



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

MICROFILTRAÇÃO COMO PROCESSO DE TRATAMENTO AVANÇADO PARA EFLUENTE INDUSTRIAL DE ABATEDOURO DE BOVINOS

Tiago Osório da Silva¹; André William Soares Rocha²; Francisco Javier Cuba Teran³

RESUMO

Este trabalho mostra os resultados obtidos a partir da operação de um sistema de microfiltração em membrana de fibra oca aplicado ao tratamento de efluente de um abatedouro de bovinos, com a finalidade de remover turbidez, DQO, sólidos suspensos totais (SST) e voláteis (SSV), fósforo inorgânico ($P-PO_4^{3-}$) e nitrogênio amoniacal ($N-NH_4^+$). As características do fluxo permeado, temperatura e pressão transmembrana para o efluente em questão também foram estudadas. Após a conclusão do experimento constatou-se que a eficiência quanto à remoção dos parâmetros físico-químicos apresentado pelo módulo de membrana foi de: 98%, para turbidez; 97%, para SST; 97%, para SSV; 92%, para DQO; 9%, para $N-NH_4^+$ e 49%, para $P-PO_4^{3-}$. A frequência de operação onde a membrana apresentou maior fluxo de permeado ($18 L.h^{-1}.m^{-2}$), menor aumento de temperatura e pressão transmembrana ($0,25 Kgf.cm^{-2}$) foi de 35 Hz. Os resultados mostraram que o processo de filtração tangencial é satisfatório em relação à remoção de macromoléculas e turbidez.

Palavras-chaves: Microfiltração tangencial; tratamento avançado; turbidez.

MICROFILTRATION AS ADVANCED TREATMENT PROCESS FOR AN EFFLUENT OF BEEF CATTLE

ABSTRACT

This work aimed to clarify an effluent of a cattle slaughter industry by means of polymeric membranes of microfiltration (porosity of $0.4 \mu m$) with the purpose of removing its turbidity, COD, total suspended solids, volatile solids, inorganic phosphorus and ammonia nitrogen. And also the characteristics of the flow behavior and transmembrane pressure, and permeate temperature for this wastewater. It was noted that the efficiency regarding the removal of physical-chemical parameters was 98%, for Turbidity; 97%, for TSS; 97%, for VSS; 92%, for COD; 9%, for $N-NH_4^+$ and 49%, for $P-PO_4^{3-}$. Frequency operation of 35 Hz presented the highest permeate flux ($18 L.h^{-1}.m^{-2}$), lowest temperature and transmembrane pressure. Result showed that tangential filtration process is satisfactory in terms of macromolecules and turbidity removal.

Keywords: Tangential microfiltration; advanced treatment; turbidity.

Trabalho recebido em 17/09/2011 e aceito para publicação em 02/12/2011.

¹ Graduando em Engenharia Ambiental – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciência e Tecnologia, Campus de Presidente Prudente – e-mail: tiagoosoriiodasilva@gmail.com – Rua: Arthur Whitaker, nº 60, Bairro: JD Campo Belo, CEP: 19060-440, Presidente Prudente, SP

² Graduando em Engenharia Ambiental – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciência e Tecnologia, Campus de Presidente Prudente – e-mail: andresoesrocha@hotmail.com

³ Professor Doutor – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciência e Tecnologia, Campus de Presidente Prudente – e-mail: fteran@fct.com.br

1. INTRODUÇÃO

A microfiltração com membranas é um processo relevante, que vem se destacando no vasto mercado de engenharia de processos e requer o uso de módulos filtrantes compostos por material cerâmico ou polimérico. Em aplicações tecnológicas, a filtração tangencial contém o espectro de separação na faixa de microfiltração, que permite a separação de partículas tipo bactérias, proteínas, emulsões, dentre outras misturas (RIPPERGER; ALTMANN, 2002 apud HANEDA, 2006).

O processo de filtração tangencial apresenta vantagens significativas como: i) a mesma tecnologia pode ser aplicada em diversos setores da indústria; ii) a precisão na seletividade da membrana é alta, e a qualidade do permeado tem pouca variação; iii) a técnica minimiza o uso de agentes químicos; iv) concentrados de macromoléculas e óleos são alcançados acima de 70%; v) a instalação é compacta e requer menor consumo de energia do que processos térmicos; vi) a planta pode ser automatizada requerendo baixa manutenção (DEL COLLE, 2005).

Por outro lado, o desempenho da microfiltração em muitas aplicações é limitado pela colmatação de membranas, que acarreta um decréscimo no fluxo

permeado. As perdas contínuas na capacidade de filtração são devidas à formação de uma camada limite que surge naturalmente na superfície da membrana durante a filtração e que, em adição à queda do fluxo da membrana, age como uma membrana secundária reduzindo a permeabilidade da membrana original. A redução de fluxo permeado decorre do entupimento dos poros de macromoléculas, como proteínas, polissacarídeos, bactérias, etc (ROUVET et al., 1998; PREVENTING, 2001 apud VENTURINI FILHO & NOGUEIRA, 2007).

Com isso, as pesquisas na área de microfiltração mostram um uso mais nobre do efluente tratado, podendo ser aplicado novamente na produção industrial devido sua alta qualidade, obtida pela alta eficiência na separação de material particulado (microfiltração e ultrafiltração) (SCHNEIDER & TSUTIYA, 2001).

2. OBJETIVO

Este trabalho relata as experiências obtidas na operação de uma membrana de microfiltração aplicada ao tratamento de efluente de um abatedouro de bovinos. Além da verificação da eficiência na remoção de DQO, SST, SSV, fósforo inorgânico e nitrogênio amoniacal, também foram avaliados os efeitos da variação de

fluxo permeado, pressão transmembrana e temperatura.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Sistema experimental

O trabalho experimental foi desenvolvido em uma instalação piloto

constituída por um tanque de alimentação (20L), uma bomba centrífuga com potência de 1 HP (Thebe), dois manômetros (Wimpel), um inversor de frequência (Weg) e um módulo de membrana (Pam membranas).

As propriedades do módulo de membrana estão representadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades Típicas da Membrana

| | |
|---|------------------------------|
| Geometria | Cilíndrica do tipo fibra oca |
| Material | Poli(imida) |
| Camada Seletiva | Externa |
| Diâmetro Externo (mm) | 0,95 |
| Tamanho de Poro (μm) | 0,40 |
| Limites de pH | 2 – 13 |
| Pressão máxima de operação (kgf.cm^{-2}) | 4,0 |
| Temperatura máxima de operação ($^{\circ}\text{C}$) | 55 |
| Área nominal de permeado contida no módulo (m^2) | 1,0 |

FONTE: Pam membranas (2011).

Operação do sistema

O afluente do sistema piloto foi coletado de uma lagoa de estabilização de um abatedouro de bovinos e disposto no reservatório de alimentação.

As condições operacionais eram pré-ajustadas circulando-se o despejo líquido no módulo de membrana, por meio de uma bomba. Para se obter diferentes valores de vazões, foi acoplado à bomba um inversor de frequência, de forma a poder variar a rotação do motor aplicando diferentes valores de frequência. Os valores de

frequências adotados foram: 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 Hz.

A membrana foi operada em bateladas de 3 horas sendo que os parâmetros fluxo permeado, temperatura e pressão transmembrana eram medidos de 30 em 30 minutos. Simulou-se um escoamento contínuo, recirculando o concentrado e o permeado para o tanque de alimentação, eliminando o efeito de concentração do esgoto afluente. A concepção de escoamento contínuo foi utilizada em todos os ensaios desta

pesquisa. Na Figura 1 é apresentado o esquema do sistema experimental.

A limpeza do módulo de membrana foi realizada alimentando a membrana com água da rede pública no mesmo sentido de alimentação, fechando-se a saída de permeado. Assim, a tensão de cisalhamento causou o arraste do material particulado que se encontrava na superfície da membrana. Ao final de cada batelada realizou-se a limpeza com 10 L (litros) de água da rede pública, durante um período

de 1 hora, com frequência de 50 Hz. Essa metodologia recebe o nome de limpeza de carcaça.

Monitoramento

As análises físico-químicas dos parâmetros DQO, SST, SSV, fósforo inorgânico e nitrogênio amoniacal foram realizadas do afluente de alimentação e do permeado seguindo a metodologia do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1998).

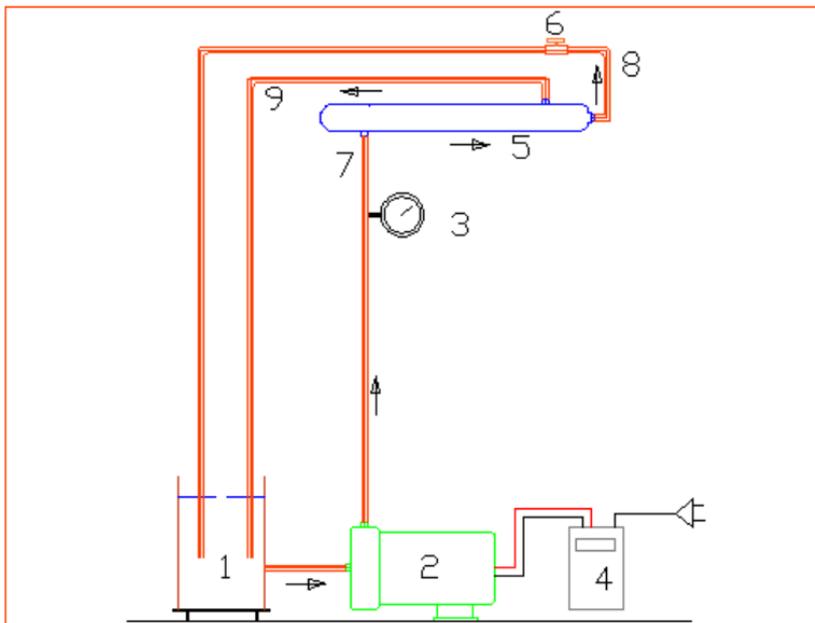


Figura 1 - Esquema do Sistema de Microfiltração

Legenda : (1) tanque de alimentação (20L); (2) bomba; (3) manômetros; (4) inversor de frequência; (5) módulo de membrana; (6) válvula de registro (7) entrada do efluente bruto; (8) saída do permeado; (9) saída de concentrado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 foi elaborada com base nos valores obtidos de fluxo de permeado em relação ao período de operação do

módulo de membrana, para cada batelada realizada com um valor de frequência.

Evidência-se na Figura 2 que a limpeza por carcaça foi essencial para obtenção de maiores valores de fluxo de

permeado durante o período de operação da unidade de microfiltração. Notou-se que após cada limpeza os valores iniciais de fluxo de permeado se regenera e aumenta, com o aumento da frequência de operação. Para isso, é preciso observar somente os valores iniciais de fluxo de permeado. Observa-se, ainda, na Figura 2 que o início da estabilização do fluxo foi verificado após 60 min de operação da unidade de microfiltração. Isso pode ser atribuído ao efeito de arraste (regime turbulento) ocasionado pelo escoamento tangencial do efluente do abatedouro de bovinos na superfície da membrana que remove continuamente partículas que ali se depositam, retornando-as constantemente ao tanque de alimentação da unidade.

Nota-se também que para as bateladas de frequência igual a 40, 45 e 50 Hz, os valores do fluxo permeado são menores que o da batelada de frequência de 35 Hz, que necessariamente teria uma vazão menor. A explicação poder ser que com aumento nos valores de frequência, aumenta-se o valor de vazão de alimentação, conseqüentemente aumenta a pressão transmembrana, com isso, pode causar uma compactação maior da torta, sendo que a velocidade tangencial não seja capaz de remover por cisalhamento a camada de torta compactada. Apresentando fluxo permeado cada vez mais baixo. A batelada em que apresentou um maior fluxo permeado foi a de 35 Hz, com fluxo média de $18 \text{ L.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$.

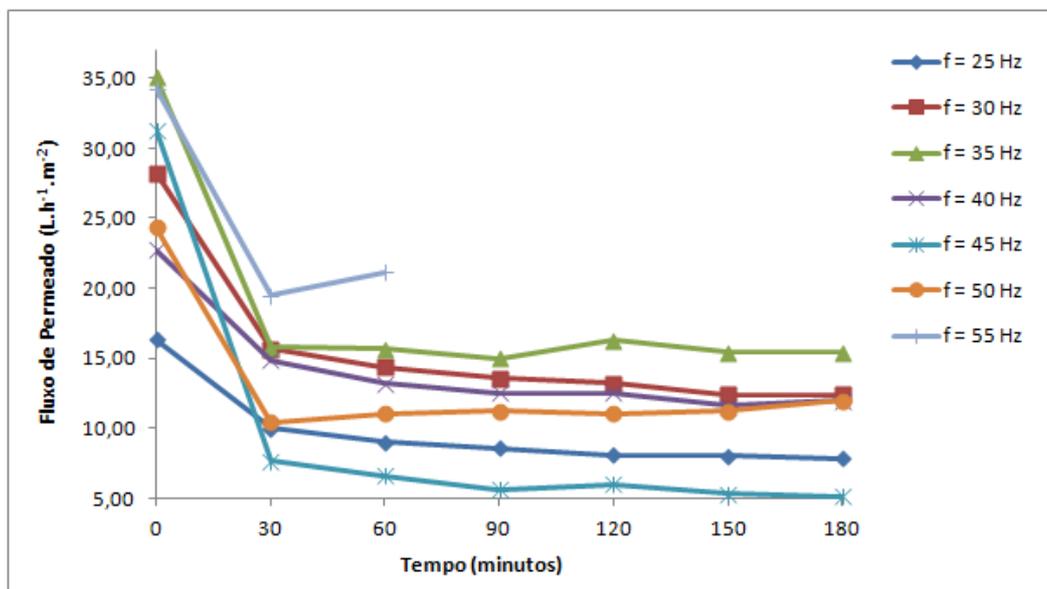


Figura 2 – Fluxo de permeado em função do período de operação da unidade piloto de microfiltração em bateladas com diferentes valores de frequências.

Constatou-se na Figura 3 aumento da temperatura do permeado durante o período de operação da unidade de microfiltração. Tal fato é usual em sistemas de microfiltração tangencial, sobretudo em escala piloto, devido à geração de calor causado por atrito e trabalho de bombeamento (VIDAL, 2006). Logo a temperatura acaba sendo um fator limitante para a operação da membrana.

Nota-se pela Figura 3 que quanto mais a bomba trabalha com valores de frequências alto, maior é o aumento da temperatura. Isto porque a bomba vai trabalhando mais próximo de sua potência nominal de fábrica e com isso transfere mais calor ao afluente de alimentação, aumentando a temperatura.

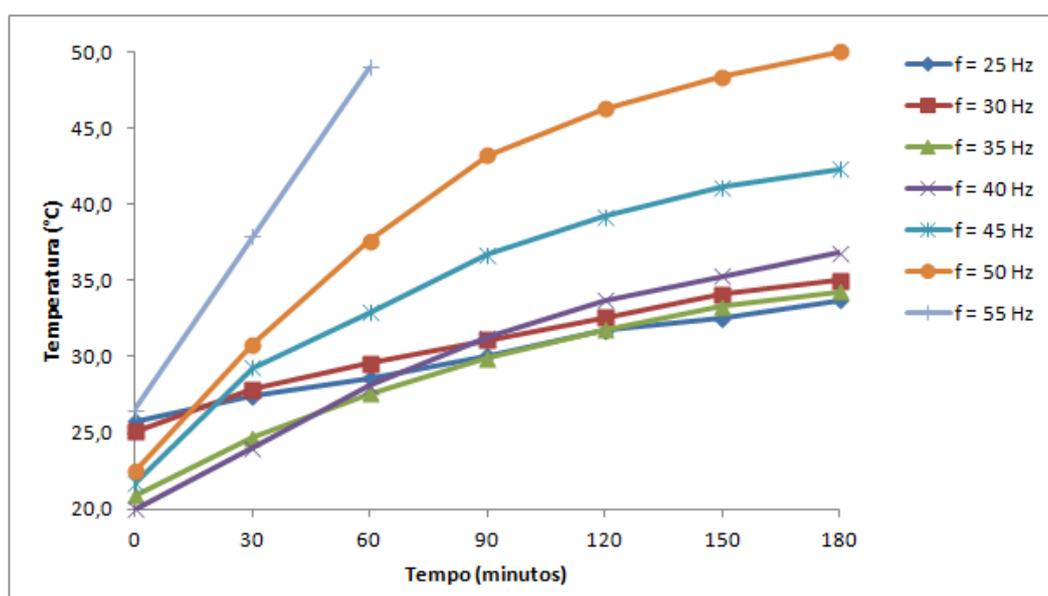


Figura 3 – Temperatura em função do período de operação da unidade piloto de microfiltração em bateladas com diferentes valores de frequências.

Segundo os dados do fabricante do módulo de microfiltração, a pressão máxima de operação é de $4,0 \text{ Kgf.cm}^{-2}$. A Tabela 2 apresenta as pressões lidas no manômetro que se encontrou entre a bomba de alimentação e a membrana, medindo assim, a pressão transmembrana, como também o fluxo permeado médio, com suas respectivas frequências de

operação programada no inversor de frequência. Nota-se que as pressões observadas no manômetro estão abaixo da pressão máxima de operação do módulo de membrana. Isso mostra que a membrana pode trabalhar com pressões maiores, consequentemente vazões maiores.

É relevante lembrar que durante a operação com frequência igual a 55 Hz e

pressão transmembrana de 1,5 Kgf.cm⁻², a elevação da temperatura se deu muito rapidamente. Portanto, para o uso maiores valores de pressão seria preciso encontrar uma forma de atenuar esse aumento rápido

de temperatura, para que a membrana opere por um período maior. A Tabela 3 apresenta as concentrações médias de permeado e alimentação, bem como as remoções obtidas nos experimentos.

Tabela 2 - Valores de pressão transmembrana e fluxo permeado observados relacionados com frequência programada no inversor de frequência.

| Frequência do Inversor (Hz) | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 |
|--|-----|------|------|------|-----|------|-----|
| Pressão lida no manômetro (Kgf.cm⁻²) | 0 | 0 | 0,25 | 1,0 | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| Fluxo de permeado médio (L.h⁻¹.m⁻²) | 9,7 | 15,7 | 18,4 | 14,2 | 9,7 | 13,1 | - |

Tabela 3 - Concentrações da alimentação e permeado obtidos na microfiltração do efluente de abatedouro de bovinos.

| Membrana de Fibra oca (microfiltração) | | | |
|--|--------------------|-----------------|--------------------|
| Parâmetros | Alimentação | Permeado | Remoção (%) |
| Turbidez (NTU) | 665 | 11 | 98 |
| DQO (mg.L⁻¹) | 1159 | 94 | 92 |
| P-PO₄³⁻ (mg.L⁻¹) | 179 | 91 | 49 |
| N-NH₄⁺ (mg.L⁻¹) | 234 | 212 | 9 |
| SST (mg.L⁻¹) | 800 | 24 | 97 |
| SSV (mg.L⁻¹) | 662 | 20 | 97 |

5. CONCLUSÕES

Para inferir-se qual é a melhor forma de operação foi preciso analisar as eficiências de remoção dos parâmetros

físico-químicos, fluxo de permeado e a temperatura do afluente de alimentação. As eficiências de remoção dos parâmetros físico-químicos foram todas satisfatórias

comparando batelada por batelada sendo assim, os parâmetros que melhor definem a operação do módulo de membrana resultaram ser o fluxo permeado e a temperatura. Analisando-se as Figuras 2 e 3, nota-se que os maiores valores de fluxo de permeado associado com menores aumentos de temperatura são apresentados pela frequência de operação igual a 35 Hz.

Conclui-se, portanto, que a microfiltração tangencial apresentou grande potencialidade para o tratamento do efluente de abatedouro de bovino em questão. Obtendo-se um efluente final de boa qualidade. Todavia, vale ressaltar há necessidade de prévio tratamento, como a coagulação, dos efluentes antes de serem encaminhados às unidades de microfiltração tangencial, com intuito de se obter melhor remoção de fósforo e maiores fluxos de permeado na referida unidade.

6. REFERÊNCIAS

- COLLE, R. D. Desemulsificação de emulsões estáveis de água e óleo de girassol por processo de filtração tangencial. 2005, 99f. **Dissertação** (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.
- HANEDA, R. N.. Investigação do desempenho de diferentes estruturas microporosas tubulares na retenção de bactérias em suspensão por microfiltração tangencial. 2006, 153f. **Dissertação** (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.
- PAM Membranas Selectivas. [200?] Disponível em: http://www.pam-membranas.com.br/index.asp?page_id=20. Acesso em: 07 de nov. de 2011.
- SCHNEIDER, R. P.; TSUTIYA, M. T. **Membranas filtrantes para o tratamento de água, esgoto e água de reúso**. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001.
- STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER**. 1998, 20ed. American Public Health Association/ American Water Works Association/ Water Environment federation, Washington DC, USA.
- VENTURINI FILHO W. G.; NOGUEIRA A. M. P., Clarificação de caldo de cana por micro e ultrafiltração: Comprovação de viabilidade técnica em experimentos preliminares, **Brazilian Journal of Food Technology**, v.10, n.1, p. 57-52, 2007.
- VIDAL, C. M. Avaliação da microfiltração tangencial como alternativa de tratamento avançado de efluente gerado em sistema de tratamento de esgoto sanitário constituído de reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) seguido de tanque de aeração. 2006, 213f. **Tese** (Doutorado) – Escola de Engenharia São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos