


RECUPERAÇÃO DE ETANOL DA MISTURA GASOSA DE STRIPPING POR PERMEAÇÃO DE VAPOR UTILIZANDO MEMBRANAS COMERCIAIS

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.933112427091>

Data de aceite: 27/09/2024

MV Santos

Universidade Federal de São Carlos,
Departamento de Engenharia Química

BF Martins

Universidade Federal de São Carlos,
Departamento de Engenharia Química

KCS Rodrigues

Universidade Federal de São Carlos,
Departamento de Engenharia Química

AC Badino

Universidade Federal de São Carlos,
Departamento de Engenharia Química

AJG Cruz

Universidade Federal de São Carlos,
Departamento de Engenharia Química

RESUMO: Dentre as tecnologias utilizadas para a recuperação do etanol, a permeação de vapor baseia-se na remoção seletiva de um componente de uma corrente de alimentação gasosa por meio de uma membrana seletiva. Sendo assim, o presente trabalho avaliou a seletividade de membranas comerciais na recuperação do etanol de uma corrente proveniente do stripping com CO₂ de uma

solução hidroalcoólica. Foram realizados experimentos de remoção de etanol por arraste gasoso e separação por permeação de vapor variando o tipo de membrana e a vazão específica de CO₂. Os resultados mostraram que as membranas comerciais de ePTFE, PP e PES apresentaram baixa seletividade ao etanol.

INTRODUÇÃO

Decorrente das atividades humanas, o aquecimento global tem aumentado devido à concentração dos gases de efeito estufa (GEE), como o CO₂. Dentro das alternativas para a mitigação dessas emissões, destaca-se o uso dos biocombustíveis, como o etanol (Motta *et al.*, 2011). No entanto, o processo de obtenção de etanol por rota fermentativa possui um fator limitante, que é o efeito da inibição pelo produto ao longo do processo.

Uma forma de minimizar este efeito inibitório é remover o etanol durante a fermentação por *stripping* com CO₂. Estudos recentes reportam aplicação da técnica com consequente aumento da

produtividade em etanol. Sonogo *et al.* (2014) realizaram fermentações extrativas com *stripping* de CO₂ e conseguiram aumentar em 25% a produtividade de etanol. Apesar do aumento na produtividade, recuperar o etanol arrastado do biorreator não foi objeto de estudo pelos autores. Com intuito de avaliar a recuperação do etanol arrastado, Rodrigues *et al.* (2019) investigaram a remoção de etanol com posterior recuperação empregando coluna de absorção. Os autores obtiveram 93,1% de recuperação do etanol contido no gás de arraste. Portanto, para que a aplicação do *stripping* seja viável são necessários métodos ainda mais eficientes para recuperação do etanol da corrente gasosa.

Dentro das tecnologias utilizadas para este fim, a permeação de vapor demonstra ser atrativa, uma vez que é capaz de remover especificamente um componente de uma corrente de alimentação gasosa por meio de uma membrana seletiva (Vane, 2019). Nesse sentido, a membrana a ser empregada apresenta grande importância no processo e pode apresentar propriedades hidrofílicas ou hidrofóbicas a depender do polímero e do tratamento superficial realizado na membrana (Wanke *et al.*, 2009). Isto posto, o presente trabalho avaliou a seletividade de membranas comerciais a base de polipropileno (PP), politetrafluoretileno (ePTFE) e polietersulfona (PES) na recuperação do etanol de corrente proveniente do *stripping* com CO₂ de uma solução hidroalcolólica.

METODOLOGIA

Aparato e procedimento experimental

Os experimentos para avaliação da seletividade das membranas comerciais de Polipropileno (PP) modelo ABS254-0,2 da Ind. Filtros®, Polietersulfona (PES) modelo Biofil™ Plus da Porvair Filtration® e Politetrafluoretileno (ePTFE) modelo Fluorofil™ da Porvair Filtration® foram realizados acoplando o módulo que continha as membranas a um biorreator pneumático tipo coluna de bolhas com volume útil de trabalho de 2 L, onde foi realizado o *stripping* de uma solução hidroalcolólica com concentração inicial de etanol de 80 g.L⁻¹ (10% v.v⁻¹), conforme ilustra a Figura 1.

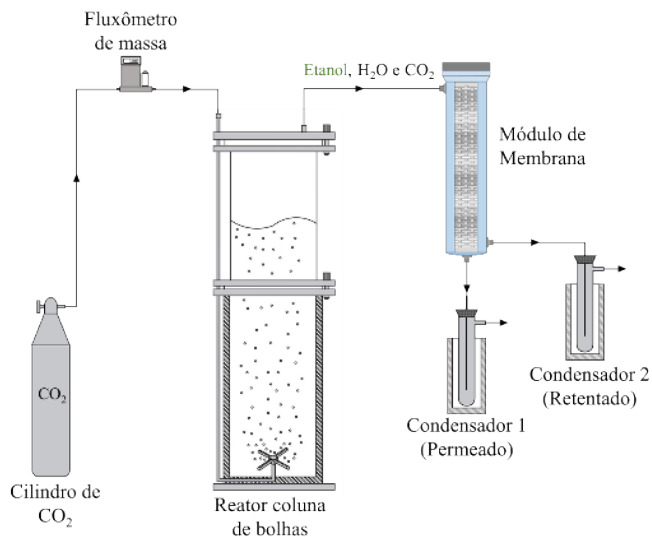


Figura 1 – Sistema integrado de *stripping* e recuperação de etanol por permeação de vapor.

O gás de arraste utilizado foi o dióxido de carbono (CO_2) proveniente de um cilindro comercial (99,5%), sendo a vazão controlada por um fluxômetro de massa da marca AALBORG modelo GFC 37. A temperatura no biorreator foi controlada em $25\text{ }^\circ\text{C}$ por um banho termostático. O monitoramento foi realizado por termômetro digital imerso na solução hidroalcolica. A corrente gasosa gerada pelo *stripping* contendo etanol, água e CO_2 foi alimentada no módulo contendo a membrana, sendo separado na saída em duas correntes, denominadas de permeado e retentado. Ambas correntes foram condensadas em tubos coletores imersos em banho a $-20\text{ }^\circ\text{C}$.

Ao todo, foram realizados 13 experimentos variando o tipo de membrana e a vazão específica de CO_2 (ϕ). Cada ensaio teve duração de 6 h com retirada de amostras da fase líquida do reator e dos tubos coletores a cada 1 h para determinação da concentração de etanol (C_E) por espectroscopia de infravermelho médio com transformada de Fourier (FT-MIR). Os volumes das soluções do biorreator e dos tubos coletores também foram quantificados.

Tratamento de Dados

A capacidade seletiva das membranas foi avaliada a partir do parâmetro seletividade (α), calculado para o permeado e para o retentado, de acordo com a Equação 1. Embora na literatura tem sido frequentemente determinado a seletividade apenas para o permeado (Vane, 2019), para melhor esclarecer sobre o desempenho no processo foi determinado a seletividade também no retentado.

$$a = \frac{X_{etOH}/X_W}{Y_{etOH}/Y_W} \quad (1)$$

No qual, X_{etOH} e X_W são as frações mássicas de etanol e água condensadas nas correntes de permeado ou retentado e Y_{etOH} e Y_W são as frações mássicas de etanol e água na corrente de alimentação do módulo de membrana (corrente gasosa proveniente do *stripping*).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2a são apresentados os resultados da seletividade da membrana de PP para diferentes vazões de alimentação de CO_2 . Observa-se que o aumento da vazão específica de CO_2 diminuiu a seletividade do etanol. Alguns fatores podem ter contribuído para este comportamento, tal como o tempo de residência da corrente gasosa resultante do *stripping* em contato com a membrana, como também a condensação do etanol pelo maior tempo de residência no condensador para as vazões menores.

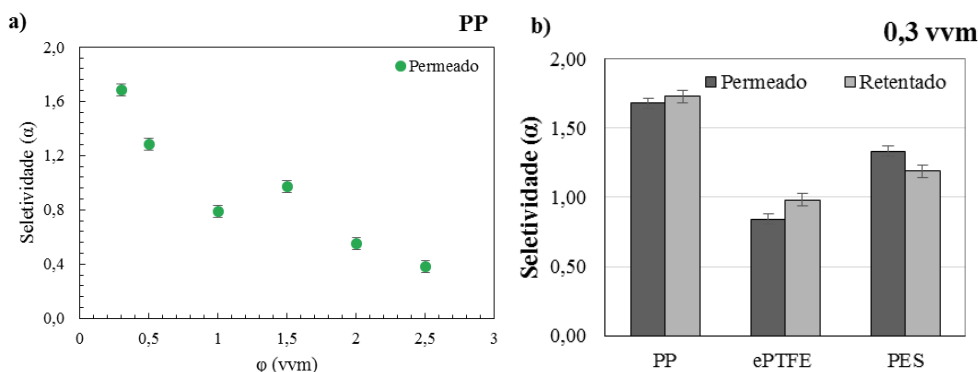


Figura 2 – (a) Seletividade da membrana de Polipropileno em função da vazão de CO_2 : (●) permeado e (b) Seletividades do permeado e do retentado das membranas de Polipropileno (PP), Polietersulfona (PES) e Politetrafluoretileno (ePTFE).

Nesse sentido foram testadas as membranas de PES e ePTFE na vazão de 0,3 vvm (Figura 2b), que proporcionou a melhor seletividade para a membrana de PP. Comparando a seletividade do retentado e permeado entre os três tipos de membranas, observa-se que membrana de ePTFE apresentou comportamento semelhante a membrana de PP, com maior seletividade no retentado. Como os polímeros de ePTFE e PP são classificados na literatura como hidrofóbicos, esperava-se que ambas tivessem seletividade maior a etanol. No entanto, este comportamento não foi verificado nas membranas comerciais utilizadas no presente trabalho. Villaluenga *et al.* (2007) relatam que os polímeros ePTFE e PP frequentemente são usados como suporte para a preparação de membranas compostas e não como o principal meio seletivo havendo a necessidade de um tratamento da superfície destas membranas para atender ao uso.

A membrana de polietersulfona (PES) apresentou comportamento diferente do ePTFE e PP (Figura 2b). Na vazão específica de CO₂ de 0,3 vvm o permeado apresentou seletividade ao etanol ligeiramente superior ao retentado. Possivelmente, essa membrana quando submetida a menores vazões poderá apresentar valores ainda mais representativos de separação de etanol, hipótese esta que será avaliada em estudos futuros.

CONCLUSÃO

A partir do presente trabalho pode-se constatar que membranas comerciais de ePTFE, PP e PES apresentaram baixa seletividade ao etanol, sendo necessária a realização de tratamentos superficiais, além de testes de permeação em menores vazões de CO₂ visando obter melhor desempenho dessas membranas na separação do etanol.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Código Financeiro 001, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, Proc. n° 2018/11405-5) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, Procs. n° 431460/2016-7 e n° 141300/2019-1) pelos apoios financeiros para a execução deste trabalho.

REFERÊNCIAS

MOTTA RS, HARGRAVE J, LUEDEMANN G, GUTIERREZ MBS. *Mudança do Clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios*. Brasília: Ipea, 2011.

SONEGO JLS, LEMOS DA, RODRIGUEZ GY, CRUZ AJG, BADINO AC, Extractive Batch Fermentation with CO₂ Stripping for Ethanol Production in a Bubble Column Bioreactor: Experimental and Modeling. *Energ Fuel*, v. 28, n. 12, p. 7552-7559, 2014.

RODRIGUES KCS, VELOSO IIK, CRUZ AJG, BERNARDO A, BADINO AC, Ethanol Recovery from Stripping Gas Mixtures by Gas Absorption: Experimental and Modeling. *Energ Fuel*, v. 33, n. 1, p. 369-378, 2019.

VANE LM, Review: membrane materials for the removal of water from industrial solvents by pervaporation and vapor permeation. *J Chem Technol Biot*, v. 94, n. 2, p. 343-365, 2019.

VILLALUENGA JPG, KHAYET M, LÓPEZ-MANCHADO MA, VALENTIN JL, SEOANE B, MENGUAL JI, Gas transport properties of polypropylene/clay composite membranes. *Eur Polym J*, v. 43, n. 4, p. 1132-1143, 2007.

WANKE CH, DAL RI C, OLIVEIRA RVB, Modificação superficial de polipropileno tratado com radiação ultravioleta. *In: Anais do 10 Congresso Brasileiro de Polímeros*. Foz do Iguaçu, PR: 2009.