



ABTCP-TAPPI 2000

Congresso Internacional de Celulose e Papel
23 a 26 de Outubro de 2000
São Paulo - Brasil

Pulp and Paper International Congress
October 23rd to 26th, 2000
Sao Paulo - Brazil

ABTCP-TAPPI 2000 é um evento de grande importância para a indústria de celulose e papel no Brasil e no mundo. O congresso reunirá especialistas e profissionais de diversas áreas para discutir as tendências e desafios do setor. O evento será realizado em São Paulo, Brasil, de 23 a 26 de outubro de 2000.



ABTCP-TAPPI 2000 é um evento de grande importância para a indústria de celulose e papel no Brasil e no mundo. O congresso reunirá especialistas e profissionais de diversas áreas para discutir as tendências e desafios do setor. O evento será realizado em São Paulo, Brasil, de 23 a 26 de outubro de 2000.

ABTCP-TAPPI 2000 é um evento de grande importância para a indústria de celulose e papel no Brasil e no mundo. O congresso reunirá especialistas e profissionais de diversas áreas para discutir as tendências e desafios do setor. O evento será realizado em São Paulo, Brasil, de 23 a 26 de outubro de 2000.



ESTUDOS PRELIMINARES DE TRATAMENTO DE CONDENSADOS CONTAMINADOS DE FÁBRICAS DE CELULOSE KRAFT UTILIZANDO-SE UM BIORREATOR DE MEMBRANAS

João Carlos Teixeira Dias □ Departamento de Microbiologia do ICB - UFMG

Cláudio Mudado Silva □ Departamento de Engenharia Florestal - UFV

Valter Roberto Linardi - Departamento de Microbiologia do ICB - UFMG

RESUMO

As fábricas de celulose kraft tem um grande interesse em reduzir seu consumo de água e a geração de efluentes. Dos vários efluentes líquidos setoriais provenientes destas fábricas, os condensados contaminados originados dos evaporadores e digestores constituem uma importante fonte de lançamento. Eles contêm altas concentrações de compostos tóxicos tais como, fenóis, cetonas, guaiacóis, metanol e compostos de enxofre reduzidos. A reutilização destes condensados sofre limitações devido à sua qualidade físico-química. O tratamento mais comum destes condensados adotado atualmente na indústria é realizado através de arraste com vapor em colunas de destilação (stripping). O presente trabalho objetivou avaliar a viabilidade de tratamento biológico através de biorreatores de membranas dos condensados contaminados após a torre de destilação, de forma a complementar a redução dos contaminantes e facilitar a sua reutilização. Objetivou também verificar a viabilidade de se tratar biologicamente os condensados contaminados brutos, provenientes diretamente da evaporação e do digestor, sem o tratamento prévio nas torres de destilação. Pelos resultados preliminares iniciais, pode-se concluir que o tratamento biológico dos efluentes pré-tratados em torres de stripping e também dos condensados brutos, promoveu reduções significativas de DQO e TRS, melhorando significativamente a qualidade dos condensados, e facilitando o seu reaproveitamento. Estudos mais detalhados deste processo está em andamento no Laboratório de Celulose e Papel da UFV.

Palavras Chaves: Condensados contaminados, processo kraft, tratamento biológico, biorreator de membranas, foul condensates, kraft pulping, effluent treatment, membrane bioreactor

1. INTRODUÇÃO

As fábricas de celulose kraft utilizam uma grande quantidade de água e, conseqüentemente, geram quantidades significativas de efluentes líquidos nos seus processos. Nas últimas décadas, a indústria de celulose e papel vem sendo obrigada a modificar e adaptar seus processos de produção com o principal objetivo de melhorar seu desempenho ambiental, cumprindo as exigências ambientais legais cada vez mais restritivas e rigorosas. O consumo médio de água na indústria brasileira nos anos setenta era de aproximadamente 110 m³ por tonelada de celulose seca (110 m³/t_{sa}); este valor foi reduzido a aproximadamente 60 m³/t_{sa} nos dias atuais, sendo que algumas fábricas já operam com valores inferiores a 40 m³/t_{sa}. A indústria de celulose e papel tem um grande interesse em reduzir seu consumo de água e os seus lançamentos de efluentes não somente para cumprir a legislação ambiental, mas também para satisfazer um mercado altamente competitivo e responder a uma opinião pública cada vez mais atenta às questões ambientais. Além disso, recentemente no Brasil foi criada a lei dos recursos hídricos no. 9433, que via Agência e Comitês de Bacias, regulamentam a taxaçoão para o uso de água de bacias hidrográficas bem como para o lançamento de efluentes.

Dos vários efluentes líquidos setoriais provenientes de fábricas de celulose kraft, os condensados contaminados originados dos evaporadores e dos digestores constituem uma importante fonte de lançamento e contêm altas concentrações de compostos tóxicos tais como, fenóis, cetonas, guaiacóis, metanol e compostos de enxofre reduzido. Estudos recentes tem estimado a geração de uma vazão de condensados contaminados em torno de 900 m³/d para cada 1000 toneladas de polpa produzidas (NCASI, 1995).

A reutilização de condensados contaminados oferece um potencial para a redução do consumo de água fresca e redução na geração de efluentes, embora haja limitações na sua reutilização devido à sua qualidade físico-química. O tratamento mais comum destes condensados utilizado atualmente na indústria é feito através de arraste com vapor em colunas de destilação (stripping). Os gases removidos pela coluna são, em geral, tratados e/ou incinerados.

Por se tratar de um efluente rico em material orgânico dissolvido, o processo de tratamento biológico dos condensados contaminados pode ser uma opção atrativa, oferecendo meios de se obter condensados tratados com boa qualidade para reuso no processo. Dentre os sistemas de tratamento biológico, uma alternativa interessante para a purificação destes condensados é a adoção de sistema biológico de alta taxa, como por exemplo o sistema de lodos ativados. Estes requerem áreas relativamente pequenas, e apesar de possuírem uma operação e manutenção mais complexas do que os sistemas de lagoas, são mais facilmente integradas no processo. Por outro lado, os biorreatores de membranas (BRM) constituem uma variação do sistema de lodos ativados, sendo ainda mais compactos e possuem uma vantagem adicional de produzirem permeados completamente isentos de sólidos em suspensão, tornando-se mais interessantes para alcançar o objetivo de reutilização do efluente tratado. Este processo difere do sistema convencional dos lodos ativados por adotarem um sistema de microfiltração para separação do lodo biológico, ao invés do tradicional decantador secundário. Esta tecnologia é ainda pouco conhecida e pouco utilizada na indústria em geral e em particular na indústria de celulose e papel.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo principal a verificação da viabilidade técnica de se tratar biologicamente dois tipos de condensados contaminados, através do BRM, de forma a possibilitar a sua reutilização no processo:

- i. condensados contaminados que sofreram o tratamento prévio em torre de destilação;
- ii. condensados contaminados sem tratamento prévio, ou seja, condensados com teores altos de contaminação, coletados diretamente dos digestores e evaporadores.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Tratamento Biológico de Efluentes

Os poluentes orgânicos podem ser degradados e removidos pelos microrganismos, através de processos aeróbios ou anaeróbios, transformando-os em compostos menos tóxicos e de baixo peso molecular, como água e dióxido de carbono. Na degradação biológica geralmente ocorre um sinergismo entre os membros da microbiota indígena, onde determinada espécie são favorecidas, por utilizarem compostos secundários como fonte de energia, decorrentes do metabolismo de outras espécies (SLATER, 1978). Entre os fatores que mais afetam a eficiência do processo biodegradação de compostos químicos, podemos destacar a solubilidade destes compostos em água, a sua concentração, o seu peso molecular e outras propriedades (ALEXANDER, 1981).

Normalmente os poluentes oriundos das indústrias de celulose e papel são tratados através de sistemas biológicos aeróbios, cuja principal função é a remoção de DBO e toxicidade dos efluentes. O tratamento aeróbio é caracterizado pela transformação da matéria orgânica em dióxido de carbono e água pelos microrganismos na presença de oxigênio. A matéria orgânica oxidada é utilizada na síntese de macromoléculas e na formação de novas células. O sistema de lodo ativado aeróbio é constituído por uma variedade de microrganismos, sendo a sua grande maioria bactérias, fungos, algas, protozoários e rotíferos. Os protozoários e outros organismos superiores alimentam-se de pequenas bactérias e desta forma mantém o equilíbrio ecológico do sistema, sendo geralmente sensíveis às variações ambientais, como pH, níveis de oxigênio dissolvido (OD), temperatura e nutrientes (METCALF & EDDY, 1991). O tratamento biológico aeróbio é muito efetivo e flexível para remoção da demanda bioquímica de oxigênio

(DBO) e toxicidade se operado em condições ambientais ótimas. Os processos aeróbios mais utilizados na indústria são as lagoas aeradas e os processos de lodos ativados e suas variantes.

Poucas publicações se referem ao tratamento biológico de condensados contaminados de fábricas de celulose kraft. No entanto, já em 1977 se previa as vantagens dos sistemas biológicos para tratamento setorial destes efluentes (HOUGH et al., 1977). Neste trabalho, não foi desenvolvido qualquer experimento piloto ou laboratorial, mas apenas um estudo econômico, prevendo-se a viabilidade de remoção de 90% de DBO dos condensados através de tratamento biológico. BARTON et al. (1996) testaram com sucesso, em aparato laboratorial, o tratamento de condensados através de lodos ativados. Os testes foram realizados em condensados com níveis de concentração de DBO₅ em torno de 1000 mg/L. Problemas de perda de sólidos, devido a sedimentabilidade precária do lodo, foram observados. Mais recentemente, BÉRUBÉ et al. (1999) publicaram trabalho relativo ao tratamento biológico com altas temperaturas de condensados contaminados através de biorreatores de membranas. Este trabalho foi conduzido a nível laboratorial utilizando-se um efluente sintético, através de sistema de batelada. A eficiência na remoção de metanol até a temperaturas de 60°C foi muito boa, decrescendo substancialmente para temperaturas acima deste valor.

3.2 Biorreator de Membranas

O biorreator de membranas combina um reator biológico seguido de um sistema de microfiltração que é responsável pela separação do lodo biológico do efluente tratado. A microfiltração é feita por membranas sintéticas. Em termo gerais, as membranas podem ser definidas como sendo uma barreira, onde diferentes componentes são separados pelo seu tamanho ou por diferença de composição química. A separação por membrana é baseada no princípio, onde uma mistura de compostos podem ser parcialmente fracionada pela passagem através de uma estrutura de poros, na qual tende a impedir a passagem de um composto e permitir a passagem de outro, sendo o transporte realizado pela diferença de pressão, de concentração ou de temperatura (GLUTEK, et al., 1985; ZAIDI, et al., 1991).

As membranas podem ter diferentes propriedades físicas ou químicas, sendo classificadas de acordo com sua natureza e morfologia. De acordo com a sua natureza, as membranas podem ser classificadas como sintéticas ou biológicas, sendo as membranas biológicas essenciais para a manutenção da integridade física das células, enquanto que as membranas sintéticas são fabricadas, e podem ser de natureza orgânica ou inorgânica. As membranas inorgânicas são geralmente produzidas por três tipos de materiais: cerâmica, vidro ou componentes metálicos, apresentando um tempo de vida útil normalmente maior em relação as membranas poliméricas, além de apresentarem uma alta estabilidade térmica. As membranas orgânicas ou poliméricas são geralmente produzidas por polímeros, os quais são compostos de alto peso molecular constituídos de vários unidades básicas, denominadas monômeros. Além disso, as membranas orgânicas podem também ser divididas em membranas porosas e não-porosas. Sendo classificadas normalmente pelo tamanho de seus poros conforme Tabela 1. Sua seletividade é determinada basicamente pela dimensão de seus poros. Tipicamente, os processos utilizam a diferença de pressão como força motriz da separação são caracterizados, de acordo com o diâmetro dos poros da membrana (MULDER, 1991).

Tabela 1- Representação do espectro de filtração e com a sua relativa faixa de pressão utilizada.

Espectro	Tamanho do poro (μm)	Peso molecular (Daltons)	Pressão (KPa)
Microfiltração	0,1 \square 10	—	70 \square 350
Ultrafiltração	0,002 \square 0,1	—	170 \square 850
Nanofiltração	—	500 \square 20,000	500 \square 1500
Osmose reversa	—	< 500	3500 \square 5000

A eficiência da separação depende não somente das características da membrana, mas também da temperatura, pressão, velocidade e concentração do fluido na superfície da membrana. O pH constitui, também, um importante parâmetro da filtração.

O tratamento de efluentes utilizando-se o biorreator de membranas é um campo atrativo para aplicação na indústria de papel e celulose. DUFRESNE et al. (1996) comparou a eficiência entre um biorreator de membranas com um sistema convencional de tratamento com lodos ativados, para o tratamento de

efluentes de polpa de celulose quimiotermomecânica. Os resultados experimentais indicaram que a performance do BRM foi superior ao dos lodos ativados convencional. Os resultados também demonstraram um menor custo para remoção de DQO, sólidos em suspensão, e toxicidade com 48h-LC₅₀ para *Daphnia magna*.

SILVA et al. (1998) demonstraram a viabilidade do uso de um biorreator de membranas submersas (microfiltração) para o tratamento de água branca proveniente de uma máquina de cartão. Foi obtida uma excelente remoção de DQO (95%) e DBO₅ (99%) e concluiu-se que a reutilização do efluente tratado seria tecnicamente viável.

4- MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Aparato Laboratorial

Os experimentos de biotratabilidade dos condensados contaminados foram realizados num reator de 5 L de capacidade, contendo membranas submersas de 0,2 µm de diâmetro de medida de poro fabricadas pela Zenon Environmental Inc. do Canadá, conforme apresentado na Figura 1.

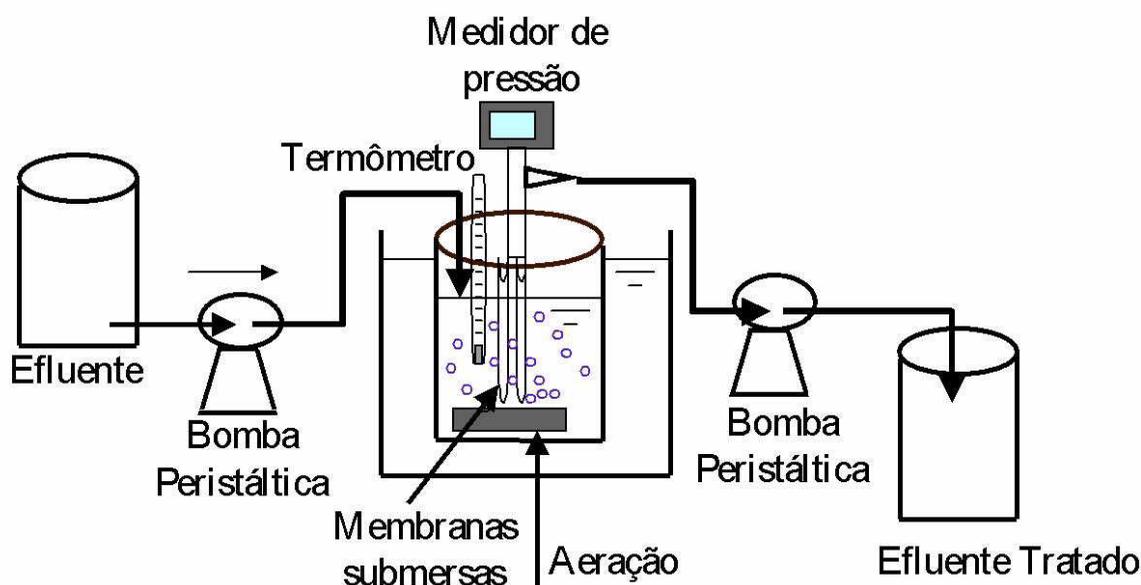


Figura 1- Esquema geral do sistema de tratamento dos condensados utilizando um biorreator termofílico de membrana.

4.2 Condensados Contaminados

Dois tipos de condensados contaminados, provenientes de uma fábrica kraft, foram testados: o primeiro (Condensado 1) coletado após tratamento numa torre de destilação (stripping), apresentando um valor de DQO em torno de 1100 mg/L; e o segundo (Condensado 2) coletado antes da torre de destilação formado pelos condensados gerados pelos digestores e pelas frações sujas do 5º e 6º estágios da evaporação, apresentando uma DQO em torno de 4500 mg/L.

4.3 Métodos Analíticos

A DQO, DBO, sólidos suspensos voláteis (SSV) e os compostos de enxofre reduzidos (TRS) foram determinados segundo a sistemática recomendada pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1989). A frequência de amostragem foi, em geral, de duas vezes por semana, com intervalos de três dias entre amostras.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Aclimação dos Microrganismos aos Condensados

Com o objetivo de se desenvolver uma microbiota específica para a condição ambiental extrema dos condensados, foi utilizado como inóculo inicial amostras de lodo ativado proveniente da estação de tratamento biológico de efluente de uma indústria celulose kraft. Um volume de 50% de lodo ativado foi utilizado como inóculo, e mantido sob a temperatura de 35°C. Esta temperatura foi escolhida por se tratar da temperatura de crescimento ótima para microrganismos mesofílicos. Devido à falta de nitrogênio e fósforo dos condensados, nutrientes essenciais ao crescimento biológico, estes foram acrescidos na proporção de BOD₅ : N : P igual a 100 : 5 : 1.

O período de aclimação do condensado 1 foi feito com alimentação em batelada, procurando-se manter a concentração de DQO dentro do biorreator em torno de 500 mg/L. Este procedimento foi adotado para se evitar cargas de choque no sistema, e consequentemente prevenir a perda da microbiota ainda não aclimatada, devido à toxicidade do efluente. A cultura mista microbiana foi considerada como aclimatada quando a taxa de remoção da DQO atingiu o máximo e se tornou constante. O pH da solução no reator foi mantido em torno de 7,0, utilizando-se, quando necessário, um volume apropriado de ácido sulfúrico. As medidas da temperatura, pH no reator, foram realizadas diariamente. A Figura 2 apresenta a curva de remoção da DQO durante o período. Observa-se que houve um aumento gradativo da remoção de DQO em apenas seis dias, alcançando no sexto dia uma remoção total de DQO da ordem de 95%.

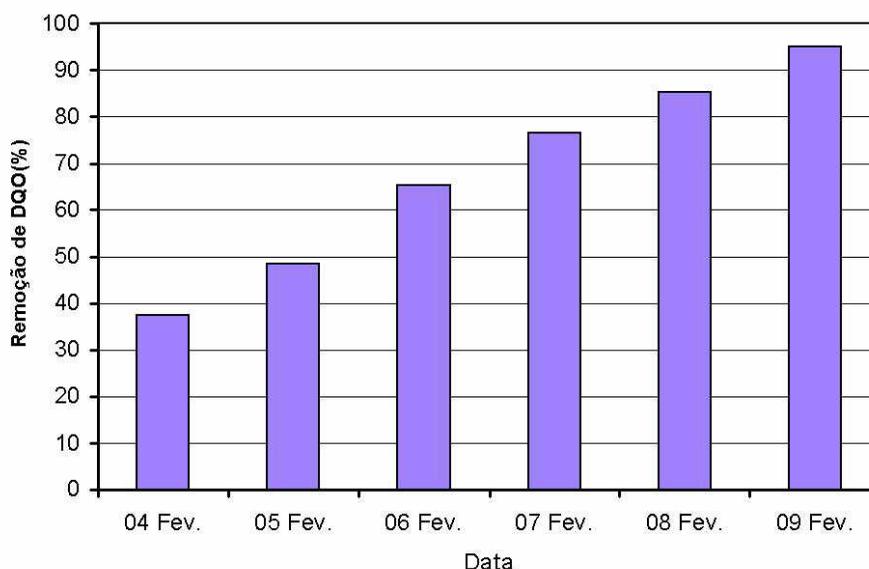


Figura 2 □ Eficiência de remoção de DQO pelo BRM com alimentação em batelada durante aclimação do condensado 1 (DQO = 1100 mg/L)

Após este período de aclimação com alimentação em batelada, o biorreator foi operado com alimentação contínua com uma vazão de 11,4 mL/min, o que corresponde a um tempo de retenção hidráulico de 7,3 horas e uma carga de DQO de 3,6 kg/m³/d. Durante o período de teste, as amostras foram retiradas para as análises quantitativas de DQO e de compostos de enxofre reduzidos totais (TRS). A Figura 3 apresenta a curva de remoção da DQO e TRS durante este período de aclimação com fluxo contínuo. Observa-se que os dias 10/02 e 11/02, as remoções foram excelentes (95% de DQO e 100% de TRS). Aumentou-se, então, o fluxo para 19 mL/min, acarretando, consequentemente, a redução do tempo de retenção hidráulica para 4,5 horas e o aumento da carga de DQO para 6,0 kg/m³/d. Foi, então, observada uma queda na eficiência de remoção de DQO para 67% e de 89% para TRS. No entanto, as eficiências de remoção de DQO e de TRS foram-se gradativamente aumentando (dias 12/02 a 18/02), até alcançar valores de 95% e 100%, respectivamente. Ressalta-se que concentração da biomassa no reator, expressa pela concentração de sólidos suspensos voláteis, estava relativamente baixa neste período, com valores de 740 mg/L no dia 10/02 e aumentando para 902 mg/L no dia 18/02.

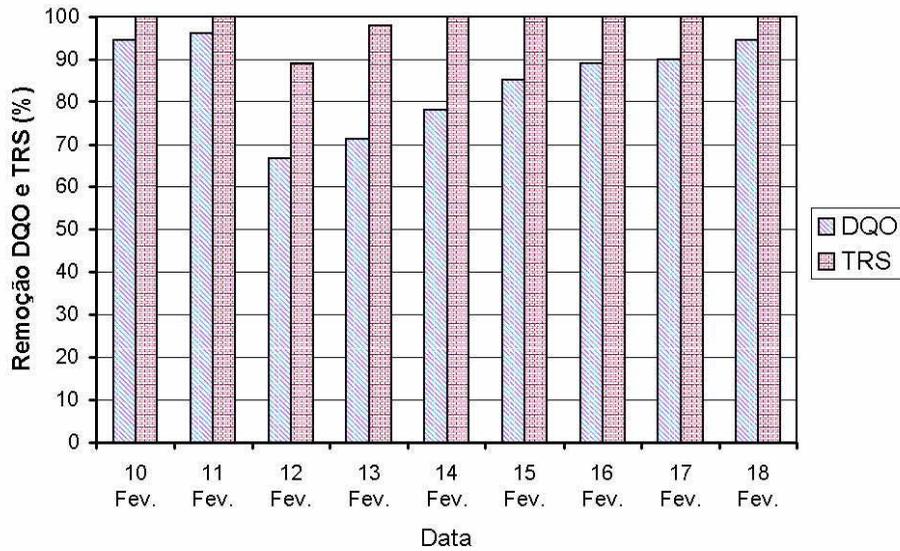


Figura 3 □ Eficiência de remoção de DQO e TRS pelo BRM com alimentação contínua durante aclimação do condensado 1 (DQO = 1100 mg/L)

Para o condensado 2, como a microbiota já estava adaptada a este tipo de efluente, o processo de aclimação ocorreu somente com fluxo contínuo. Inicialmente aplicou-se uma carga de DQO igual a 1,94 kg/m³/d, equivalente a uma vazão de 1,5 mL/min. Constatou-se que a eficiência se manteve bastante alta, ou seja, remoções de 97% de DQO e 100% de TRS (dia 20/02). Assim, aumentou-se a vazão para 4 mL/min, correspondendo a uma carga de DQO de 5,2 kg/m³/d, e um tempo de retenção hidráulico de aproximadamente 20,8 horas, quando foi observado uma queda significativa nas eficiências de remoção da DQO para 60% e de TRS para 78%. Mais uma vez, o sistema se recuperou, na medida em que a microbiota se adaptava à nova carga de efluente. Após 6 dias, as eficiências de remoção de DQO e de TRS retornaram para os mesmos níveis ótimos alcançados anteriormente no condensado 1, ou seja, 92% de DQO e 100% de TRS. Ao final deste período a concentração de biomassa no reator já se encontrava com valores de 3000 mg/L, compatíveis com sistemas de lodos ativados convencional. Estas observações podem ser visualizadas na Figura 4.

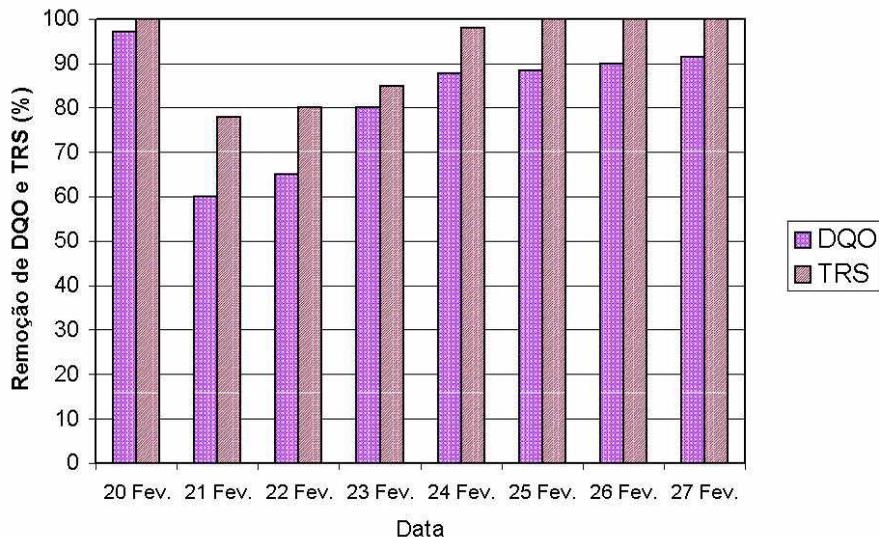


Figura 4 - Eficiência de remoção de DQO e TRS pelo BRM com alimentação contínua durante aclimação do condensado 2 (DQO = 4500 mg/L)

5.2 Remoção de DQO, DBO₅ e TRS

A Tabela 1 apresenta as características do efluente, permeado, lodo biológico e eficiência de remoção de DQO, DBO₅ e TRS dos dois tipos de condensados usados. Estes resultados representam a média dos valores experimentados, após a aclimação do lodo. Pode-se observar que houve uma remoção completa do composto de enxofre reduzidos (TRS) para ambos os condensados. A remoção de DQO foi bastante alta para o condensado 1 (94,5%) e um pouco menor para o condensado 2 (92,0%). A DBO₅ do condensado 2 foi praticamente eliminada, mostrando o alto nível de compatibilidade da biomassa com o efluente. Vale ressaltar que estes valores expressam a eficiência do sistema ainda em fase de aclimação, ou seja, não foi contemplado uma otimização dos parâmetros operacionais do BRM, que é objeto futuro deste trabalho.

Efluente		SSV (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	TRS (mg/L)
Condensado 1	Lodo	900	-	-	-
	Alimentação	-	-	1100	145
	Permeado	-	-	61	0*
	Eficiência (%)	-	-	94,5	100
Condensado 2	Lodo	3000	-	-	-
	Alimentação	-	3900	4500	300
	Permeado	-	7	360	0*
	Eficiência (%)	-	99,8	92,0	100

0* - valor não detectável pela metodologia utilizada

5.3 Observações microscópicas do lodo

Através de observações microscópicas, foi constatado que o lodo biológico utilizado como inóculo apresentava flocos bacterianos dispersos, com o predomínio de células filamentosas em relação às outras formas celulares (cocos e bacillus), e uma quantidade insignificante de protozoários e leveduras. Após o período de aclimação do lodo aos condensados, observou-se uma mudança significativa da microbiota no reator. Ocorreu um total desaparecimento das células filamentosas. Pequenos flocos bacterianos com o predomínio de células gram negativos foram formados. Observou-se, também, a presença de organismos leveduriformes e outras formas não identificadas. Os flocos formados apresentavam estrutura frágil e sedimentabilidade precária, possivelmente devido à ausência de filamentosas. No entanto, este comportamento do lodo não chegou a comprometer a eficiência do sistema devido ao fato da separação líquido/sólido do biorreator ser feita através de filtração por membranas.

6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelos resultados preliminares obtidos, foi verificada a viabilidade do tratamento biológico de condensados contaminados provenientes de torres de destilação, através de um biorreator de membranas. Através de testes laboratoriais, foram alcançadas remoções de DQO e TRS bastante significativas, que certamente poderão auxiliar na reutilização deste efluente como água industrial.

O tratamento de condensados contaminados brutos, ou seja, aqueles sem tratamento prévio, também se mostrou viável, com altas eficiências de remoção de TRS e DQO. A adaptação da biota frente a estes condensados foi excelente. Durante o tratamento destes condensados, houve uma alteração gradual e significativa na microbiota do reator, em relação à microbiota previamente inoculada. As bactérias filamentosas, presentes no lodo inicialmente utilizado, desapareceram completamente do sistema. Pequenos flocos bacterianos com o predomínio de células gram negativos foram formados. A estrutura destes flocos pareceu frágil e de difícil decantabilidade. Tais aspectos, no entanto, não comprometeram a eficiência do sistema pois, por se tratar de um biorreator de membranas, a separação sólido/líquido independe da capacidade de floculação do lodo.

Estudos sobre a cinética microbiana e das condições ótimas de operação do BRM estão em andamento no Laboratório de Celulose e Papel da UFV.

Vale ressaltar, também, que a eficiência dos processos de separação através de membranas pode ser medida basicamente por dois parâmetros: a seletividade e taxa de permeabilidade ou fluxo. O entupimento e a diminuição do fluxo são os problemas mais importantes nesta tecnologia. O entupimento acarreta uma diminuição significativa do fluxo através das membranas que, por sua vez, possui considerável influência no aspecto econômico deste processo. Estudos sobre a taxa de permeabilidade do lodo biológico estão também em progresso no Laboratório de Celulose e Papel da UFV.

Os principais pontos para reutilização dos condensados tratados, incluindo a lavagem da polpa no branqueamento, lavagem da polpa marrom, caustificação, etc., serão também objeto de estudos complementares a este trabalho.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMIG e Federação das Indústrias e Comércio de Minas Gerais (FIEMG) pela bolsa de estudos concedida à João Carlos Teixeira Dias, à Zenon Environmental Inc. do Canadá pelo fornecimento das membranas e à CENIBRA - Celulose Nipo-Brasileira S.A pelo fornecimento dos condensados.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 17 th ad. Am Publ Hlth Assoc. Washington, DC. 1989.
- ALEXANDER, M. Biodegradation: Problems of molecular recalcitrance and microbial fallibility. Adv. in Appl. Microbiol., V. 7, pp. 35-80, 1981.
- BARTON, D. A.; BUCKLEY, B. B.; Lee, J. W.; Jett, S. W.; Biotreatment of kraft mill condensates for reuse. Proceedings of TAPPI Minimum Effluent Mills Symposium, 1996, Atlanta, U.S.A., p. 277
- GLUTEK, B. D.; COTE, P. L.; DEUTSCHMANN, A. [Membrane Technology], Zenon Environmental Inc., internal., Report. 1985.
- HOUGH, G. W.; Salle, R. W.; Treatment of Contaminated Condensates. TAPPI Journal, February 1977, Vol.60, No.2, p. 83 □ 86.
- METCALF & EDDY, Inc., Wastewater Engineering: Treatment, Disposal & Reuse, McGraw-Hill International Editions, McGraw-Hill Brook Co., Singapore, 1991.
- MULDER, M.; Basic Principles of Membrane Technology, Kluwer Academic Publishers, Philip Drive, Norwell, MA, U.S.A, p.101, 1991.
- NCASI. Acetaldehyde, acetone, methanol and methyl ethyl Ketone contents of kraft mill condensates, NCASI Techn. Bull. No. 702, 1995.
- SILVA, C. M.; REEVE, D. W.; WOODHOUSE, K. A. HUSAIN, H. & BEHMANN, H. TAPPI Environ. Conf Proceed. , TAPPI PRESS, Atlanta, p. 1035-1044, 1998.
- SLATER, J. H. Microbial communities in the natural environment. In The Oil Industry and Microbial Ecosystems. Eds.K. W. Chater & H. S. Somerville, Heyden and Sons, London, pp. 137-154, 1978.
- ZAIDI, A. BUISSON, H.; SOURIRAJAN, S. Ultrafiltration in the Concentration of Toxic Organic from Selected Pulp Effluents□ TAPPI Environ Conf., pp. 453-468, 1991.