



II-806 - TRATAMENTO DE EFLUENTE DO MANEJO DE GADO LEITEIRO CONFINADO COM MEMBRANAS DE NANOFILTRAÇÃO PARA CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES

Adrian dos Santos Teixeira⁽²⁾

Graduando de Engenharia Química pela PUC Minas e Trainee na empresa de químicos de construção, Dallminas.

Camila de Figueiredo Valias⁽³⁾

Graduanda de Engenharia Química pela PUC Minas, ex-aluna de iniciação científica no DESA – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG e atualmente, estagiária na área ambiental de supervisão de coprocessamento de uma das maiores indústrias cimenteiras do país, a Cimento Nacional.

Samuel Pereira Costa⁽⁴⁾

Graduando de Engenharia Química pela PUC Minas e estagiário no DESA - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

Laura Hamdan de Andrade⁽¹⁾

Engenheira Química pela UFMG, Mestre e Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG. Professora Adjunta III da PUC Minas. Coordenadora de Curso e Chefe do Departamento de Engenharia Química da PUC Minas.

Endereço⁽¹⁾: Dom José Gaspar, 500 Coração Eucarístico - Belo Horizonte - MG 30535-901- Tel: (31) 3319-4079 - e-mail: lauraandrade@pucminas.br

RESUMO

A recuperação de nitrogênio e fósforo de efluentes tem grande importância na preservação do ecossistema, pois seu descarte indiscriminado está relacionado a problemas ambientais. Porém, para que estes possam ser recuperados de um efluente, sua concentração no mesmo deve ser alta, permitindo a precipitação. Assim, o presente trabalho tem como objetivo apresentar uma rota de concentração de nitrogênio e fósforo através da nanofiltração e gerar um permeado com boa qualidade, partindo de um efluente de bovinocultura da fazenda Calcilândia – MG. O efluente, inicialmente, foi pré-tratado por ultrafiltração e, em seguida, ocorreu o tratamento com nanofiltração, onde foram testadas quatro pressões diferentes (4, 6, 8 e 10 bar). A viabilidade do método para recuperação dos nutrientes foi avaliada através de análises de fósforo livre, nitrogênio total, DQO, sólidos suspensos fixos e voláteis e sólidos totais fixos e voláteis. Os valores obtidos mostram grande eficiência da nanofiltração no tratamento de efluentes e comprovam que pressões mais elevadas promovem maior retenção de grande parte dos componentes. Ademais, a realização do teste com maior porcentagem de recuperação (85%) resultou em um aumento de 3,77 vezes na concentração do fósforo e de 1,53 vezes na do nitrogênio.

PALAVRAS-CHAVE: Recuperação de nutrientes; Nanofiltração; Efluente de bovinocultura; Nitrogênio; Fósforo.

INTRODUÇÃO

A bovinocultura de leite é uma das principais atividades econômicas no Brasil, contribuindo com a geração de emprego e desenvolvimento de novas tecnologias (SOARES; MARTINS; BRITO, 2019). No entanto, à medida que a produção de leite aumenta, também aumenta a quantidade de efluentes gerados por meio do manejo do gado, os quais podem ocasionar diversos problemas ambientais caso não haja tratamento adequado (ZAWATSKI, 2018).

Dentre os contaminantes presentes nesses efluentes, têm-se os nutrientes nitrogênio e fósforo, que quando estão presentes em altas concentrações podem causar problemas como a eutrofização. Por outro lado, esses nutrientes podem ser recuperados e utilizados como fertilizantes (DEEMTER *et al.*, 2022).



Os processos de separação por membranas são uma alternativa importante para tratamento de efluentes devido à sua facilidade de aumento de escala, separação sem necessidade de utilizar produtos químicos, baixos custos de operação e manutenção, além de ser capaz de realizar separações altamente seletivas (STRATHMANN, 2011). Dentre os possíveis tratamentos por membrana, a nanofiltração (NF) se destaca pela eficiência para recuperação de nitrogênio e fósforo (DEEMTER *et al.*, 2022). Nir, Keller e Wessling (2018) analisaram a recuperação de fósforo de águas residuais por NF. Foi utilizada uma membrana de NF submetida a baixa pressão, obtendo 97% de retenção de fósforo.

Neste trabalho foi realizado o tratamento do efluente gerado pelo manejo de gado confinado de uma fazenda localizada em Arcos (MG) através de nanofiltração com o objetivo de se obter dois subprodutos: um concentrado rico em nutrientes, com concentração que possibilite a recuperação de fósforo e nitrogênio por precipitação; e um permeado, com baixas concentrações de poluentes, que tenha qualidade suficiente para lançamento em corpos d'água ou reuso na fazenda.

OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a nanofiltração para tratamento de efluente da bovinocultura leiteira e concentração de nitrogênio e fósforo.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi dividido em três etapas, sendo a primeira realização do pré-tratamento do efluente utilizando membranas de ultrafiltração (UF), com o objetivo de remover os sólidos suspensos para evitar incrustação da membrana de nanofiltração (NF). A segunda etapa contemplou a execução dos ensaios de NF em diferentes pressões, de forma a verificar a influência desse parâmetro na recuperação de nutrientes e eficiência do processo. Na terceira etapa, empregando a pressão que obteve maior eficiência de remoção, realizou-se um teste com 85% de recuperação do permeado para avaliar a capacidade de retenção dos nutrientes.

O efluente foi coletado em uma lagoa de dejetos de uma fazenda localizada em Arcos – Minas Gerais. O efluente e os permeados de UF e NF foram caracterizados em relação à parâmetros físico-químicos de pH, condutividade, turbidez, demanda química de oxigênio (DQO), fósforo livre, nitrogênio total, sólidos suspensos fixos e voláteis, e sólidos totais fixos e voláteis. As análises foram realizadas com base nos métodos do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, sendo todas feitas em triplicata (APHA, 2012).

Os experimentos de NF foram realizados em uma unidade de bancada (Figura 1) empregando a membrana NF90 (FilmTec). Foram testadas as pressões de 4, 6, 8 e 10 bar, com recirculação de concentrado para o tanque de alimentação e retirada de permeado. O experimento foi realizado até que o grau de recuperação de 10% fosse atingido, demandando 120 a 240 min. A melhor pressão foi empregada no experimento de concentração, que foi realizado com retirada de permeado até um grau de recuperação de 85% e teve duração de 20 h.

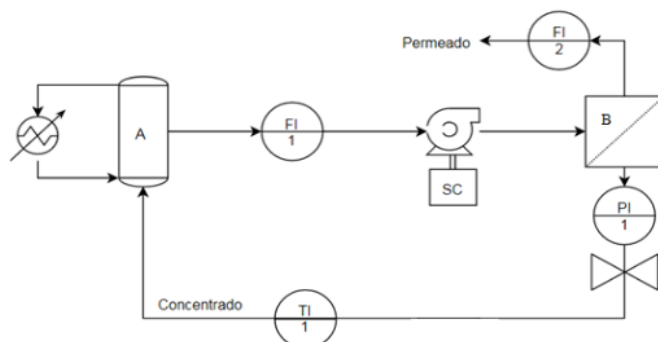


Figura 1 – Fluxograma da unidade de NF. (A – tanque de alimentação; B – membrana; C - válvula para ajuste de pressão; TI – medidor de temperatura; FI - medidor de vazão; PI – medidor de pressão; SC - inversor de frequência)

Antes de cada experimento, a membrana foi limpa com solução de NaOH (pH 10) e água destilada, e a permeabilidade com água foi medida. A vazão de permeado foi medida e os fluxos foram corrigidos para 25°C utilizando a equação de viscosidade (η) e os dados de viscosidade da água e temperatura medida durante o teste. As resistências da membrana e da incrustação foram calculadas conforme Andrade *et al.* (2017).

RESULTADOS OBTIDOS

A Tabela 1 apresenta a caracterização físico-química do efluente bruto e do permeado de UF.

Tabela 1 – Caracterização dos efluentes bruto e após ultrafiltração

	Efluente bruto	Permeado UF
Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1691	1611
DQO (mg/L)	14546	11446
Sólidos totais (mg/L)	1077	580
Fósforo reativo (mg/L)	0,8	0,4
Nitrogênio total (mg/L)	5,0	4,3

A Tabela 2 apresenta os resultados das eficiências de remoção da NF com diferentes pressões de operação. Já a Figura 2 mostra o fluxo médio de permeado ao longo do experimento. Destaca-se que não houve variação expressiva de fluxo ao longo do tempo de operação de NF. Para cada pressão de operação também foi realizado o cálculo das resistências da membrana e da incrustação, demonstradas na Figura 3.

Tabela 2 – Porcentagens de remoção (%) alcançados para os permeados da nanofiltração com diferentes pressões de operação.

	4 bar	6 bar	8 bar	10 bar
Condutividade	80	84	90	90
DQO	95	95	93	94
Sólidos Totais	59	90	93	95
Fósforo Reativo	81	82	86	97
Nitrogênio Total	15	18	15	15

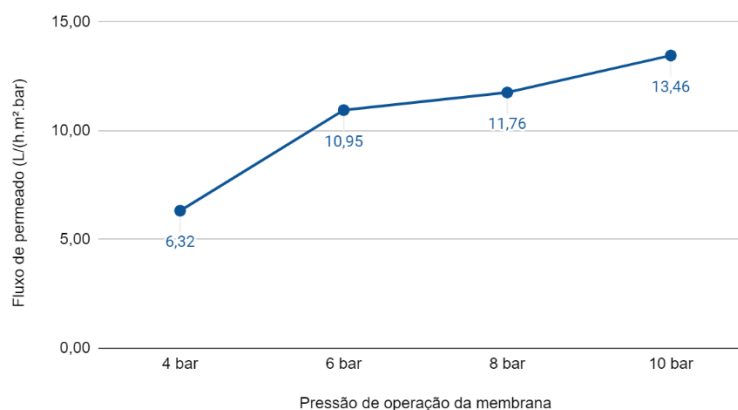


Figura 2: Fluxo de permeado médio da NF em diferentes pressões de operação.

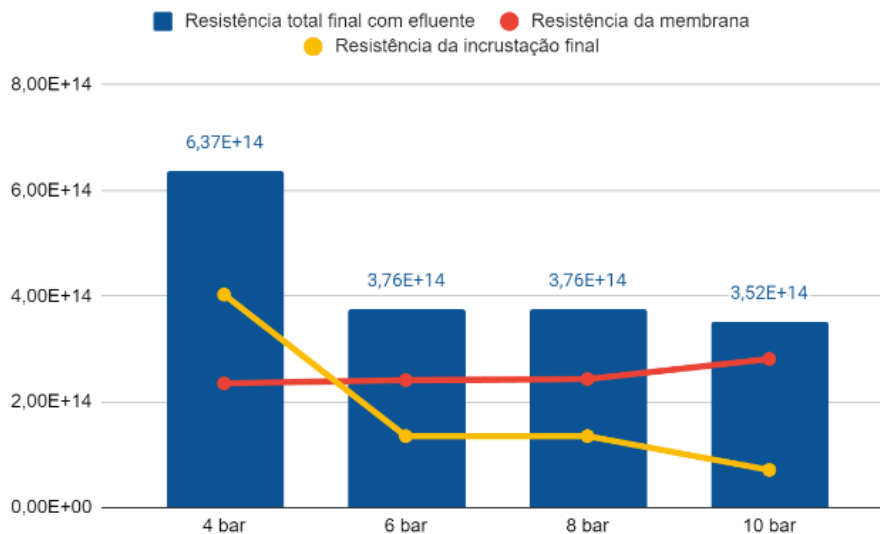


Figura 3 – Variação da resistência no processo de NF de acordo com a pressão aplicada

Após os testes iniciais, foi determinado que a pressão de operação de 10 bar possibilitou maiores eficiências, portanto essa foi a pressão empregada no experimento de concentração. Os resultados do teste estão na Tabela 3.

Tabela 3 – Concentração de nutrientes na alimentação (permeado UF) e no concentrado da NF no experimento com grau de recuperação de permeado de 85%

	Permeado UF (mg/L)	Concentrado NF (mg/L)	Aumento de concentração
Nitrogênio	4,2	6,5	1,53 x
Fósforo	0,38	1,4	3,77 x

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nota-se pela Tabela 1 que efluente bruto apresenta alta concentração de DQO, o que representa elevada quantidade de matéria orgânica. Ademais, observa-se que a eficiência de remoção da UF pode ser considerada mediana, estando relacionada à remoção de sólidos suspensos orgânicos. Pode-se observar que a condutividade do permeado da UF é bastante similar à da amostra bruta, indicando baixa remoção dos sólidos solúveis no pré-tratamento. O efluente bruto possui maior concentração de nitrogênio e fósforo, os quais poderiam estar parcialmente na forma suspensa sendo, dessa maneira, retidos pela UF.

Já para NF, os resultados dos experimentos (Tabela 2) indicam grande redução nos valores de condutividade, turbidez, DQO, sólidos e fósforo reativo e, comparativamente, uma redução menos expressiva para o nitrogênio. Os valores encontrados estão de acordo com a literatura, que indica valores altos de remoção para o fósforo, enquanto para o nitrogênio encontra-se valores diversos, desde 7% (GERARDO *et. al.*, 2015) até 96% (ADAM *et. al.*, 2018). Na maioria dos casos, o aumento da pressão proporcionou maior eficiência de remoção. Isso se deve ao aumento do fluxo de permeado que passa pela membrana, resultando em uma diluição do permeado. Entretanto, para DQO e nitrogênio total tem-se uma porcentagem de remoção muito próxima para todas as pressões, possivelmente devido à intensificação do processo de polarização da concentração, que faz com que ocorra uma maior passagem de soluto para o permeado.

Nota-se aumento do fluxo médio de permeado com o aumento da pressão (Figura 2), porém de forma não linear. Entretanto, não houve redução significativa de fluxo durante os testes, indicando baixa incrustação da membrana.



Pela Figura 3 nota-se que em pressões mais elevadas, a resistência de incrustação teve um valor menos impactante na resistência total do que a resistência da membrana, indicando que houve pouca incrustação. Já para a pressão de 4 bar, a resistência de incrustação teve alto impacto no valor da resistência final, que pode ter sido causado pelo tempo elevado de operação necessário (240 minutos).

A Tabela 3 mostra que houve aumento da concentração de fósforo e nitrogênio no concentrado da NF, comprovando que a membrana de nanofiltração pode ser utilizada para este fim. Os valores obtidos são promissores quando se considera a possibilidade de recuperação dos nutrientes do concentrado por meio de precipitação na forma de estruvita ou outro sal de fertilizante.

CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos neste trabalho, pode-se concluir que a nanofiltração teve grande eficiência na remoção da maioria dos parâmetros analisados, chegando a valores de remoção próximos a 91% para condutividade, 95% para DQO, 98% para fósforo reativo e 16% para o nitrogênio. A incrustação das membranas não foi muito elevada e não houve grande variação de fluxo de permeado ao longo do tempo.

Em relação ao teste de concentração, obteve-se um aumento da concentração de nutrientes no concentrado da NF, sendo este aumento de 3,77 vezes para o fósforo e de 1,53 vezes para o nitrogênio.

Portanto, conclui-se que o tratamento combinado da ultrafiltração e da nanofiltração para um efluente de bovinocultura atingiu os resultados esperados, sendo capaz de aumentar a concentração de nitrogênio e fósforo para posterior precipitação e recuperação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ADAM, Gilles et. al. *Fractionation of anaerobic digestates by dynamic nanofiltration and reverse osmosis: an industrial pilot case evaluation for nutrient recovery*. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Elsevier B.V., 2018.
2. ANDRADE, L. H., AGUIAR, A. O., PIRES, W. L., GROSSI, L. B., & AMARAL, M. C. S. *Comprehensive bench-and pilot-scale investigation of NF for gold mining effluent treatment: Membrane performance and fouling control strategies*. *Separation and Purification Technology*, 174, 44-56, 2017.
3. APHA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Association, 23^a ed. Washington, 2005. Acesso em: 02 maio 2023.
4. DEEMTER, Dennis et. al. *Valorization of UWWTP effluents for ammonium recovery and MC elimination by advanced AOPs*. *Science of The Total Environment*, 2022.
5. GERARDO, Michael L. et al. *Moving towards sustainable resources: Recovery and fractionation of nutrients from dairy manure digestate using membranes*. *Water Research*, Elsevier Ltd., 2015.
6. NIR, Oded; KELLER, Robert G.; WESSLING, Matthias. *Closing the cycle: Phosphorus removal and recovery from diluted effluents using acid resistive membranes*. Elsevier Ltd., 2018.
7. SOARES, Aline Souza; MARTINS, Valéria Oliveira; BRITO, Suelen dos Santos. BOVINOCULTURA: Caracterização do sistema produtivo no distrito Macaúba, Araguatins (TO). *Agronegócio e Meio Ambiente*, Maringá, pr. 901-920, 15 jul. 2019. Mensal.
8. STRATHMANN, H. *Introduction to Membrane Science and Technology*. 1. ed. Weinheim: Wiley, 2011.
9. ZAWATSKI, Ana Paula Mertins. *Análise de viabilidade técnica e ambiental de estação de tratamento de efluentes de bovinocultura leiteira*. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2018