Health Association – APHA, 22th ed., Washington – USA, 2012.
2. Boggione, M. J.; Belén, A. M.; Georgina, B.; Farruggia, B. Potential use of soybean hulls and waste paper as supports in SSF for cellulase production by *Aspergillus niger*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. V. 7, p. 1 – 8, 2016.
3. ACHARYA, P. B.; MODI, H. A. Optimization for cellulase production by *Aspergillus niger* using saw dust as substrate. *African Journal of Biotechnology*. v. 7, p. 5 - 6, 2008.
4. ALVES, G. F. Solubilização do fosfato de rocha por *Aspergillus niger*. 2012. 146 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.
5. BENDER, A. F.; SOUZA, J. B.; VIDAL, C. M. S. Advanced treatment technologies for the removal of color and phenol from the effluent of paper industry wastewater. *Ciência Florestal*. v. 29, p. 6 - 12, 2019.
6. KYRIACOU, A.; LASARIDI, K. E.; KOTSOU, M., BALIS, C.; PILIDIS, G. Combined bioremediation and advanced oxidation of green table olive processing wastewater. *Process Biochemistry*, v. 40, n. 3, p. 1401-1408, 2005.
7. LAKSHMIDEVI, R.; MUTHUKUMAR, K. Enzymatic saccharification and fermentation of paper and pulp industry effluent for biohydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*. v. 35, p. 3389 – 3400, 2010.
8. THOMPSON, G. et al The treatment of pulp and paper mill effluent: a review. *Bioresource Tecnology*, [s. l], v. 77, p. 275-286, 2001.
9. VERMELHO, A. B., et al. *Práticas de microbiologia*. 1 ed. 2006. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.
10. ZWAIN, H. M.; HASSAN, S. R.; ZAMAN, N. Q.; AZIZ, H. A.; DAHLAN, I. The start-up performance of modified anaerobic baffled reactor (MABR) for the treatment of recycled paper mill wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. v.1, p. 61-64, 2013.