

## II-039 - COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DE BIORREATORES COM MEMBRANAS COM E SEM LEITO MÓVEL PARA TRATAMENTO DE VINHOTO

**Laura Hamdan de Andrade** <sup>(1)</sup>

Engenheira Química pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestre e doutoranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG.

**Leidiane Santana Santos** <sup>(1)</sup>

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG.

**Mariana Souza** <sup>(1)</sup>

Graduanda em Engenharia Química pela UFMG.

**Jonathan Cawetierre Espíndola** <sup>(1)</sup>

Graduando em Engenharia Ambiental pela UFMG.

**Míriam Cristina Santos Amaral** <sup>(1)</sup>

Engenheira Química pela UFMG, mestre e doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG. Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

**Endereço** <sup>(1)</sup>: Av. Antônio Carlos, 6627, Escola de Engenharia, Bloco 1, sala 4402 - Pampulha - Belo Horizonte - Minas Gerais - CEP: 31270-901 - Brasil - Tel: (31) 3409-1714 - e-mail: [lauraha@ymail.com](mailto:lauraha@ymail.com)

### RESUMO

O vinhoto, resíduo líquido do processo de destilação do caldo ou melão de cana-de-açúcar fermentado, apesar de ser rico em nutrientes necessários à recomposição dos solos agrícolas, pode causar diversos problemas ambientais quando atinge os corpos d'água, devendo, portanto, receber tratamento adequado. Nesse trabalho, dois biorreatores com membranas, com e sem o preenchimento com meio suporte móvel, foram avaliados para o tratamento desse efluente. Ambos os reatores apresentaram elevadas eficiências de remoção de DQO (média de 94% e 92% para os BRMs com e sem meio suporte, respectivamente) e cor (média de 93% e 91% para os BRMs com e sem meio suporte, respectivamente). Apesar de as eficiências médias do BRM com meio suporte terem sido superiores, os resultados não puderam ser considerados estatisticamente diferentes. Foi observada maior concentração de sólidos suspensos voláteis para o BRM convencional, porém a massa total de sólidos no BRM com meio suporte foi superior devido ao crescimento dos microrganismos aderidos. Em relação à incrustação das membranas, foi observado que, ao contrário do esperado, o BRM convencional apresentou melhor desempenho, o que pode ser devido às características mais incrustantes do líquido reacional do BRM com meio suporte.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tratamento de vinhoto, Biorreator com membranas, Biofilme em leito móvel, Incrustação.

### INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior exportador mundial de cana-de-açúcar, açúcar e álcool, e é o principal país do mundo a implantar, em larga escala, um combustível renovável alternativo ao petróleo. Segundo a Confederação Nacional das Indústrias (CNI, 2012) existem 441 unidades fabris que produzem açúcar e etanol em todo o país, das quais 153 são destinadas a produzir exclusivamente etanol, 20 unidades que produzem somente açúcar, e outras 268 usinas mistas, que fabricam tanto açúcar como etanol. O setor possui grande importância econômica, social e ambiental, sendo grande gerador de ocupação no meio rural, com geração de divisas e produção de energia renovável e limpa.

Apesar da contribuição para o crescimento sócio-econômico com geração de empregos e riquezas, a indústria sucroalcooleira também se destaca pelo seu alto potencial poluidor. Além dos impactos decorrentes da monocultura da cana-de-açúcar, como empobrecimento do solo e poluição do ar, através das queimadas, a indústria sucroalcooleira gera grande quantidade de resíduos em seus processos que podem desencadear vários impactos ao meio ambiente quando gerenciados de forma incorreta.

Os principais subprodutos da produção de etanol são o bagaço e o vinhoto. O vinhoto, também conhecido como vinhaça, é o resíduo líquido do processo de destilação do caldo ou melaço de cana-de-açúcar fermentado para obtenção de etanol e bebidas alcólicas. Para cada litro de etanol, cerca de 15 litros de vinhoto são gerados (VAN HAANDEL, 2005). Esse efluente é rico em nitrogênio, fósforo, potássio e sulfatos, necessários à recomposição dos solos agrícolas da agroindústria. Além disso, apresenta elevada carga orgânica, entre 25.000 e 65.000 mg/L de DQO (MACHADO, 2009).

Devido ao potencial fertilizante do vinhoto muitas indústrias utilizam-no na fertirrigação dos canaviais, entretanto a alta concentração de material orgânico biodegradável pode provocar a queima das folhas das canas, assim sua aplicação só pode ser feita após o corte. Outro obstáculo para a aplicação no solo é a alta concentração de potássio, limitando-o a uma taxa de aplicação de 600 m<sup>3</sup>/ano (VAN HAANDEL, 2000). Assim, diversos estudos vêm sendo realizados buscando alternativas para a disposição do vinhoto, incluindo o desenvolvimento de novas formas de tratamento que permitam o enquadramento para lançamento nos cursos d'água ou o reuso dentro da própria indústria, que apresenta elevado consumo de água.

Nesse sentido, os biorreatores com membranas são uma das tecnologias mais promissoras para o tratamento desses efluentes. Nesses sistemas, que consistem na associação de reatores biológicos com processos de separação por membranas normalmente de micro ou ultrafiltração, como a biomassa é totalmente retida pela membrana, a qualidade do efluente tratado (permeado) não depende das características de sedimentabilidade do lodo. Além disso, os BRMs conseguem operar com maiores concentrações de sólidos suspensos e maiores idades do lodo que os sistemas convencionais como lodos ativados. As vantagens dessas condições são a menor produção de lodo, o que ocasiona uma redução dos custos com instalação, tratamento e disposição final do lodo, e a redução do volume do reator. Ademais, os BRMs são sistemas modulares, o que facilita seu escalonamento, e que possuem baixa sensibilidade à variação de carga, tão comuns em efluentes industriais.

Apesar das claras vantagens frente aos sistemas de tratamento convencionais, a incrustação das membranas ainda limita o crescimento das aplicações dessa tecnologia. A incrustação das membranas leva a um aumento da resistência à filtração, o que ocasiona elevação da pressão para promover a permeação e aumento da frequência de limpeza das membranas, causando assim aumento dos custos operacionais. A incrustação em BRMs está relacionada a diversos fatores, sendo um dos mais importantes a concentração e as características da biomassa dispersa no meio, que pode causar incrustação das membranas por formação de torta, biofilme ou bloqueio de poros (MENG et al., 2007).

Yigit et al. (2008) observaram uma forte correlação entre concentração de sólidos suspensos no lodo de um BRM e a incrustação resultante. Trussell et al. (2007) observaram redução da permeabilidade com o aumento da concentração de SSV do lodo de 8 para 18 g/L. Maximous e colaboradores (2008) também verificaram que a incrustação das membranas é predominantemente governada pela concentração de sólidos suspensos do BRM, o que também afeta a quantidade e as características dos produtos microbianos solúveis e as substâncias poliméricas extracelulares, outro fator importante para a incrustação das membranas.

Dessa forma, a associação de biorreatores com membranas com a tecnologia dos reatores de leito móvel com biofilme (MBBR) parece ser uma alternativa promissora para a melhora do desempenho de ambos os sistemas. Os MBBR consistem em reatores que combinam biomassa em suspensão e aderida a um meio suporte móvel. Assim, esse tipo de sistema apresenta vantagens como maior compactidade, maior eficiência de remoção de nutrientes, maior flexibilidade, estabilidade operacional e possibilidade de operar com maiores cargas orgânicas (RUSTEN et al., 1995).

A associação dos MBBR com os BRM é promissora pois pode levar à redução da incrustação das membranas, uma vez que parte da biomassa cresce aderida ao meio suporte, reduzindo a concentração de sólidos suspensos, porém sem perda de eficiência de remoção de poluentes (YANG et al., 2012). Portanto, os biorreatores com leito móvel e membranas tem o potencial de utilizar as melhores características de ambos os sistemas, resultando em uma unidade compacta e eficiente (IVANOVIC e LEIKNES, 2008).

Assim, o objetivo desse trabalho foi comparar, em termos de remoção de poluentes e incrustação das membranas, o desempenho de um BRM convencional e de um BRM preenchido com o meio suporte móvel dos MBBR para tratamento de vinhoto.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Efluente de destilaria

Para realização dos experimentos, foi utilizado vinhoto de caldo de cana de açúcar fornecido pela Usina Irmão Malosso Ltda. localizada no município de Itápolis/SP. O efluente foi armazenado em recipientes plásticos de 50 litros em uma câmara fria a 4°C para evitar sua deterioração. O mesmo era removido da câmara fria um certo tempo antes da alimentação nos sistemas biológicos para que atingisse a temperatura ambiente.

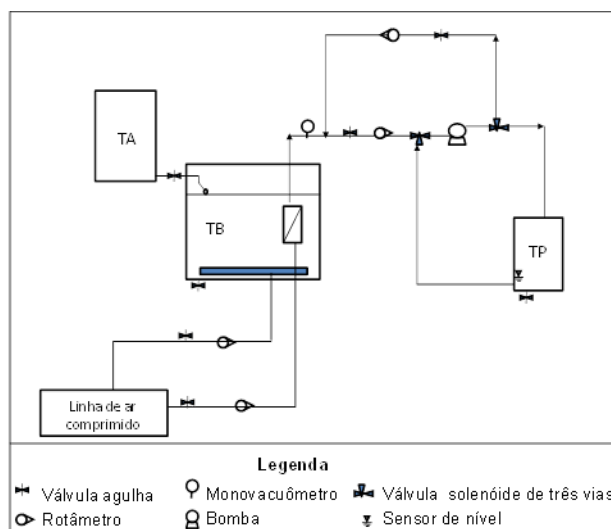
A Tabela 1 apresenta a média dos principais parâmetros físico-química do vinhoto utilizado, de acordo com Mota (2012).

**Tabela 1: Caracterização do vinhoto bruto. Fonte: Mota (2012)**

| Parâmetro                          | Valor   |
|------------------------------------|---------|
| DQO total (mg/L)                   | 15.497  |
| DQO solúvel (mg/L)                 | 11.776  |
| DBO total (mg/L)                   | 6.150   |
| DBO solúvel (mg/L)                 | 5.100   |
| DBO <sub>t</sub> /DQO <sub>t</sub> | 0,40    |
| DBO <sub>s</sub> /DQO <sub>s</sub> | 0,43    |
| COT (mg/L)                         | 3.453   |
| NT (mg/L)                          | 50,7    |
| N-NH <sub>3</sub> (mg/L)           | 1,0     |
| Fósforo total (mg/L)               | 125,7   |
| Cor real (uH)                      | 852,2   |
| Turbidez (UNT)                     | 3.438   |
| pH                                 | 3,9     |
| Condutividade (mS/cm)              | 4,8     |
| Ácidos graxos voláteis (mgHAc/L)   | 2.160   |
| Sólidos totais (g/L)               | 11,11   |
| Sólidos suspensos (g/L)            | 2,99    |
| Sulfato (mg/L)                     | 319,5   |
| Potássio (mg/L)                    | 1.587,4 |

### Biorreatores com membranas

Nesse trabalho, foram avaliados dois BRMs aeróbios em escala de bancada operando em paralelo e recebendo o mesmo efluente como alimentação. Os dois BRMs possuíam módulos de membranas de microfiltração (polímero base polieterimida, abertura média dos poros de 0,4 µm, área de membrana de 0,0125 m<sup>2</sup>, densidade de empacotamento 500 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>) tipo fibra oca submersos. Os módulos possuíam ainda pequenos furos sob a base que permitiam a realização da aeração entre as fibras da membrana visando à redução da incrustação. Os BRMs eram constituídos de três tanques de acrílico (um tanque de armazenamento de alimentação (TA), um tanque biológico (TB) e um tanque para armazenamento de permeado (TP)), uma bomba diafragma usada para promover tanto a microfiltração quanto a retrolavagem, válvulas solenóides de três vias, válvulas agulha para ajuste de vazão, sensor de nível no tanque de permeado, rotâmetros indicadores de vazão de permeado, de retrolavagem e de ar, indicador de pressão de sucção do permeado e de retrolavagem e um skid com o painel elétrico para controle automático das operações de permeação e retrolavagem (Figura 1).



**Figura 1: Esquemas dos BRMs de bancada.**

Em um dos BRMs, foi acrescentado no reator biológico peças de meio suporte móvel. O meio suporte usado nessa pesquisa foi fabricado e fornecido pela empresa AMBIO Engenharia. As peças são formadas por um anel de polietileno, cilíndrico, com diâmetro externo de 25mm, altura de 25 mm, com ranhuras externa e com divisões em sua parte interna, como mostra a Figura 2. A densidade média do suporte é de 1 g/cm<sup>3</sup>, o índice de vazios é de 82% e cada peça possui uma área superficial total 0,0116 m<sup>2</sup>. Foram acrescentadas 190 peças no tanque biológico do BRM, equivalente a uma área superficial total de 2,204 m<sup>2</sup> e um volume ocupado de 1 litro.



**Figura 2: Fotografia do meio suporte utilizado.**

Os dois BRMs, com e sem meio suporte, foram inoculados com lodo proveniente do reator de lodos ativados da Estação de Tratamento de Esgotos Arrudas (Belo Horizonte, MG) da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA). Os reatores passaram inicialmente por um período de aclimação objetivando a aclimação dos microrganismos às condições do novo efluente que estavam recebendo e o início do crescimento do biofilme no meio suporte do BRM com leito móvel. Nesse período, os reatores operaram sem membranas e em batelada. Para isso, a cada 3 a 5 dias, o sistema de aeração dos reatores era desligado e era permitido que a biomassa presente se sedimentasse. Após a sedimentação do lodo, 0,5 a 1,0 litro de sobrenadante era removido, correspondendo ao efluente tratado, e igual volume de vinhoto bruto era acrescentado. Essa etapa de aclimação teve duração de 34 dias.

Após esse período, os módulos de membrana foram inseridos nos BRMs e os mesmos passaram a operar em regime contínuo com as condições de operação contidas na Tabela 2. O volume útil de lodo foi mantido em 4 litros, portanto o BRM com meio suporte apresentou 20% de enchimento com o meio suporte.

**Tabela 2: Principais parâmetros de operação dos BRMs**

| Parâmetro                              | Valor                                |
|--|--------------------------------------|
| Vazão de operação                      | 0,1 L/h                              |
| Fluxo de permeado                      | 8 L/h.m <sup>2</sup>                 |
| Tempo de detenção hidráulica           | 40 horas                             |
| Idade de lodo                          | 60 dias                              |
| Taxa de aeração específica da membrana | 40 Nm <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> |
| Retrolavagem                           | 15s/15min                            |
| Vazão de retrolavagem                  | 0,25 L/h                             |

#### Monitoramento do processo

Os sistemas operaram com fluxo de permeado constante e pressão variável, e a variação da mesma ao longo da operação foi monitorada. Ademais, durante a operação dos BRMs, alíquotas da alimentação e do permeado dos dois BRMs eram coletadas e caracterizadas em relação à concentração de DQO e cor (Spectrophotometer Hach DR2800). Alíquotas do lodo eram também coletadas periodicamente para análise de sólidos suspensos. Todas as análises foram realizadas em conformidade com as recomendações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005).

Para o reator com leito móvel, foi também analisado a massa de sólidos aderidos no meio suporte. Para isso, o reator era fortemente aerado, para promover uma maior mistura, e duas peças eram retiradas de maneira aleatória. As peças eram colocadas em um cadinho e levadas para estufa, onde permaneciam a 100°C por um período de 3 horas. Depois, o cadinho contendo as peças era colocado em um dessecador até seu resfriamento e, posteriormente, era pesado. As peças eram removidas e lavadas em água corrente com fricção e imersas em banho com hipoclorito de sódio por 24 horas para desprendimento do biofilme. Após a limpeza das peças, elas eram colocadas no mesmo cadinho, levados à estufa a 100°C por 1 hora, resfriados e pesados. A diferença entre as duas medidas de peso obtidas equivale à massa total de sólidos aderidos nas duas peças, e a multiplicação desse valor pelo número de peças totais inseridas inicialmente no reator fornece a massa total de sólidos aderidos. Essa análise era realizada em duplicata.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Aclimação

A Tabela 3 apresenta os resultados de concentração de sólidos suspensos voláteis (SSV) do lodo e concentrações de DQO do vinhoto bruto e do efluente tratado para o período inicial de aclimação, em que os reatores foram operados sem membrana e em batelada.

**Tabela 3: Concentração de sólidos e DQO durante o período de aclimação para os dois reatores avaliados.**

| Parâmetro   | Reator com meio suporte | Reator sem meio suporte |
|---|-------------------------|-------------------------|
| SSV do lodo inicialmente inoculado (mg/L)                           | 5.212                   | 5.212                   |
| SSV do lodo ao final da aclimação (mg/L)                            | 1.133                   | 8.125                   |
| Massa de sólidos totais por peça após a aclimação (mg)              | 174                     | -                       |
| DQO do efluente alimentado (vinhoto) (mg/L)                         | 17.154                  | 17.154                  |
| DQO filtrada média do efluente tratado ao final da aclimação (mg/L) | 884                     | 927                     |
| Eficiência média de remoção de DQO ao final da aclimação            | 95%                     | 95%                     |

O lodo inicialmente inoculado nos BRMs possuíam concentração de 5.212 mgSSV/L, porém após o período de aclimação, a concentração de SSV no BRM sem meio suporte móvel era de 8.125 mg/L. Uma vez que a

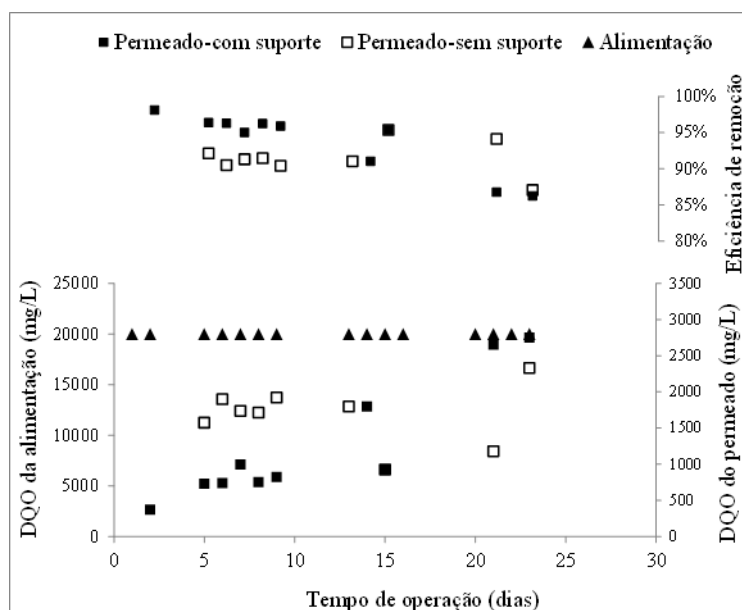
concentração de DQO do vinhoto é muito superior a dos esgotos domésticos, era esperado que inicialmente a biomassa sofresse um choque de carga ao passar pela mudança do efluente alimentado. Esse choque de carga leva à morte de microrganismos e à redução na concentração de SSV. Porém o aumento da concentração de lodo observado depois de decorridos 34 dias do início da alimentação de vinhoto no reator mostra que os microrganismos foram capazes de se acostumar às novas condições e reestabelecer seu crescimento, comprovando a eficiência da etapa de aclimação. Isso também pode ser observado através das altas eficiências de remoção de DQO obtidas ao final do período.

Por outro lado, a concentração de SSV no reator com suporte sofreu uma queda ao longo da aclimação. Porém, isso não pode ser entendido como um indicativo de que a aclimação não ocorreu nesse reator, já que as suas eficiências de remoção de DQO foram igualmente elevadas. Essa queda na concentração de sólidos suspensos está relacionada à aderência dos microrganismos ao meio suporte, que ao final do período de aclimação apresentou uma massa de sólidos aderidos de 174mg/peça. Como havia 190 peças no reator, isso equivale a uma massa total de aproximadamente 33,1g de sólidos suspensos, superior à massa de 20,8g inicialmente inoculada.

### Operação dos dois BRMs

Após a etapa de aclimação, teve início a operação contínua dos reatores com membranas.

A Figura 3 apresenta as concentrações de DQO da alimentação e dos permeados dos dois BRMs e as respectivas eficiências de remoção. A DQO da alimentação dos dois BRMs é igual pois consistia no mesmo efluente.



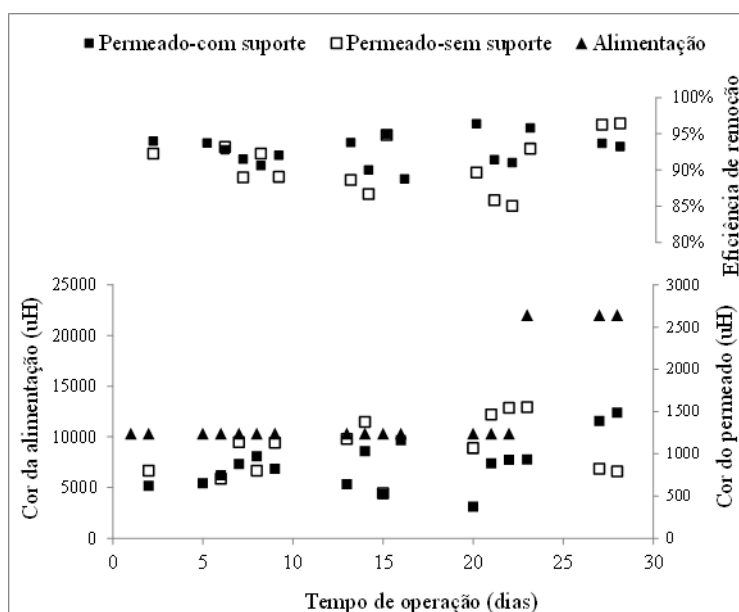
**Figura 3: Eficiências de remoção e concentrações de DQO da alimentação e dos permeados dos BRMs com e sem meio suporte**

Os BRMs apresentaram elevada capacidade de remoção de matéria orgânica, apresentando remoções de DQO médias de 93,7% e 91,5% para os BRMs com e sem suporte, respectivamente, mesmo operando com alta carga orgânica volumétrica (12 kgDQO/m<sup>3</sup>.dia). Isso pode ser justificado pela alta biodegradabilidade do efluente (MOTA et al., 2011) e pela elevada quantidade de biomassa nos reatores. Ademais, a presença da membrana garante a remoção completa de sólidos suspensos e também a retenção parcial de compostos de baixa biodegradabilidade, provenientes do próprio efluente ou gerados pelos microrganismos, que permanecem no reator por um tempo maior que o TDH médio e assim, podem acabar sendo degradados pela biomassa (BERNHARD et al., 2006). As remoções de DQO médias apresentadas são um pouco inferiores às do período de aclimação pois a carga orgânica recebida pelos reatores durante a operação contínua foi maior que a recebida da etapa de aclimação (0,7 a 1,4 kgDQO/m<sup>3</sup>.dia).

Nota-se que até o 10º dia de operação, o BRM com meio suporte apresentava um melhor desempenho que o BRM sem meio suporte. Porém, após essa data, essa observação não ficou tão clara.

É importante ressaltar que, uma vez que o vinhoto bruto apresenta grande quantidade de matéria orgânica, apesar das elevadas eficiências de remoção dos BRMs, as concentrações de DQO dos permeados ainda são altas (1.254mg/L e 1.675 mg/L em média para os BRMs com e sem suporte, respectivamente). Portanto, antes de seu lançamento em corpos d'água ou da sua utilização como água de reuso na indústria ou na agricultura, deve ser feito um estudo da necessidade de um pós-tratamento.

A Figura 4 apresenta a cor da alimentação e dos permeados dos dois BRMs e as respectivas eficiências de remoção dos sistemas.



**Figura 4: Cor da alimentação e dos permeados dos BRMs com e sem meio suporte e eficiências de remoção**

Nota-se que assim como para matéria orgânica, os BRMs também apresentam elevada capacidade de remoção de cor. As eficiências médias foram de 92,7% e 90,9% para os BRMs com e sem suporte, respectivamente, muito embora os permeados ainda apresentem forte coloração amarronzada (Figura 5). Assim, em partes, esses resultados de eficiência de remoção se devem ao fato de ter sido medida a cor aparente das amostras (sem filtração). Dessa forma, a presença de sólidos suspensos no vinhoto bruto e a sua retenção completa pelas membranas de microfiltração dos BRMs contribui os altos valores de remoção de cor observados.



**Figura 5: Fotografia do vinhoto bruto e de permeado do BRM**

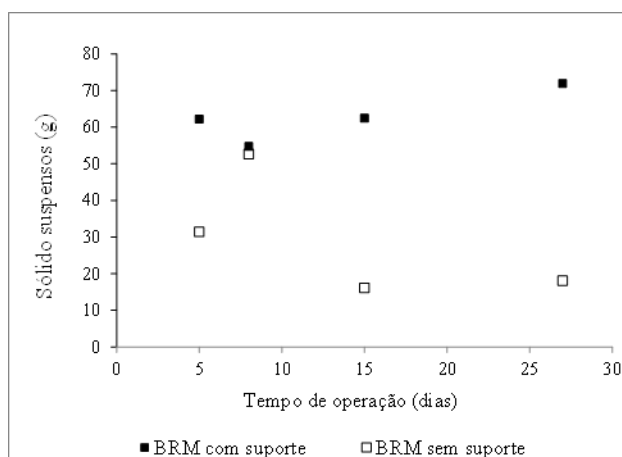
A fim de verificar se os desempenhos dos dois BRMs em termos de remoção de DQO e cor poderiam ser considerados diferentes, foi realizado o teste estatístico de Wilcoxon para amostras pareadas, não paramétricas, a um nível de significância de 5%, com auxílio do software Statistica 6.1. Os resultados se encontram na Tabela 4. O teste indica que os resultados podem ser considerados estatisticamente diferentes quando o valor de p é

menor que 0,05. Como todos os valores de p foram superiores a esse valor de referência, não foi possível rejeitar a hipótese de que as amostras não apresentam diferenças significativas e os desempenhos dos dois BRMs em termos de remoção de DQO e cor devem ser considerados semelhantes em termos estatísticos.

**Tabela 4: Resultados teste estatístico de Wilcoxon**

| Parâmetro           | Nº de amostras válidas de cada BRM | p valor |
|---------------------|------------------------------------|---------|
| DQO                 | 8                                  | 0,3105  |
| % de remoção de DQO | 8                                  | 0,3105  |
| Cor                 | 13                                 | 0,1729  |
| % de remoção de cor | 13                                 | 0,0546  |

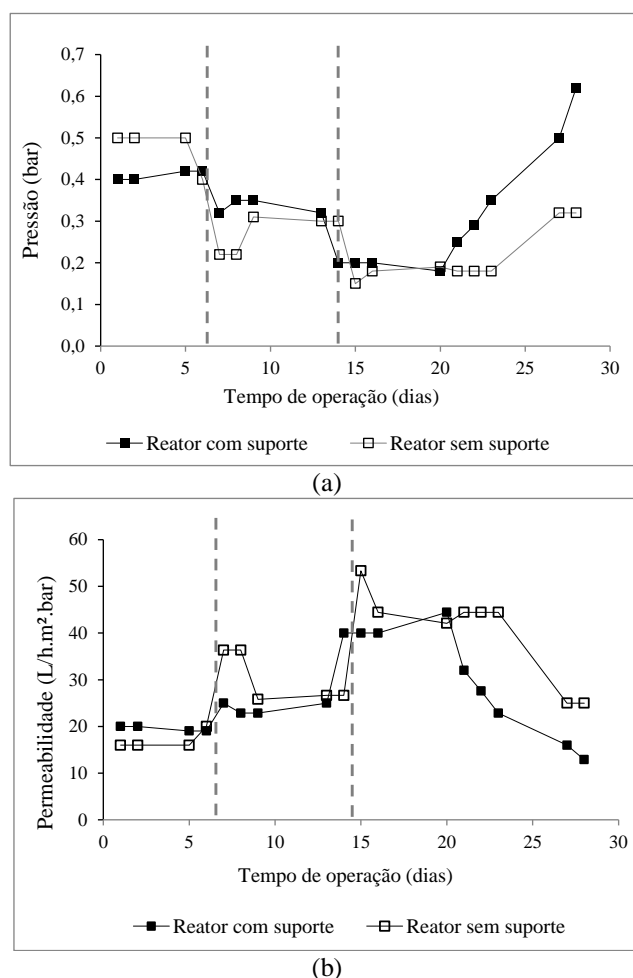
Durante o período de operação, a concentração de SSV no BRM com meio suporte apresentou valor médio de 3.159 mg/L, e no BRM sem meio suporte, 6.415 mg/L. Ademais, a massa de sólidos aderidos média no período foi de 232 mg/peça. Considerando-se que toda a massa medida no teste de sólidos aderidos consistia em sólidos suspensos, calculou-se a massa de sólidos suspensos totais em cada BRM, conforme apresentado na Figura 6.



**Figura 6: Massa total de sólidos suspensos nos BRM com e sem meio suporte**

Nota-se que a quantidade total de sólidos no BRM com meio suporte era superior a no BRM convencional, sem meio suporte, apesar de sua concentração de SSV ser inferior. Isso se deve à grande aderência e crescimento de microrganismos no meio suporte móvel e redução da concentração de lodo em suspensão. Essa condição é bastante favorável ao sistema, uma vez que está relacionada à presença de uma grande quantidade de biomassa, que leva à obtenção de altas eficiências de remoção de matéria orgânica, porém sem a presença excessiva de sólidos suspensos, que prejudicam o desempenho da membrana, e confirma a potencialidade do uso do sistema conjugado estudado.

A pressão e a permeabilidade operacionais para os dois BRMs são apresentadas na Figura 7. As linhas tracejadas transversais marcam os dias em que foram realizadas limpezas químicas das membranas utilizando solução de hipoclorito de sódio 500 ppm em banho de ultrassom por 20 minutos.



**Figura 7: Pressão (a) e permeabilidade (b) monitorados nos dois BRMs**

Uma vez que os dois reatores recebiam o mesmo efluente como alimentação e operavam nas mesmas condições, as diferenças entre as permeabilidades e pressões operacionais indicam diretamente a maior ou menor propensão à incrustação de cada BRM. Assim, até o 20º dia de operação não puderam ser observadas diferenças relevantes entre as permeabilidades dos sistemas, porém, a partir dessa data, nota-se que a permeabilidade do BRM sem meio suporte adquiriu valores superiores, indicando menor incrustação. Esperava-se que o BRM com meio suporte apresentasse um melhor desempenho (SOMBATSOMPOP et al., 2006), uma vez que o mesmo apresenta menor concentração de sólidos suspensos, porém isso não foi observado.

Yang e coautores (2009) também observaram que a incrustação em um BRM com biomassa aderida a um meio suporte móvel era 3 vezes mais intensa que em um BRM convencional, apesar de o primeiro possuir concentração de sólidos duas vezes menor. Os autores notaram que o crescimento de bactérias filamentosas no BRM com meio suporte era bastante superior, assim como a produção de substâncias poliméricas extracelulares, o que ocasionou a formação de uma torta fina, porém bastante compacta, sobre a membrana. Dessa forma, os resultados observados no presente estudo também podem estar relacionados a um possível crescimento excessivo de certos tipos de microrganismos no reator com meio suporte que favorecem a incrustação.

## CONCLUSÕES

Dois BRMs, com e sem o preenchimento com meio suporte móvel, foram avaliados para o tratamento de vinhoto. Ambos os reatores apresentaram elevadas eficiências de remoção de DQO e cor. Apesar de as eficiências médias do BRM com meio suporte terem sido superiores, os resultados não puderam ser

considerados diferentes em termos estatísticos. A concentração de SSV média foi maior para o BRM sem meio suporte, porém foi ressaltado que sua massa total de sólidos suspensos era inferior. Isso mostra a vantagem da inclusão de meio suporte móvel aos BRMs, uma vez que reduz a concentração de SSV sem levar à perda de eficiência. Em relação à incrustação das membranas, foi observado que, ao contrário do esperado, o BRM convencional teve melhor desempenho, o que pode ser devido ao crescimento de bactérias filamentosas no BRM com meio suporte.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro concedido por CNPq, CAPES e FAPEMIG.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA; AWWA; WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21. ed.. Washington: APHA, 2005.
2. BERNHARD, M.; MÜLLER, J.; KNEPPER, T. P. Biodegradation of persistent polar pollutants in wastewater: Comparison of an optimised lab-scale membrane bioreactor and activated sludge treatment. *Water research*, v. 40, p. 3419-3428, 2006.
3. CNI. Confederação Nacional das Indústrias. Disponível em: [http://www.cnisustentabilidade.com.br/docs/FNS\\_RIO20\\_web.pdf](http://www.cnisustentabilidade.com.br/docs/FNS_RIO20_web.pdf). Acesso em: Set, 2012.
4. IVANOVIC, I.; LEIKNES, T. Impact of aeration rates on particle colloidal fraction in the biofilm membrane bioreactor (BF-MBR). *Desalination*, v. 231, p. 182–190, 2008.
5. MACHADO, O. J., FREIRE, F. B. Tratamento de Vinhaça em Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo (UASB). *OLAM – Ciência & Tecnologia*, v. especial, n.2, p. 170, 2009.
6. MAXIMOUS, N.; ARABI, S.; KIM, M. G.; NAKHLA, G. Comparison of biofoulants in BNR-MBR and conventional MBR (C-MBR) systems. Source: Proceedings of the Water Environment Federation, WEFTEC, 2008.
7. MENG, F.; YANG, F.; XIAO, J.; ZHANG, H.; GONG Z. A new insight into membrane fouling mechanism during membrane filtration of bulking and normal sludge suspension. *Journal of Membrane Science*, v. 285, p. 159–165, 2006.
8. MOTA, V. T. F. V. Biorreator com Membranas Anaeróbio de Duplo Estágio para o Tratamento do Vinhoto. Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais. 2012.
9. MOTA, V. T.; MOTTA, G. E., AMARAL, M. C. S. Caracterização detalhada do vinhoto gerado na produção de etanol. 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES. 2011, Porto Alegre /RS.
10. RUSTEN, B.; HEM, L.; ODEGAARD, H.; Nitrification of municipal wastewater in moving bed biofilm reactor. *Water Environment Research*, v. 67, p. 75-86, 1995.
11. SOMBATSOMPOP, K.; VISVANATHAN, C., AIM, R. B. Evaluation of biofouling phenomenon in suspended and attached growth membrane bioreactor systems. *Desalination*, v. 201, p. 138–149, 2006.
12. TRUSSELL, R. S.; MERLO, R. P.; HERMANOWICZ, S. W.; JENKINS, D. Influence of mixed liquor properties and aeration intensity on membrane fouling in a submerged membrane bioreactor at high mixed liquor suspended solids concentrations. *Water Research*, v. 41, p. 947 – 958, 2007.
13. VAN HAANDEL, A. C. Aproveitamento dos subprodutos de destilarias de álcool para proteger o meio ambiente e aumentar a rentabilidade. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre, 2000.
14. VAN HAANDEL, A. C. Integrated energy production and reduction of the environmental impact at alcohol distillery plants. *Water Science and Technology*. 2005;52(1-2):49-57.
15. YANG, F.; WANG, Y.; BICK, A.; GILRON, J.; BRENNER, A.; GILLERMAN, L.; HERZBERG, M.; ORON, G. Performance of different configurations of hybrid growth membrane bioreactor (HG-MBR) for treatment of mixed wastewater. *Desalination*, v. 284, p. 261–268, 2012.
16. YANG, S.; YANG, F.; FU, Z.; LEI, R. Comparison between a moving bed membrane bioreactor and a conventional membrane bioreactor on membrane fouling. *Bioresource technology*, v. 100, p. 6655-6657, 2009.

17. YIGIT, N.O.; HARMAN, I.; CIVELEKOGLU, G.; KOSEOGLU, H.; CICEK, N.; KITIS, M. Membrane fouling in a pilot-scale submerged membrane bioreactor operated under various conditions. *Desalination*, v. 231, p. 124–132, 2008.