

# Remoção de vermelho de metila utilizando membrana de microfiltração de polietersulfona modificada com polivinilpirrolidona e óxido de grafeno

Nicole Novelli do Nascimento<sup>1\*</sup>, Eduarda de Freitas Diogo Januário<sup>2</sup>, Rosangela Bergamasco<sup>3</sup>, Angélica Marquetotti Salcedo Vieira<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Mestranda em Ciências de Alimentos, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Maringá - UEM. Bolsista CAPES - UEM. nicolenovelli002@gmail.com

<sup>2</sup>Mestranda em Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá - UEM. Bolsista CAPES-UEM. eduardafjanuario@gmail.com

<sup>3</sup>Docente em Engenharia Química - DEQ, UEM. Pesquisadora da UEM. rbergamasco@uem

<sup>4</sup>Docente em Engenharia de Alimentos, Departamento de Engenharia de Alimentos - DAL, UEM. Pesquisadora da UEM. amsvieira@uem.br

## RESUMO

Os corantes são amplamente utilizados na indústria, como o vermelho de metila. O tratamento destes corantes deve ser adequado para que não ocorra a contaminação no ambiente aquático. Os processos de separação por membranas vêm ganhando destaque na remoção de corantes. Contudo, com a finalidade de melhorar o desempenho das membranas comerciais pode se aplicar a modificação nas superfícies delas. O objetivo do trabalho foi modificar uma membrana de microfiltração de polietersulfona com polivinilpirrolidona (PVP) e óxido de grafeno (GO) para a remoção de vermelho de metila. Modificou-se a membrana através da técnica de revestimento de superfície utilizando filtração perpendicular (*dead end flow*) utilizando a solução de ácido sulfúrico para sulfonação, PVP e GO. Foram realizados os ensaios e cálculos de desempenho da membrana, sua permeabilidade e caracterização através da microscopia eletrônica de varredura e ângulo de contato. A solução aquosa contendo o corante foi filtrada pela membrana a 3 bar durante 1h. A remoção do corante foi de 100%. A membrana modificada teve ângulo de contato de 88,8°. A permeabilidade foi de 8,56 L h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>, fator de recuperação de 57% e fouling de 43%. Foi concluído que a modificação foi eficiente para a remoção do corante, podendo ter ocorrido através da adsorção e/ou por tamanho dos poros.

**Palavras-chave:** Corantes; Tratamento de efluentes; Processos de separação por membranas.

## 1. INTRODUÇÃO

Os corantes são amplamente utilizados nos processos industriais, principalmente na produção de papéis, cosméticos, alimentos e na indústria têxtil. Contudo, o tratamento destes para serem despejados nos corpos aquáticos, muitas vezes é inadequado, desencadeando diversos problemas no ecossistema. Além da alteração da qualidade da água, visto que a Resolução CONAMA n° 430/11, a qual complementa a Resolução CONAMA n° 357/05, menciona que o efluente descartado não pode alterar a classificação do corpo receptor, não sendo permitido o descarte com concentração de cor acima de 75 mg PT-Co L<sup>-1</sup> (BRASIL, 2011), os corantes também inibem a fotossíntese em consequência à redução da luminosidade (ALMEIDA et al., 2009).

O vermelho metila, do inglês *methyl red* (MR), é um corante amplamente utilizado em testes analíticos, como indicador de titulação (MORITA, ASSUMPÇÃO, 2014), e microbiológicos, como identificação de bactérias em provas bioquímicas (CÂMARA et al., 2011). Ele é um dos corantes mais danosos, visto que é altamente persistente nos ambientes aquáticos devido à sua complexa estrutura química envolvendo anéis aromáticos, ligações azoicas e grupos aminas (SADEGHI-KIAKHANI, ARAMI, GHARANJIG, 2013). A presença deste corante nos corpos aquáticos leva a liberação de aminas aromáticas que são consideradas carcinogênicas (HAYES, 2004).

Sua utilização em testes de separação de membrana não é meramente por ser utilizado como corante e conseqüentemente contaminação da água, mas também por ser

um bom indicador para testes de remoção como tamanho molecular limitante das membranas, já que o vermelho de metila não possui carga e não sofreria exclusão por carga iônica, apenas por tamanho molecular (CHONG et al., 2018).

Atualmente, a remoção dos corantes ocorre através de técnicas de precipitação, biodegradação, adsorção e degradação química (OLIVEIRA, 2012). Além destas, os processos de separação por membrana (PSM) são bastante eficientes na separação e purificação de soluções devido agirem como uma barreira seletiva (HABERT et al., 2006), ademais são considerados *eco-friendly* em razão do seu baixo consumo energético e reutilização das membranas (WANG et al., 2010). Existem dois mecanismos mais utilizados como remoção de partículas nos PSM, que podem ser por retenção por tamanho ou difusão no material da membrana, ou seja, atua como barreira seletiva ou interagindo com o material da membrana devido as afinidades físico-químicas, respectivamente (BAKER, 2004).

A modificação da superfície da membrana é uma alternativa para baratear o custo de membranas que precisam ter uma porosidade baixa, como as membranas de ultra e nanofiltração. Além disso, a modificação melhora os parâmetros de desempenho das membranas, como a seletividade e resistência, e pode ser feita através da técnica de revestimento de polímeros na superfície (CHENG et al., 2012). Dentre as membranas bastante utilizadas para esta finalidade tem-se destacado as membranas de microfiltração feitas de polietersulfona (PES) (LIU; ZHANG, WANG, 2013). Os polímeros aromáticos, como o PES, são ótimos para sofrer a reação de sulfonação a partir da adição de agentes sulfonantes, como o ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) que tem a finalidade de proporcionar uma redução do *fouling* (incrustação na superfície), o átomo de hidrogênio do PES é substituído pelo ácido sulfônico, ou seja, uma substituição aromática eletrofílica (SHEN et al., 2003; AHMAD, 2013).

O óxido de grafeno (GO) proporciona modificação na superfície das membranas conforme as nanopartículas se depositam na mesma, reduzindo a porosidade e acarretando novas características, como maior seletividade e resistência ao *fouling* (KARKOOTI et al., 2018). Estudos mostram que outros compostos conseguem a compatibilidade do óxido de grafeno com polímeros, como a polivinilpirrolidona (PVP) em membranas de PES (CHANG et al., 2014).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de remoção do vermelho metila de soluções aquosas utilizando membrana de microfiltração (MF) modificada com PVP e GO.

## 2. MATERIAS E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Gestão, Controle e Preservação Ambiental (LGCPA) do Departamento de Engenharia Química (DEQ) da Universidade Estadual de Maringá (UEM).

### 2.1 Preparação do óxido de grafeno (GO)

O método modificado de Hummer adaptado por Yamagushi, Bergamasco e Hamoudi (2016) foi utilizado para o preparo da solução de nanofolhas de GO. O banho ultrassônico (Ultronique – QS. 5/40A – Frequência 40KHz) foi utilizado durante 100 min com o objetivo de obter a esfoliação do grafite e obter o GO. Para remover as folhas de óxido de grafite não esfoliadas foi realizado centrifugação a 6000 rpm em 1 h.

Utilizando-se uma solução comercial de GO ( $2 \text{ mg mL}^{-1}$ ) foi preparado uma curva analítica baseada na metodologia de Konios et al. (2014) em espectrofotômetro UV-VIS (Hack – DR 5000) no comprimento de onda 660 nm e no intervalo de 0,1 a  $250 \text{ mg L}^{-1}$ . Foi

realizada a leitura da concentração do GO para verificação do volume e da necessidade de diluição do mesmo antes da sua utilização.

## 2.2 Etapas da modificação da membrana

A metodologia foi baseada em Chang et al. (2013), Pellegrin et al. (2013) e Takara et al. (2019) com adaptações. Para a modificação foram utilizadas membranas de microfiltração 0,22 µm com diâmetro de 0,47 mm de PES da marca Micropore.

Foram preparadas as soluções modificantes: ácido sulfúrico (Synth-PA) com concentração de 10% (v/v), solução de 10 mL PVP 40.000 Da (Aldrich) em 100 mL de água deionizada, e óxido de grafeno com concentração de 66,70 mg L<sup>-1</sup>.

Primeiramente a membrana foi transferida para o módulo de membrana de bancada (PAM-Membranas Seletivas®), o qual possui capacidade de 250 mL com área efetiva de 1,251 x 10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup> acoplado a um sistema pressurizado com ar comprimido e funcionando através de fluxo perpendicular (*dead-end flow*) à membrana. Em seguida, o módulo foi vedado e adicionado 25 mL de ácido sulfúrico durante 10 min sob ação da gravidade em contato com a membrana pura. Feito isso, adicionou-se 50 mL da solução de PVP durante 10 min e a solução de GO 66,7 mg L<sup>-1</sup> previamente preparada com pH ajustado para 9,0, durante 10 min, ambos sob ação da gravidade. Todos os ensaios foram realizados após as modificações e todos os experimentos foram feitos à temperatura ambiente (25 °C).

## 2.3 Desempenho da membrana modificada

Após a modificação da membrana foram realizados os ensaios para avaliação dos fluxos, *fouling* e remoção do corante. O fluxo inicial de água ( $J_0$ ) na membrana modificada foi avaliado sob pressão de 3 bar e volume de 100 mL. Foram coletadas alíquotas com um intervalo de 10 minutos entre cada medida durante 1 h após 20 min de compactação da modificação na membrana. Em seguida, os fluxos de MR ( $J_1$ ) e fluxo final de água ( $J_2$ ) também foram avaliados sob as mesmas condições descritas para  $J_0$ . Os fluxos ( $J_x$ ) podem ser calculados de acordo com a equação (1):

$$(1) J_x = \frac{m}{\rho \cdot t \cdot A}$$

Onde  $J_x$  representa os fluxos médios de água inicial ( $J_0$ ), de corante ( $J_1$ ) e de água final ( $J_2$ ) através da membrana (L h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>; onde  $m$  é a massa das alíquotas (kg);  $\rho$  é a massa específica da água (kg m<sup>-3</sup>);  $t$  é o tempo (h) e  $A$  é a área efetiva da membrana (m<sup>2</sup>).

A permeabilidade da membrana foi avaliada logo após o fluxo inicial de água. Foi medido o fluxo de água sob diferentes pressões (1, 2, 3 bar). Os parâmetros de percentual de *fouling* (% *Fouling*) e de recuperação de fluxo (% R.F) foram determinados de acordo com as equações 2 e 3, respectivamente.

$$(2) \% \text{ Fouling} = \frac{J_0 - J_2}{J_0} \times 100$$

$$(3) \% \text{ R.F} = \frac{J_2}{J_0} \times 100$$

## 2.4 Ensaios para a remoção de vermelho de metila (MR)

Primeiramente foi preparado a solução de vermelho de metila (MM = 269,3 g/mol) na concentração de 10 mg L<sup>-1</sup>, onde a concentração em mg L<sup>-1</sup> foi determinada no espectrofotômetro UV-VIS (Hack – DR 5000) no comprimento de onda 440 nm a partir de uma curva analítica previamente preparada. Como mencionado anteriormente, as condições foram as mesmas para os fluxos de água, ou seja, volume da solução de MR de 100 mL e pressão de filtração de 3 bar.

Após a filtração da solução contendo MR foi realizado uma limpeza utilizando 40 mL

de solução de água deionizada e álcool etílico 50% v/v durante 10 min em agitação manual a fim de retirar excesso de corante na superfície da membrana. Foram anotados os volumes (mL) e concentrações ( $\text{mg L}^{-1}$ ) da solução de alimentação, permeado e concentrado e utilizado a equação 4 para a obtenção dos resultados em massa (mg), onde C representa a concentração e V o volume.

$$(4) \text{ Massa} = \frac{C \times V}{1000}$$

Para o cálculo da porcentagem de corante no permeado e concentrado utilizou a equação 5, onde A é a massa de corante na solução de alimentação e B é a massa de corante no permeado ou no concentrado.

$$(5) \% \text{ Corante} = \frac{B \times 100}{A}$$

## 2.5 Caracterização das membranas

Para a caracterização da membrana de microfiltração PES pura e modificada foi utilizado a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e ângulo de contato, em parceria com o Complexo de Centrais de Apoio a Pesquisa (COMCAP) e com o Departamento de Química, da Universidade Estadual de Maringá (UEM), respectivamente.

### 2.5.1 MEV

Primeiramente, as membranas foram secas por 24 h à temperatura ambiente ( $25^{\circ}\text{C}$ ). Feito isso, elas foram metalizadas com uma fina camada de ouro a 50 mA por 130 s com o objetivo de conduzir eletricidade e então foram obtidas as imagens das morfologias da superfície das membranas através de um microscópio eletrônico de varredura (Shimadzu SS-550 SuperScan Scanning Electron Microscope) com alto vácuo (HV) de 5 kV na magnitude de 15.000 vezes.

### 2.5.2 Ângulo de contato

As membranas foram secas por 24 h à temperatura ambiente ( $25^{\circ}\text{C}$ ). Utilizando um goniômetro (Tantec, modelo CAM – Micro) foi avaliado a hidrofiliicidade da membrana, onde uma micro-seringa contendo uma gota de água com volume constante foi utilizada para a análise em três pontos diferentes da superfície da membrana.

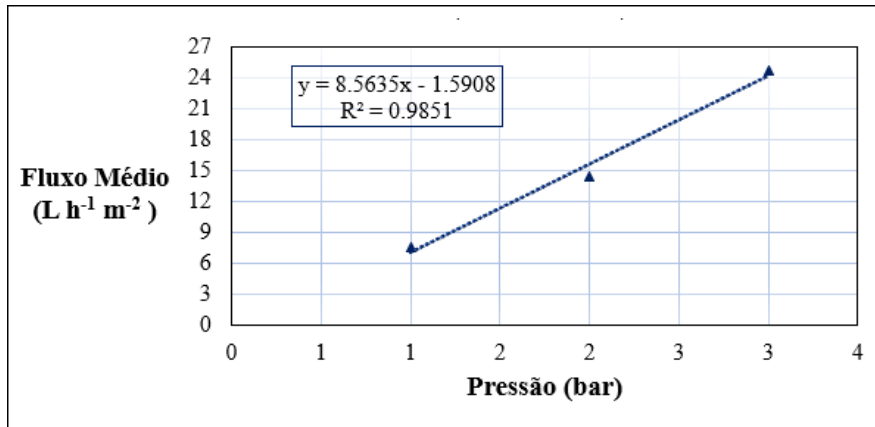
## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Desempenho da membrana modificada

Dentre os parâmetros de desempenho da membrana tem-se a permeabilidade, a qual está diretamente relacionada a seletividade da membrana, uma vez que a performance na separação pelas membranas pode ser alterado de acordo com a composição e morfologia das mesma, pressão e velocidade de operação e interações entre os compostos da solução de alimentação com a superfície da membrana (LIN et al., 1997).

A avaliação da permeabilidade para a membrana modificada foi obtida através da plotagem de um gráfico do fluxo versus as diferentes pressões utilizadas: 1, 2 e 3 bar. A equação da reta obtida informa o valor do coeficiente angular, o qual corresponde matematicamente à permeabilidade da membrana, sendo, portanto, a permeabilidade da membrana modificada igual a  $8,56 \text{ L h}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ bar}^{-1}$ , como pode ser observado na Gráfico 1.

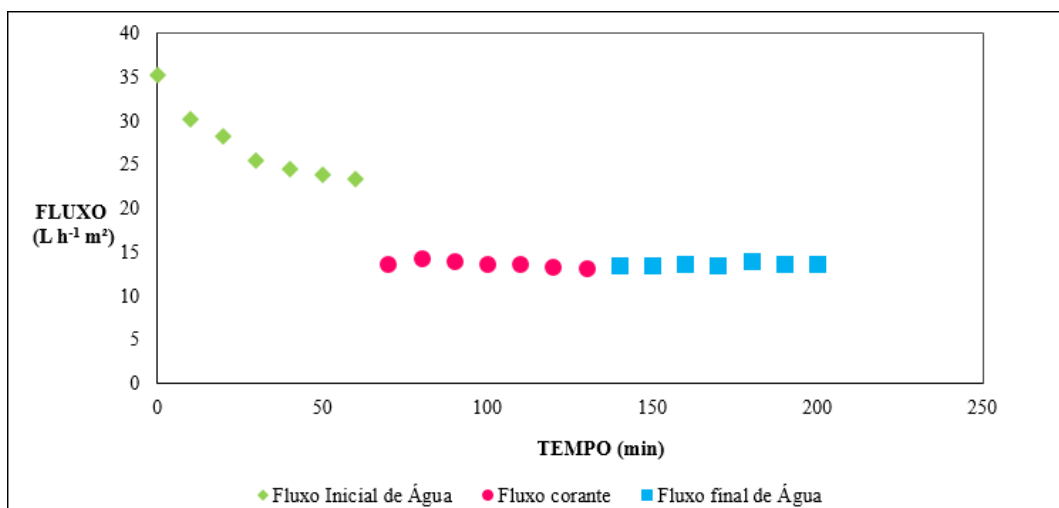




**Gráfico 1:** Permeabilidade da membrana modificada  
**Fonte:** Autora (2019)

Pode-se observar no Gráfico 1 que conforme aumenta a pressão ocorre um aumento também do fluxo, ou seja, são diretamente proporcionais.

Posteriormente à etapa de compactação foi iniciado a coleta das alíquotas para o cálculo do fluxo do permeado durante o tempo de filtração das águas iniciais e finais, assim como do corante MR, como pode ser visto na Gráfico 2.



**Gráfico 2:** Acompanhamento do fluxo do permeado no decorrer do tempo de filtração  
**Fonte:** Autora (2019)

No Gráfico 2 é possível observar que o fluxo inicial da água apresentou uma determinada estabilidade após o período de compactação (20 min) comprovando que a membrana foi compactada de forma adequada e assim, conseqüentemente, manteve sua permeabilidade a água no decorrer do tempo.

Por outro lado, o fluxo do MR reduziu notavelmente comparado ao fluxo de água inicial. Entretanto, houve uma estabilidade do fluxo ao decorrer de todo o tempo de filtração do corante. Sob mesma perspectiva, o fluxo final de água também reduziu drasticamente quando comparado ao fluxo inicial e manteve uma estabilidade próxima aos valores de fluxo do corante. A queda de fluxo da água final pode ser explicada pela possível incrustação e adsorção causada pelo corante na superfície e nos poros da membrana.

O fluxo médio da água inicial, corante e água final é apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1:** Valores médios dos fluxos de permeado

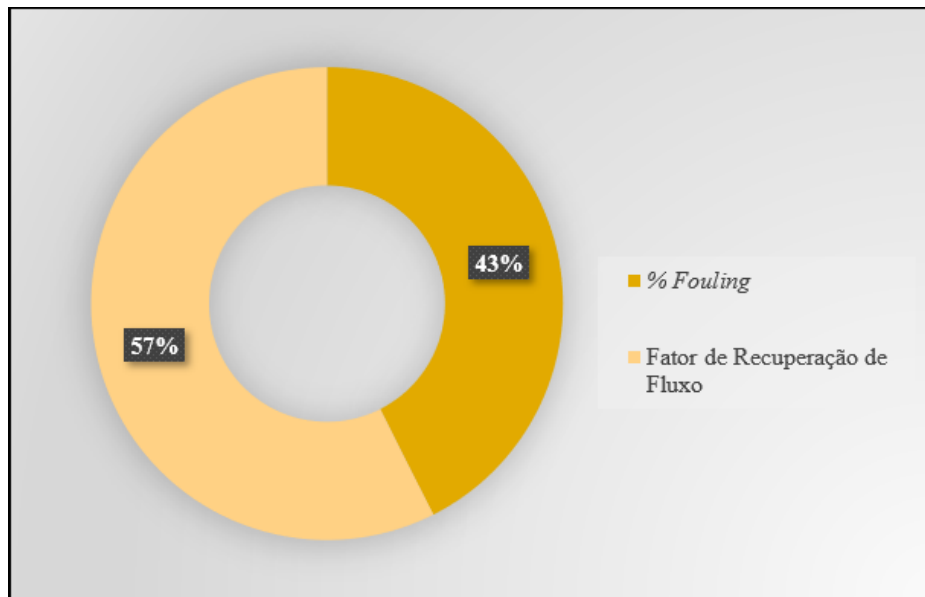
Tipo de fluxo	Fluxo Médio (L h <sup>-1</sup> m <sup>2</sup> )
J <sub>0</sub> – Fluxo Inicial de Água	23,88

J <sub>1</sub> – Fluxo do Corante	13,28
J <sub>2</sub> – Fluxo Final de Água	13,72

Fonte: Autora (2019)

A partir dos resultados da Tabela 1 pode-se observar que houve uma redução do fluxo inicial para o final, mas teve proximidade do fluxo do corante com a água final. Isto pode indicar uma eficiência moderada em relação a limpeza, sendo recomendado uma melhora na mesma a fim de ter melhor recuperação do fluxo.

No Gráfico 3 é possível observar os valores em porcentagem do *fouling* e o fator de recuperação de fluxo para a membrana modificada.



**Gráfico 3:** Valores Percentuais de *Fouling* e Fator de Recuperação de Fluxo para Membrana Modificada.

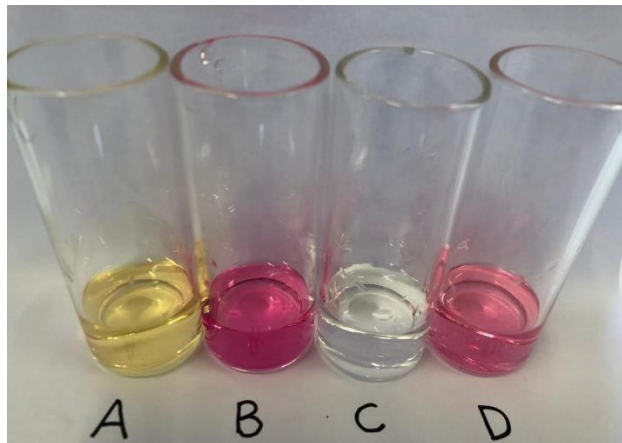
Fonte: Autora (2019)

Analisando o Gráfico 3 tem-se que o fator de recuperação de fluxo foi de 57% e a porcentagem de *fouling* foi de 43%. Isto sugere que ocorreu na superfície da membrana o fenômeno de polarização por concentração, o qual acontece com o acúmulo de solutos, e é considerado um fenômeno reversível (CHERYAN, 1998), visto que após a limpeza da membrana uma parte dos solutos foram removidos pela solução de limpeza, como será visto posteriormente na Figura 1.

Os problemas de incrustações foram evidenciados nos ensaios de filtração tanto pelo fator de recuperação de fluxo como também pelo volume obtido no permeado, o qual foi de apenas 20% do volume da solução de alimentação de MR. O *fouling*, que pode ser reversível ou não, ocorre pela deposição de solutos dentro dos poros da membrana (MULDER, 2000), porém, uma vez que estes solutos não sejam removidos dos poros, a permeabilidade da membrana será perdida de forma irreversível (GOOSEN et al., 2002), por isso, evidencia novamente que a eficiência da limpeza é crucial para manter o desempenho e reutilização da membrana.

### 3.2 Remoção de vermelho de metila (MR)

A remoção do MR foi acompanhada durante 1 h de filtração na pressão 3 bar, como mencionado anteriormente. Na Figura 1 mostra-se a solução de alimentação e as soluções após a filtração pela membrana modificada.



**Figura 1:** Soluções presentes no ensaio - A (Alimentação); B (Concentrado); C (Permeado); e D (Limpeza)  
**Fonte:** Autora (2019)

Observando a Figura 1 é possível constatar que a solução utilizada para alimentação (A) possuía uma cor amarelada, isto ocorre devido ao fato de que o MR tem essa característica quando está no estado sólido (pó) e quando dissolvido em água em um pH próximo a 6,3. Contudo, quando o pH da solução é alterado, no caso, para pH mais ácido, próximo a 4,2, a coloração da solução é alterada para vermelha, como é visto nas soluções B e D.

Na solução C, a qual se refere ao permeado, não há coloração devido a não ter sido filtrado o corante durante o tempo de filtração. Por outro lado, como já observado, a solução D possui cor, comprovando que o corante ficou adsorvido na superfície da membrana e teve uma parte removida pela solução de água durante a limpeza. Em termos de porcentagem de corante tem-se os resultados apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2:** Valores médios da porcentagem de corante nas soluções

Solução	% Corante
Alimentação	100
Concentrado	25
Permeado	0
Limpeza	10

**Fonte:** Autora (2019)

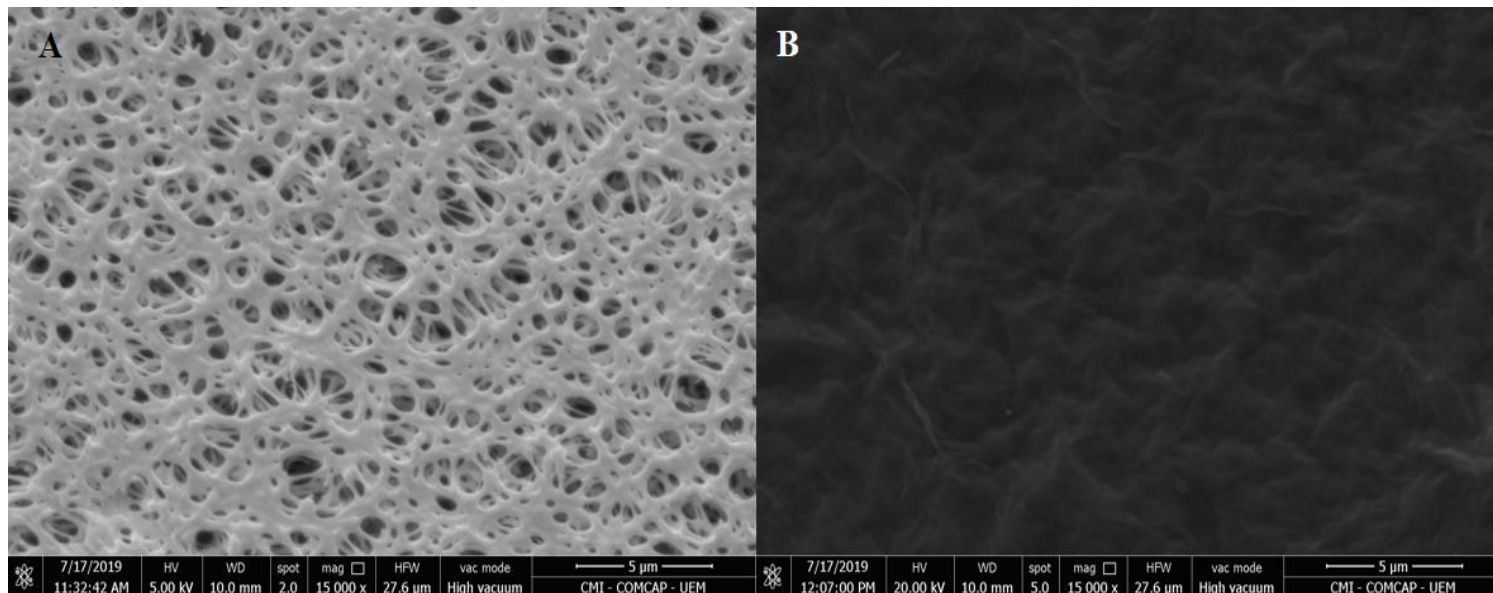
Analisando os dados da Tabela 2 tem-se que o corante MR não passou para o permeado, no entanto, na solução do concentrado não estava presente toda a massa inicial de corante. Dado que a sulfonação realizada pela adição de ácido sulfúrico supostamente confere uma carga negativa (-) a superfície da membrana de PES e concede grupos sulfônicos, estes através de ligações de hidrogênio podem interagir com o oxigênio da solução de PVP (BOEIRA, 2013), o qual da mesma forma poderia interagir com os grupos carboxilas de OG, que no pH 9,0 são carregados negativamente (-) (SHIH et al., 2012) e o MR possui carga neutra, isto indica que provavelmente a maior parte da massa de corante estaria adsorvida na superfície por outras interações que não sejam eletrostáticas e/ou nos poros da membrana, sendo necessário realizar mais vezes a limpeza e/ou uma mais eficaz para que ocorra a remoção total do corante e possa reutilizar mais vezes a mesma membrana modificada.

### 3.3 Caracterização da membrana modificada

Os resultados obtidos da caracterização da membrana de microfiltração (MF) pura e modificada serão descritas a seguir.

### 3.3.1 MEV

A Figura 2 apresenta as imagens obtidas das membranas pura e modificada através do MEV, onde é possível observar a redução da porosidade na superfície da membrana pelas regiões acinzentadas na membrana modificada.



**Figura 2:** Imagens do MEV das membranas na magnitude 15.000x da membrana MF pura (A) e membrana modificada (B).

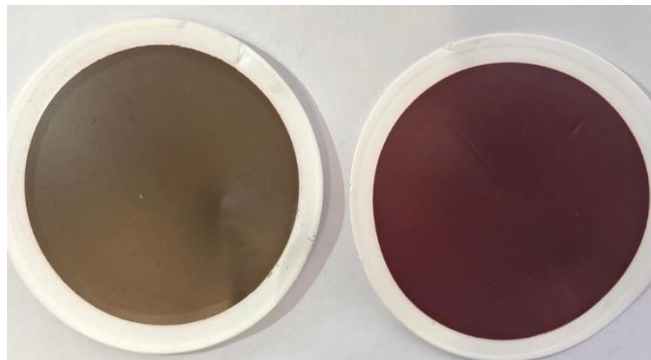
**Fonte:** Autora (2019)

A superfície enrugada vista na membrana modificada (B) é característica de membranas contendo GO (LIM et al., 2017), logo, é possível considerar que houve uma modificação eficiente na superfície da membrana. A modificação proposta foi suficiente para total remoção do corante no volume permeado.

### 3.3.2 Ângulo de contato

A membrana modificada apresentou ângulo de contato de  $88,8^\circ$  se tornando mais hidrofóbica quando comparada a mesma membrana de MF pura, a qual possui ângulo de contato de  $70,3^\circ$ . No entanto, Hegab e Zou (2015) explicam que se espera o aumento da hidrofobicidade com GO devido as funcionalidades do oxigênio presente no GO, ou seja, o ângulo de contato deveria ter sido reduzido quando comparado a membrana pura. Isto sugere que ao interagir o PVP com GO, o oxigênio ligou-se totalmente com o PVP pelas ligações de hidrogênios alterando na seletividade da membrana, a tornando mais hidrofóbica. Por outro lado, ao analisar o ângulo de contato da membrana modificada após a filtração da solução de MR obteve-se  $102,7^\circ$ . Este resultado pode ser justificado devido a presença de MR na superfície da membrana fazendo com que a incrustação impedisse a água de passar com maior facilidade. Pode-se observar a olho nu a adsorção do MR na superfície da membrana através da Figura 3.





**Figura 3:** Imagens da membrana MF modificada (direita) e modificada após filtração de vermelho de metila (esquerda).

Fonte: Autora (2019)

#### 4. CONCLUSÕES

Concluiu-se que a membrana de microfiltração de polietersulfona pode ter sua superfície modificada com PVP e óxido de grafeno, visto que a modificação se manteve após as filtrações e pode ser comprovada perante a caracterização. A modificação proposta foi eficiente na remoção de vermelho de metila na solução aquosa, contudo é necessário a recuperação deste corante da superfície e/ou poros da membrana para maiores reuso.

**AGRADECIMENTOS:** Os autores agradecem a COMCAP, CAPES e CNPq pelo apoio financeiro e pela bolsa de estudos.

#### REFERÊNCIAS

ABDULLAH, N. *REMOVAL OF METHYL RED FROM AQUEOUS SOLUTION USING DRIED WATER HYACINTH (Eichhornia Crassipes)*. Tese do curso de Engenharia química e recursos naturais. Universidade da Malásia, 2010.

AHMAD, A.L. **Recent development in additives modifications of polyether sulfone, membrane for flux enhancement**. *Journal Chemical Engineering*, v. 223, p. 246–267, 2013.

ALMEIDA, C. A. P.; DEBACHER, N. A.; DOWNS, A. J.; COTTER, L.; MELLO, C. A. D. **Removal of methylene blue from colored effluents by adsorption on montmorillonite clay**. *J. Colloid Interface Sci.* 332, 46-53, 2009.

BAKER, R. W. *Membrane Technology and Applications*. Editora: John Wiley & Sons, 2004.

BOEIRA, M. R. *Compósito de polímero iônico-metal de PVDF/PVP/PSSA com platina de alta resposta de atuação*. Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação de Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 27 de abril de 2019.

CÂMARA, A. M., *CORANTES AZO: CARACTERÍSTICAS GERAIS, APLICAÇÕES E TOXICIDADE*. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Nutrição da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2017.

CÂMARA, S.R., LAVOR, C. T. B., ANDRADE, J. M., SOBRAL, M. H. N. R., SILVA, I. N. G., GUEDES, M. I. F., SALGUEIRO, C. C. M., NUNES, J. F., PORTO, A. L. F., **Microbiological and proteic analysis of powder coconut water (PCW) sterilized by**

**membrane for use in biotechnological processes.** Revista Portuguesa de Ciências veterinárias, v. 110, p. 577-580, 2011.

CHANG, X., WANG, Z., QUAN, S., XU, Y., JIANG, Z., LU, Su. **Exploring the synergetic effects of graphene oxide (GO) and polyvinylpyrrolidone (PVP) on poly (vinylidene fluoride) (PVDF) ultrafiltration membrane performance.** Appl. Surf. Sci., v. 316, pp. 537-548, 2014.

CHENG, C. et al. **The hydrodynamic permeability and surface property of polyethersulfone ultrafiltration membranes with mussel-inspired polydopamine coatings.** Journal of Membrane Science, v. 417–418, p. 228–236, 2012

CHERYAN, M. (Ed.) *Ultrafiltration and microfiltration handbook.* Lancaster: Technomic Publ., 1998. 526 p.

CHONG, J.Y., WANG, B., MATTEVI, C., LI, K. **Dynamic microstructure of graphene oxide membranes and the permeation flux.** J. Membr. Sci., v. 549, pp. 385-392, 2018.

GOOSEN, M. F.A., SABLANI, S.S., AL-MASKARI, S.S., ALBELUSHI, R. H., WILP, M. **Effect of feed temperature on permeate flux and mass transfer coefficient in spiral-wound reverse osmosis systems.** Desalination, v.14, p.367-372, 2002.

HABERT, A. C. et al. *Processos de separação por membranas.* Rio de Janeiro: E-papers, 2006, 181 p.

HEGAB, H.M., ZOU, L. **Graphene oxide-assisted membranes: fabrication and potential applications in desalination and water purification.** Journal Membrane Science. v. 484, pag. 95–106, 2015.

KARKOOTI, A. et al. **Development of advanced nanocomposite membranes using graphene nanoribbons and nanosheets for water treatment.** Journal of Membrane Science, v. 560, p. 97–107, 2018.

KONIOS, D, et al. **Dispersion behaviour of graphene oxide and reduced graphene oxide.** Journal Colloid Interface Science. v. 430, pag. 108–112.[Internet]. doi:10.1016/j.jcis.2014.05.033, 2014.

LIM, M. et al. **Cross-linked graphene oxide membrane having high ion selectivity and antibacterial activity prepared using tannic acid-functionalized graphene oxide and polyethyleneimine.** Journal of Membrane Science, v. 521, p. 1–9, 2017.

LIN, L.; RHEE, K.C.; KOSEGLU, S.S. **Bench-scale membrane degumming of crude vegetable oil: process optimization.** Journal of Membrane Science, Amsterdam, v.134, p.101-108, 1997.

LIU, Y.; ZHANG, S.; WANG, G. **The preparation of antifouling ultra filtration membrane by surface grafting zwitterionic polymer onto poly (arylene ether sulfone) containing hydroxyl groups membrane.** Desalination, v. 316, p. 127–136, 2013.

MORITA, T., ASSUMPÇÃO, R. M. V. *Manual de soluções, reagentes e solventes.* Editora Edgard Blucher. São Paulo: 2014.

MULDER, M. *Basic principles of membrane technology.* Center for membrane science and technology. University of Twente, Enschede, The Netherlands, p.564, 2000.

OLIVEIRA, S. P. *Adsorção do Corante Azul de Metileno em Caulinita Natural e Intercalada com Acetato de Potássio Provenientes da Região de Bom Jardim de Goiás – GO.* Tese (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2012.

PELLEGRIN, B., PRULHO, R., RIVATON, A., THÉRIAS, S., GARDETTE, J. L., GAUDICHET-MAURIN, E., CAUSSERAND, C. **Multi-scale analysis of hypochlorite induced PES/PVP ultrafiltration membranes degradation** J. Membr. Sci., 447 (2013), pp. 287-296, 2013.

SADEGHI-KIAKHANI, M., ARAMI, M., GHARANJIG, K. **Preparation of chitosan-ethyl acrylate as a biopolymer adsorbent for basic dyes removal from colored solutions.** Journal of Environmental Chemical Engineering, 2013.

SHEN, L. et al. **Ultrafiltration hollow fiber membranes of sulfonated polyetherimide/ polyetherimide blends: preparation, morphologies and anti-fouling properties.** *Journal of Membrane Science*, v. 218, p. 279-293, 2003.

SHIH, C. J., et al. *Understanding the pH dependent behavior of graphene oxide aqueous solutions: A comparative experimental and molecular dynamics simulation study.* *Langmuir*. v. 28, pag. 235–241, 2012.

TAKARA, E. A., PEREIRA, S. V., SCALA-BENUZZI, M. L., FERNANDÉZ-BALDO, M. A., RABA, J., MESSINA, G. A. **Novel electrochemical sensing platform based on a nanocomposite of PVA/PVP/RGO applied to IgG anti- Toxoplasma gondii antibodies quantitation.** *Talanta*, v. 195, pp 699-705, 2019.

WANG, L. K., CHEN, J. P., HUNG, Y.-T., and SHAMMAS, N. K., *Membrane and Desalination Technologies.* Springer, 2010.

YAMAGUCHI, N., BERGAMASCO, R., HAMOUDI, S. **Magnetic MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-graphene hybrid composite for efficient removal of glyphosate from water.** *Chem Eng Journal*; v. 295, pag. 391–402, 2016.