Reator de leito empacotado com recirculação para remoção de DQO e NT de efluente de microcervejaria

Artículo largo

Jéssica Cristine Teles*; Giovana Maior Corrêa da Silva; Ana Claudia Barana

Universidade Estadual de Ponta Grossa

*teles_jessica@hotmail.com

Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar um reator biológico de leito empacotado com aeração intermitente na remoção de DQO (demanda química de oxigênio) e NT (nitrogênio total) de efluente de microcervejaria. O reator foi operado com recirculação, em batelada alimentada e com meio suporte de miniBioBobs® para fixação das bactérias, o que permitiu a formação de zonas aeróbias e anóxicas em seu interior. O reator foi mantido a 30 °C, TDH (tempo de detenção hidráulica) de 16 h, tempo de aeração total de 4, 8 e 12 h por batelada e relação DQO/NTK de 40 e 100. Foi possível obter remoção de DQO de 86 % a 98 % e de NT de 76 % a 95 %. Os resultados demonstraram que o reator foi eficiente na remoção conjunta de DQO e NT, sendo uma alternativa compacta para o tratamento secundário e terciário de efluente de microcervejarias.

Palavras-chave:

Aeração intermitente; Cerveja; Nitrificação e desnitrificação simultânea; Tratamento biológico.

Recirculated Packed-bed reactor for COD and TN removal from microbrewery effluent

Abstract

The objective of this work was to evaluate a fixed-bed biological reactor with intermittent aeration in the removal of COD (chemical demand of oxygen) and TN (total nitrogen) from microbrewery effluent. The reactor was operated with recirculation and fed batch. MiniBioBobs® were used as a support medium for fixing the bacteria. The reactor was maintained at 30 °C, HRT (hydraulic retention time) of 16 h, total aeration time of 4, 8 and 12 h and COD/TKN ratio of 40 and 100. It was possible to obtain COD efficiency removal from 86 % to 98 % and TN removal from 76 % to 95 %. The results showed that the reactor was efficient in the removal of COD and TN, being a compact alternative for secondary and tertiary treatment for microbreweries effluent.

Keywords:

Beer; Biological treatment; Intermittent aeration; Simultaneous nitrification and denitrification.

Forma de citar: Teles, J. C., Corrêa da Silva, G. M., & Barana, A. C. (2022). Reator de leito empacotado com recirculação para remoção de DQO e NT de efluente de microcervejaria. RedBioLAC, 6(1), 46-50.

Introdução

A fabricação da cerveja gera cerca de 3 a 10 litros de efluente para cada litro de bebida produzida, o qual é caracterizado por conter elevada concentração de matéria orgânica expressa em DQO, de 2000 a 6000 mgL^{-1}, e de NTK, entre 25 e 80 mgL^{-1}, necessitando de tratamento para serem dispostos no meio ambiente (Gunes *et al*., 2019; Santos *et al*., 2019).

Nos últimos anos pesquisadores têm relatado ser possível a remoção conjunta de NT e DQO de efluentes em um único compartimento (Jenzura *et al*., 2018; Moura *et al*., 2012; Wosiack *et al*., 2015). Os reatores utilizados por estes pesquisadores têm em comum a biomassa imobilizada em um suporte que permite a ocorrência de nitrificação e desnitrificação simultâneas (NDS) e conferindo maior resistência a choques de carga (Moura *et al*., 2012; Wosiack *et al*., 2015). Além disso, eles apresentam recirculação interna e aeração intermitente, configuração que proporciona economia de espaço e energia, pois em um mesmo reator é possível acontecer as etapas de nitrificação e desnitrificação junto com a remoção da DQO (Chang *et al*., 2019).

A utilização de um reator único e compacto que possibilita remover DQO e NT de efluentes ainda é novidade no setor microcervejeiro. É importante destacar que pequenas cervejarias, muitas vezes, produzem a cerveja em regime de batelada. Por isso, o uso de um sistema de tratamento de efluentes também em batelada, possibilita a adaptação do processo de tratamento de efluente ao processo de produção da cerveja. Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho de um reator de leito empacotado operado em batelada alimentada, aeração intermitente e TDH de 16 h, variando os parâmetros de tempo de aeração total e relação DQO/NTK, na remoção de DQO e NT do efluente gerado por uma microcervejaria.

Metodologia

O substrato utilizado foi o efluente gerado por uma microcervejaria localizada no Paraná (Brasil), o qual foi coletado após a etapa de fervura da produção da cerveja tipo APA (American Pale Ale) e antes de se juntar às águas de limpeza e sanitização da linha de produção. O efluente foi transportado em galões de polipropileno de 5 L e armazenados a -18 °C. Para de ser utilizado no experimento este efluente foi diluído com água para ter valores de DQO similares aos obtidos na microcervejaria ao final do processo.

O reator foi construído em acrílico com volume total de 10 L e útil de 6 L, altura de 60 cm e diâmetro interno de 14,5 cm (Figura 1). No interior do reator foram inseridas 947 unidades de miniBiobobs®, fornecidos pela empresa Bioproj Tecnologia Ambiental - Brasil. Os miniBioBobs® são compostos por uma estrutura externa de Polietileno de Alta Densidade (PEAD), diâmetro de 1,5 cm e comprimento de 2,0 cm, e a sua parte interna é constituída por espuma de poliuretano (PU) com densidade de 28 $kg.m^{-3}$. A aeração do reator foi realizada com três aeradores de aquário instalados no fundo do mesmo, marca Minjiang, modelo NS 350, providos de pedra porosa, que estavam conectados a um temporizador para promover aeração intermitente. A recirculação do efluente foi feita com uma bomba da marca Prominent Dosier Technik, modelo GmbH, de vazão de 3 $mL.s^{-1}$, com entrada localizada no fundo e saída no topo do reator. A temperatura interna foi mantida a 30 ºC com o auxílio de aquecedor ligado a um termostato (marca Atman AT-35w). O reator era alimentado em batelada pela parte superior do mesmo e esvaziado pelo fundo (Figura 1).

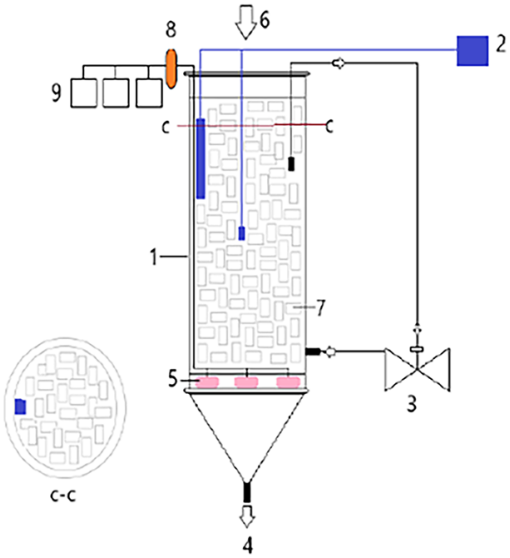

Figura 1 | Representação esquemática do reator de leito empacotado: (1) Reator, (2) Termostato com termômetro, (3) Bomba de recirculação, (4) Saída do efluente tratado, (5) Difusores de ar, (6) Entrada do afluente, (7) MiniBiobob®, (8) Temporizador, (9) Bombas de aeração.

O material suporte foi inoculado com lodo proveniente de um reator de lodos ativados de uma Cervejaria Heineken. O lodo foi imobilizado nos miniBiobobs® segundo metodologia descrita por Zaiat *et al*. (1994).

As condições operacionais foram definidas com base nos trabalhos realizados por Jenzura *et al*., 2018, Moura *et al*. (2012) e Wosiack *et al*. (2015), que também trabalharam com NDS, mas com diferentes efluentes. Para avaliar as melhores condições experimentais para remoção de DQO e NT foram realizados 7 ensaios (Tabela 1). As diferentes relações de DQO/NTK foram obtidas a partir da adição do resíduo de levedura coletado no tanque de fermentação, que tem elevado teor de NTK. Cada ensaio foi realizado em triplicata, totalizando 21 bateladas para coleta de amostras. Para se avaliar a correlação entre as variáveis, foi aplicada a Correlação de Pearson (Granato, Calado & Jarvis, 2014).

Tabela 1 | Estratégia Operacional.

Ensaios	1	2	3	4	5	6	7
Aeração Total (h)	4	12	4	12	8	8	8
Número de ciclos (ciclo de 4 h)	1	3	1	3	2	2	2
Relação DQO/NTK	100	100	40	40	40	40	40

Para estudo da estabilidade e eficiência do reator na remoção de DQO e NT foram feitas análises de pH, demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio total kjeldahl (NTK), nitrogênio amoniacal (N-NH_4), nitrito (N-NO_2) e nitrato (N-NO_3), segundo metodologia descrita em APHA (2005). A determinação da alcalinidade total foi feita segundo metodologia proposta por DiLallo e Albertson (1961) e a alcalinidade do afluente foi corrigida com bicarbonato de sódio ($NaHCO_3$) de acordo com Roveroto *et al*. (2021).

Resultados e Discussão

A eficiência de remoção de DQO foi elevada durante todo o experimento, com taxas que variaram entre 86 e 98 % (Tabela 2). As maiores taxas de eficiência de remoção de DQO, de 98 %, foram obtidas nos ensaios 5, 6 e 7. Nessas condições, a DQO efluente foi em média de 58 mgL^{-1}, abaixo de 200 mgL^{-1}, valor máximo de DQO permitida pela legislação local para lançamento de efluentes de indústrias de bebidas. A eficiência de remoção de DQO obtida neste trabalho, maior que 86 %, foi maior que a obtida em outros experimentos realizados com o objetivo em comum de tratar o efluente da produção de cerveja (Enitan *et al*., 2018; Papadopoulos *et al*., 2020; Santos *et al*., 2019).

Pela correlação de Pearson, o tempo de aeração total apresentou uma baixa correlação com a eficiência de remoção de DQO, com r = 0,27, ou seja, não se pode afirmar que esta variável interferiu significativamente na remoção da DQO. A DQO foi removida ao longo de toda a batelada, tanto em períodos com aeração, pelos microrganismos heterotróficos aeróbios, quanto nos períodos sem aeração, pelos microrganismos facultativos heterotróficos desnitrificantes. Já para a relação DQO/NTK, a correlação de Pearson apresentou valor r = -0,68, com p<0,05, ou seja, é uma correlação negativa significativa. Desta forma, quanto maior foi a relação DQO/NTK, menor foi a eficiência de remoção de DQO.

Os valores de NTK do efluente variaram entre 1,2 e 23,4 mgL^{-1} (Tabela 3) e os valores de nitrogênio amoniacal atenderam à Resolução CONAMA 430/2011 (Conselho Nacional do Meio Ambiente do Brasil, 2011), no qual o padrão de lançamento é de até 20 $mgNL^{-1}$. A partir dos dados obtidos foi constatado que ocorreu o processo NDS no reator, com eficiência acima de 76 e 99 % para nitrificação e desnitrificação, respectivamente (Tabela 3). Além disso, observou-se que um menor tempo de aeração resultou em uma menor eficiência de remoção de NT, pois afetou as bactérias nitrificantes do sistema.

Pela correlação de Pearson a variável Aeração Total foi a única significativa (p<0,05) para Remoção de NT, com r=0,73. A correlação entre remoção de NT e a remoção de DQO possui r=0,61 (p<0,05), ou seja, quanto maior foi a remoção de NT, maior foi a remoção de DQO. A concentração de nitrito na saída foi baixa, variando de 0,08 a 0,23 mgL^{-1}, já nitrato não foi identificado em nenhuma amostra de saída.

Tabela 2 | Concentrações de DQO do afluente e efluente do reator e eficiência de remoção de DQO.

Ensaio	1	2	3	4	5	6	7
$DQO_{afl.}$ ($mg\ L^{-1}$)	2046±27	2002±226	3502±56	3976±278	2412±21	2407±54	2336±54
$DQO_{efl.}$ ($mg\ L^{-1}$)	287±98	216±16	387±6	134±25	60±8	59±7	55±4
Remoção de DQO (%)	86	89	89	97	98	98	98

Tabela 3 | Concentrações de NTK do afluente e efluente do reator e eficiências de nitrificação, desnitrificação e remoção de NT.

Ensaio	1	2	3	4	5	6	7
$NTK_{afl.}$ ($mg\ L^{-1}$)	21,8 ±0,8	23,4 ±1,0	101,1 ± 0,5	100,4 ± 3,1	60,1 ±1,9	59,5 ± 5,5	61,0 ±2,7
$NTK_{efl.}$ ($mg\ L^{-1}$)	4,6 ± 0,7	1,2 ± 0,4	23,4 ± 1,9	4,6 ± 0,7	5,3 ± 0,7	5,9 ± 0,2	5,8 ±0,6
Nitrificação (%)	78,9	94,87	76,85	95,42	91,18	90,08	90,49
Desnitrificação (%)	98,9	99,55	99,7	99,92	99,62	99,76	99,73
Remoção de NT (%)	78	94	76	95	91	90	90

A nitrificação é um processo que ocorre na presença de oxigênio e consiste na oxidação da amônia a nitrito e, posteriormente, a nitrato. Esta etapa foi limitante para a remoção de NT, variando de 76,85 a 95,42 %. Pela correlação de Pearson, foi possível observar que o valor de *r* para a correlação entre nitrificação e o tempo de aeração total foi de 0,73 ($p<0,05$), ou seja, quanto maior foi o tempo de aeração total, maior foi a porcentagem de nitrificação. Para a relação DQO/NTK não foi obtido valor significativo, com r=-0,23. Os valores de nitrificação podem ter sido inferiores porque as bactérias nitrificantes autotróficas possuem velocidade de crescimento menor que as bactérias heterotróficas que fazem a desnitrificação (Zoppas, Bernardes y Meneguzzi, 2016).

A eficiência de desnitrificação, que é um processo realizado em ambiente anóxico no qual ocorre a conversão do nitrato a nitrogênio gasoso, foi alta em todos os ensaios, acima de 98,90 %, indicando que havia substrato facilmente degradável para o processo, não sendo um fator limitante nesta etapa. Pela correlação de Pearson, a relação DQO/NTK foi a única variável significativa ($p<0,05$), com r=-0,85, ou seja, maior foi a desnitrificação quanto menor foi a relação DQO/NTK. A aeração total não foi uma variável significativa ($p>0,05$), com r=0,31.

Os valores do pH do afluente e efluente variaram de 6,93 até 7,66 e de 6,90 até 7,85, respectivamente, estando próximas das faixas ótimas de atuação das bactérias nitrificantes (7,0- 8,0) e desnitrificantes (6,5-8,0), favorecendo a atuação dos microrganismos nitrificantes, desnitrificantes e heterotróficos aeróbios (Zoppas, Bernardes y Meneguzzi, 2016).

A alcalinidade afluente variou entre 133,17 e 669,23 $mgCaCO_3L^{-1}$ e a alcalinidade efluente variou entre 121,33 e 500,87 $mgCaCO_3L^{-1}$, sendo observada a presença do processo NDS, no qual ocorreu consumo de alcalinidade na nitrificação e ainda houve a reposição de alcalinidade na etapa de desnitrificação. Em todos os ensaios, as eficiências de desnitrificação foram superiores a 98 %, o que justifica a reposição da alcalinidade do meio.

Conclusão

As microcervejarias costumam produzir em batelada e, muitas vezes, por estarem presentes no perímetro urbano dos municípios, não têm espaço suficiente para implantação de uma ETE. Desta forma, a ideia de um reator compacto para tratamento secundário e terciário do efluente foi proposto neste estudo. A utilização do miniBiobob® como meio suporte, juntamente com a aeração intermitente e TDH de 16h, possibilitou um ambiente para que a nitrificação e desnitrificação simultâneas ocorressem, sendo eficiente na remoção conjunta de DQO e NT, que variaram entre 86 % a 98 % e 76 % a 94 %, respectivamente, atendendo os níveis exigidos pela legislação. Assim, é possível concluir que esta configuração de reator é uma alternativa compacta para o tratamento secundário e terciário de efluente de microcervejaria.

Agradecimentos

Este trabalho recebeu apoio da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e da Bioproj Tecnologia Ambiental.

Referências

APHA. (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater (21a ed.). American Public Health Association/American Water Works Association/ Water Environment Federation.

Conselho Nacional do Meio Ambiente do Brasil. Resolução n°430, de 13 de maio de 2011. (2011). Dispõe sobre classificação de corpos d'água e estabelece as condições e padrões para lançamento de efluentes, e dá outras providências.

Chang, M., Wang, Y., Pan, Y., Zhang, K., Lyu, L., Wang, M., & Zhu, T. (2019). Nitrogen removal from wastewater via simultaneous nitrification and denitrification using a biological folded non-aerated filter. Bioresource Technology, 289, 121696. http://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121696

Dilallo, R., & Albertson, O. E (1961). Volatile acids by direct titration. Journal Water Pollution Control Federation, 33, 356-365. https://www.jstor.org/stable/25034391

Enitan, A. M., Kumari, S., Odiyo, J. O., Bux, F., & Swalaha, F.M. (2018). Principal component analysis and characterization of methane community in a full-scale bioenergy producing UASB reactor treating brewery wastewater. Physics and Chemistry of the Earth, 108, 1-8. https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.06.006

Granato, D., Calado, V. M. A., & Jarvis, B. (2014). Observations on the use of statistical methods in Food Science and Technology. Food Research International, 55, 137-149. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.10.024

Gunes, B., Stokes, J., Davis, P., Connolly, C., & Lawler, J. (2019). Pre-treatments to enhance biogas yield and quality from anaerobic digestion of whiskey distillery and brewery wastes: a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 113, 1-15. https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109281

Jenzura, N. T., Wendling, A. C., Zielinski, A., Damianovic, M. H. R. Z., & Barana, A. C. (2018). Prediction of total nitrogen removal in a structured bed reactor for secondary and tertiary treatment of sanitary sewage. Desalination and water treatment, 126, 144-150. http://doi.org/10.5004/dwt.2018.22909

Moura, R. B., Damianovic, M.H.R. Z., & Foresti, E. (2012). Nitrogen and carbon removal from synthetic wastewater in a vertical structured-bed reactor under intermitente aeration. Journal of Environmental Management, 98, 163-167. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.01.009

Oliveira, E. P., Souza, T. S. O., Okada, D. Y., Damasceno, L. H. S., Salustiano, R. E., & Moura, R. B. (2021). Optimization of airflow and aeration cycles in a new structured bed reactor configuration for carbon and nitrogen removal. Environmental Technology, 43(16), 1-13. https://doi.org/10.1080/09593330.2021.1887370

Papadopoulos, K. P., Economou, C. N., Tekerlekopoulou, A. G., & Vayenas, D.V. (2020). Two-step treatment of brewery wastewater using electrocoagulation and cyanobacteria-based cultivation. Journal of Environmental Management, 265, 1-7. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110543

Roveroto, G. P., Teles, J. C., Vuitik, G. A., Batista, J. S. S., & Barana, A. C., (2021). Craft Brewery Wastewater Treatment: a Fixed-Bed Single-Batch Reactor with Intermittent Aeration to Remove COD and TN. Brazilian Archives of Biology and Technology, 64, 1–14. https://doi.org/10.1590/1678-4324-75years-2021200613

dos Santos, A. M., dos Santos, A. M., Sartori, R. B., Reck, N., Zepka, L. Q., & Lopes, E. J. (2019). Biorremediação de efluente cervejeiro por phormidium autumnale em biorreatores multifuncionais. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, 2(3), 1010-1019. https://brazilianjournals.com/index.php/BJAER/article/download/6564/5781

Wosiack, P. A., Lopes, D. D., Damianovic, M. H. R. Z., Foresti, E., Granato, D., & Barana, A. C. (2015). Removal of COD and nitrogen from animal food plant wastewater in intermittently aerated structured-bed reactor. Journal of Environmental Management, 154, 145-150. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.02.026

Zaiat, M., Cabral, A. K. A., & Foresti, E. (1994). Reator anaeróbio de leito fixo para tratamento de águas residuárias: Concepção e avaliação preliminar do desempenho. Revista Brasileira de Engenharia – Caderno de Engenharia Química, 11, 33-42.

Zoppas, F. M., Bernardes, A. M., & Meneguzzi, A. (2016). Parâmetros operacionais na remoção biológica de nitrogênio de águas por nitrificação e desnitrificação simultânea. Engenharia Sanitária e Ambiental, 21(1), 29-42. https://doi.org/10.1590/S1413-41520201600100134682