

REMOÇÃO DO CORANTE REATIVO PRETO 5 DE SOLUÇÕES AQUOSAS A PARTIR DE COAGULANTES NATURAIS MAGNÉTICOS PROVENIENTES DAS SEMENTES DE *MORINGA OLEIFERA*: INFLUÊNCIA DO TEMPO DE SEDIMENTAÇÃO

Isabela Maria Reck Paulino¹, Rebecca Manesco Paixão², Luiz Henrique Biscaia Ribeiro da Silva³, Marcelo Fernandes Vieira⁴, Rosangela Bergamasco⁵, Angelica Marquetotti Salcedo Vieira⁶

¹Departamento de Engenharia de Alimentos, Campus Maringá/PR, Universidade Estadual de Maringá – UEM.
isabelareck@hotmail.com

²Departamento de Engenharia Química, Campus Maringá/PR, Universidade Estadual de Maringá – UEM. rebecca.paixao@gmail.com

³Departamento de Engenharia Química, Campus Maringá/PR, Universidade Estadual de Maringá – UEM. luizhbiscaia@gmail.com

⁴Departamento de Engenharia Química, Campus Maringá/PR, Universidade Estadual de Maringá – UEM. marcelofviera@hotmail.com

⁵Departamento de Engenharia Química, Campus Maringá/PR, Universidade Estadual de Maringá – UEM. ro.bergamasco@hotmail.com

⁶Departamento de Engenharia de Alimentos, Campus Maringá/PR, Universidade Estadual de Maringá – UEM.
angelicamsalcedo@hotmail.com

RESUMO

Os efluentes industriais são despejos provenientes do processo industrial, como, por exemplo, águas de refrigeração poluídas e águas utilizadas nas limpezas. É de extrema importância que estas águas contaminadas passem por tratamentos para obtenção de água de reuso ou para que sejam descartadas de maneira segura, sem danos ao meio ambiente. No presente trabalho, avaliou-se a eficácia da coagulação/floculação de soluções aquosas contendo o corante Reativo Preto 5 (RP5), usando as frações proteicas das sementes de *Moringa oleifera* Lam. (albumina e globulina) como coagulantes naturais funcionalizadas com nanopartículas de óxido de ferro magnéticas. A aplicação de um campo magnético na sedimentação possibilita o rápido assentamento das partículas do corante e sua separação, dando origem a clarificação do efluente de maneira eficiente. Realizou-se a avaliação do tempo de sedimentação com e sem a presença do campo magnético. Os coagulantes magnéticos funcionalizados foram capazes de remover mais de 90% do corante RP5 dentro de 5 minutos de sedimentação.

PALAVRAS-CHAVE: *Moringa oleifera* Lam; Fracionamento; Nanopartículas; Corante.

1 INTRODUÇÃO

Dentre os contaminantes presentes em águas residuais, a presença de compostos coloridos sempre foi indesejável e inutiliza a água para qualquer uso. Portanto, a cor das águas residuais é considerada como um poluente que precisa ser tratado antes da descarga. Assim, a remoção de cores é um dos requisitos mais difíceis de serem enfrentados no tratamento de águas residuárias pelos setores de acabamento têxtil, fabricação de tintas, indústrias de celulose e papel, indústria de alimentos em geral, entre outros (KYZAS *et al.*, 2018).

Devido a coloração resultante em águas residuais, a qual é esteticamente inaceitável, a presença destes corantes pode modificar o alcance da radiação luminosa, influenciando a fotossíntese e o crescimento de plantas aquáticas (VALE-JÚNIOR *et al.*, 2018). Portanto, o desenvolvimento de tecnologias que visem o tratamento de efluentes de forma viável tornou-se necessário. Os corantes reativos representam uma crescente participação de mercado já que estes são usados para colorir fibras de algodão; cerca de 30% dos corantes reativos aplicados são desperdiçados devido à hidrólise do corante em banho de tinta alcalina; as plantas de tratamento de águas residuais convencionais têm uma baixa eficiência de remoção de corantes solúveis reativos e aniônicos (ALLÈGRE *et al.*, 2006).

Diversas metodologias são constantemente testadas como pré-tratamentos com o intuito de reduzir a coloração de águas residuais antes de serem descartadas em corpos hídricos. Dentre eles, o processo de coagulação/floculação ainda encontra algumas

dificuldades na remoção de corantes em geral, devido a alta solubilidade destes compostos e sua alta estabilidade, que os tornam perigosos e de difícil remoção. Por este motivo, novas tecnologias vêm sendo diariamente testadas para este fim e a nanotecnologia vem ganhando espaço com metodologias alternativas no tratamento de efluentes e contaminantes, principalmente quando funcionalizadas com proteínas coagulantes de plantas e sementes, como a *Moringa oleífera* Lam. (moringa).

Diversos estudos já comprovaram a alta capacidade de coagulação desta planta em tratamento de águas residuais (MADRONA *et al.*, 2010; BAPTISTA *et al.*, 2017; BAPTISTA *et al.*, 2015) e agora seus extratos também podem ser funcionalizados com nanopartículas de ferro para aumentar a eficácia destes tratamentos aplicando um campo magnético na sedimentação e acelerando o processo de clarificação (SANTOS *et al.*, 2016).

Com base no exposto acima, o presente estudo propõe o tratamento de águas contendo o corante têxtil Reativo Preto 5, também conhecido pelo nome Remazol Preto B, pelo processo de coagulação/floculação utilizando como coagulantes as proteínas fracionadas das sementes de *Moringa oleífera* Lam e funcionalizadas com nanopartículas de óxido de ferro. Assim, o objetivo do presente estudo foi desenvolver estes coagulantes magnéticos, aplicando-os no tratamento de água para a remoção de corante de águas contaminadas na presença de um campo magnético, bem como avaliar a possibilidade de reuso destas nanopartículas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 SÍNTESE DOS COAGULANTES MAGNÉTICOS

O fracionamento das sementes de moringa foi realizado para avaliar o seu potencial de coagulação na remoção do corante RP5. A obtenção das frações proteicas albumina (Alb) e globulina (Glo) adotou o critério de solubilidade em diferentes sistemas de extração propostos por Osborne (1878) com modificações (BAPTISTA *et al.*, 2017). A quantidade de proteína extraída em cada fração foi calculada com base na proteína total pelo método de Lowry (1951).

A fração contendo a albumina passou por um processo de liofilização e a fração contendo a globulina foi seca em estufa com circulação de ar a 35°C por 24 horas. A síntese das nanopartículas de óxido de ferro foi realizada conforme a metodologia de Silva *et al.* (2013), a qual consiste em uma solução de poliálcool vinílico (PVA) agitada em temperatura ambiente durante 2 horas e a adição de uma solução saturada de nitrato de ferro, numa razão molar íon Fe: unidade monomérica do PVA de 1:18. A solução (PVA + nitrato de ferro) foi agitada por mais 2 horas em temperatura ambiente. Então, elevou-se a temperatura para 300°C para evaporação da água e queima do polímero, obtendo-se um pó precursor após aproximadamente 4 horas. Este material foi, então, calcinado em mufla a 400°C por mais 4 horas e resfriado em dessecador durante aproximadamente 24 horas, obtendo-se assim o óxido de ferro nanoparticulado. Os fracionados da semente de moringa foram submetidos à sonicação com diferentes quantidades de nanopartículas durante 5 minutos e homogeneizados a temperatura ambiente durante 2 h. Sendo os coagulantes preparados com água destilada a uma concentração de 1%. Os coagulantes foram, então, denominados como AlbFe (fração de albumina funcionalizada) e GloFe (fração de globulina funcionalizada).

2.2 ENSAIOS DE COAGULAÇÃO

Os ensaios de coagulação/floculação avaliaram as frações de coagulantes em diferentes dosagens a fim de se verificar qual proporcionaria a melhor remoção do corante

RP5. Assim foi utilizada uma solução de corante com concentração de 20 mg L⁻¹ para os ensaios iniciais, e ao final dos ensaios em jar test foram determinados os percentuais de remoção e cor residual do corante. A concentração de corante foi determinada por meio de uma curva padrão do corante RP5 (0 a 100 mg L⁻¹) por espectroscopia UV/vis (Espectro DR 5000 HACH) com um comprimento de onda de 597 nm. Os ensaios CF foram realizados em equipamento Jar test (Ethik Technology, 218-6 LDB), com regulador de velocidade, em recipientes contendo 300 mL de solução de corante. As condições operacionais do Jar test compreenderam uma mistura rápida de 3 minutos a 100 rpm e uma mistura lenta de 15 minutos a 15 rpm (MADRONA *et al.*, 2010), seguido por um período de sedimentação de 10 minutos com o campo magnético e 1 hora sem o campo magnético. Para os ensaios com a presença de campo magnético um ímã foi alocado abaixo dos recipientes contendo os 300 mL de solução.

A influência da concentração de proteína foi avaliada variando estas de 25 a 400 mg L⁻¹, ensaios nos quais a concentração de nanopartícula permaneceu fixa em 4 g L⁻¹. Além disso, foi avaliada a influência da concentração de corante (10, 20, 40, 60, 80 e 100 mg L⁻¹). Após obterem-se os melhores parâmetros para ambos os coagulantes, foi avaliada a capacidade de reutilizar as nanopartículas em processos sucessivos de coagulação do corante. Também foi avaliada a influência do campo magnético no tempo de sedimentação onde alíquotas de água foram coletadas em intervalos de tempo (0, 1, 2, 5, 10, 15, 30, 60, 90, 120 min) para análise do desempenho na remoção do corante RP5. Todas as variações dos parâmetros anteriormente citadas foram estipuladas com base em experimentos preliminares, com o objetivo de determinar os melhores intervalos de valores.

2.3 REGENERAÇÃO DAS NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS E APLICAÇÃO EM NOVOS CICLOS DE COAGULAÇÃO

Após o período de sedimentação toda a solução foi separada magneticamente e o lodo residual resultante do processo de CF foi lavado com uma solução de etanol 20% em água e agitado durante 15 minutos em uma temperatura ambiente. Após, as nanopartículas de óxido de ferro foram novamente separadas magneticamente e secas em estufa a 35°C durante aproximadamente 12 horas para, então, serem novamente funcionalizadas com as proteínas das sementes de moringa, obtendo-se, assim, um novo coagulante. Este coagulante foi utilizado para um novo ciclo de coagulação/floculação nas melhores condições encontradas para a coagulação até completar 5 ciclos de reutilização das nanopartículas magnéticas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a extração, fracionamento e secagem das proteínas da moringa, realizou-se a quantificação das proteínas totais em cada fração, como podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1: Concentração de proteína de cada fração proteica

Frações proteicas	Concentração de proteína (mg L ⁻¹)
Alb	8404,60
Glo	3758,26

Fonte: Dados da pesquisa

A partir da Tabela 1 é possível observar que a fração proteica correspondente a albumina apresenta maior concentração de proteína do que a fração correspondente a globulina. Este fato é importante, pois, os ensaios de coagulação são realizados de acordo

com a concentração de proteína que é adicionado a solução de corante e, por este motivo, o volume final de cada concentração varia de acordo com as duas frações proteicas, conforme mostrado na Tabela 2.

Além disso, Santos e colaboradores (2016) elucidam que a utilização de coagulantes com características magnéticas levam a formação de flocos magnéticos que podem ser atraídos por campos magnéticos, acelerando o processo de sedimentação e a remoção de parâmetros físico-químicos da água. Esse comportamento eleva as propriedades magnéticas das nanopartículas, resultando na incorporação/aglutinação de contaminantes da água. A associação de óxidos férrico com os componentes presentes na moringa realçam a efetividade dos processos presentes na coagulação e na floculação de impurezas (OKOLI *et al.*, 2012).

Tabela 2 - Dosagem de coagulante para cada fração de proteína.

Concentração de Alb (mg L ⁻¹)	Volume de Alb (mL)	Concentração de Glo (mg L ⁻¹)	Volume de Glo (mL)
50	1,78	25	1,99
75	2,67	50	3,99
100	3,56	75	5,98
115	4,10	100	7,98
130	4,64	125	9,97
200	7,13	200	15,96
300	10,70	300	23,94
400	14,27	400	31,92

Fonte: Dados da pesquisa

A Figura 1 mostra o efeito da dosagem dos coagulantes, AlbFe e GloFe, na eficiência de remoção do corante RP5. Para os ensaios manteve-se o pH 6, natural da solução de corante RP5 e a concentração de nanopartículas magnéticas utilizadas para funcionalizar cada fração proteica foi de 4 g L⁻¹. É possível observar que, com o aumento da concentração de AlbFe de 50 para 115 mg L⁻¹, ocorre um aumento na porcentagem de remoção do corante de 45 para 93%, respectivamente. Para este coagulante a concentração de 115 mg L⁻¹ foi a melhor, alcançando um residual de cor de 55 mg PtCo L⁻¹. Quando se utiliza 130 mg L⁻¹ a porcentagem diminui para 84%, e a partir desta concentração não há qualquer remoção do corante.

Ao mesmo tempo, uma dosagem maior da GlobFe, em comparação a AlbFe, é necessária para atingir uma eficiência de 91% e um valor de cor residual de 47 mg PtCo L⁻¹, sendo a melhor concentração de 200 mg L⁻¹. Além disso, a fração de Alb extraída das sementes de moringa apresenta uma concentração maior de proteína (8404,60 mg L⁻¹) do que a fração de Glo (3758,26 mg L⁻¹) como mostrado na Tabela 1.

Portanto, tratando-se de viabilidade, como o volume de coagulante utilizado em cada concentração varia de uma proteína para outra conforme a Tabela 2, utiliza-se um volume aproximadamente quatro vezes menor de Alb para atingir a dosagem ideal na coagulação do corante RP5.

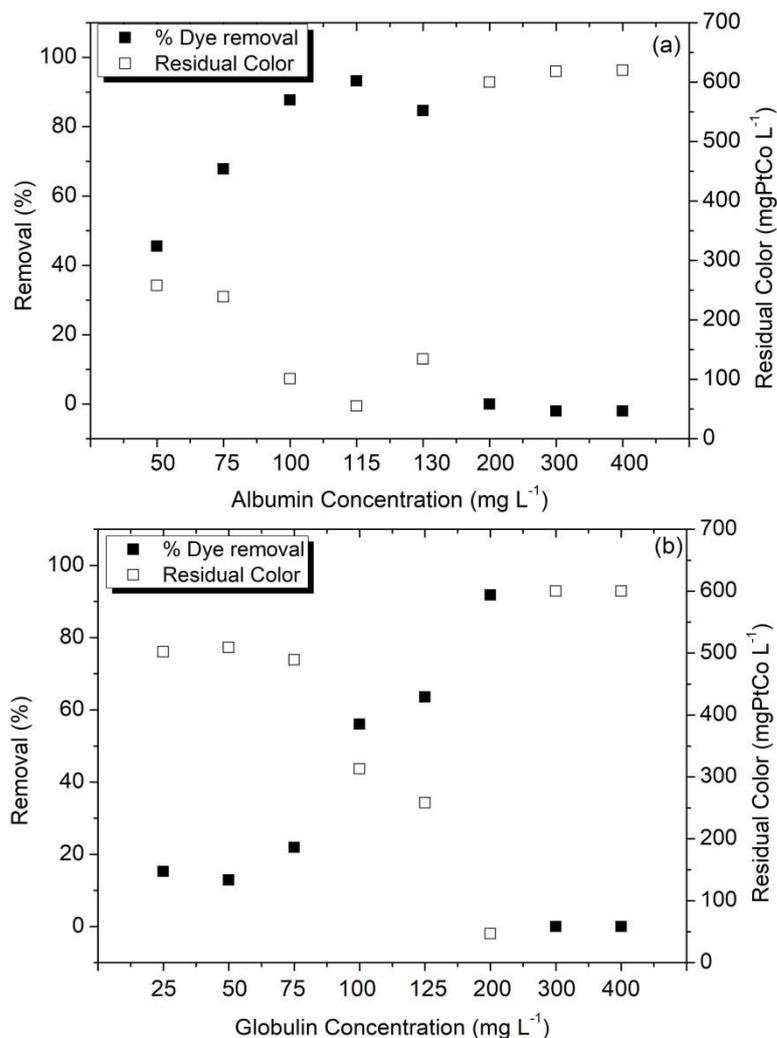


Figura 1 - Influência da concentração de Alb (a) e Glo (b) na remoção do corante Reativo Preto 5 (Concentração de corante: 20mg L⁻¹, cor: 600 mg PtCo L⁻¹, concentração de nanopartículas: 4 g L⁻¹, pH: 6).

Fonte: Dados da pesquisa

A Figura 1 demonstra que as proteínas extraídas da moringa tem uso limitado, ou seja, o aumento da sua concentração apresenta uma contribuição negativa para o processo de coagulação, pois altas concentrações não permitiram a formação de flocos e, por este motivo, a cor das nanopartículas magnéticas acabou influenciando na solução de corante. Esta característica aparenta ser um benefício quando o tratamento é realizado em grande escala, pois uma concentração menor desta proteína já é suficiente para tratar soluções aquosas contendo o corante em estudo. Como a dose de coagulante altera a quantidade de flocos formados e seu comportamento de sedimentação, a eficiência de remoção dos corantes diminui com a quantidade de coagulante, acima ou abaixo, de uma determinada dose ótima. Segundo Gregor *et al.* (1997), existe uma relação estequiométrica entre a carga negativa do corante e a quantidade de coagulante necessária para a coagulação.

A Figura 2 apresenta a influência da concentração do corante reativo Preto 5 em solução no processo de coagulação/floculação.

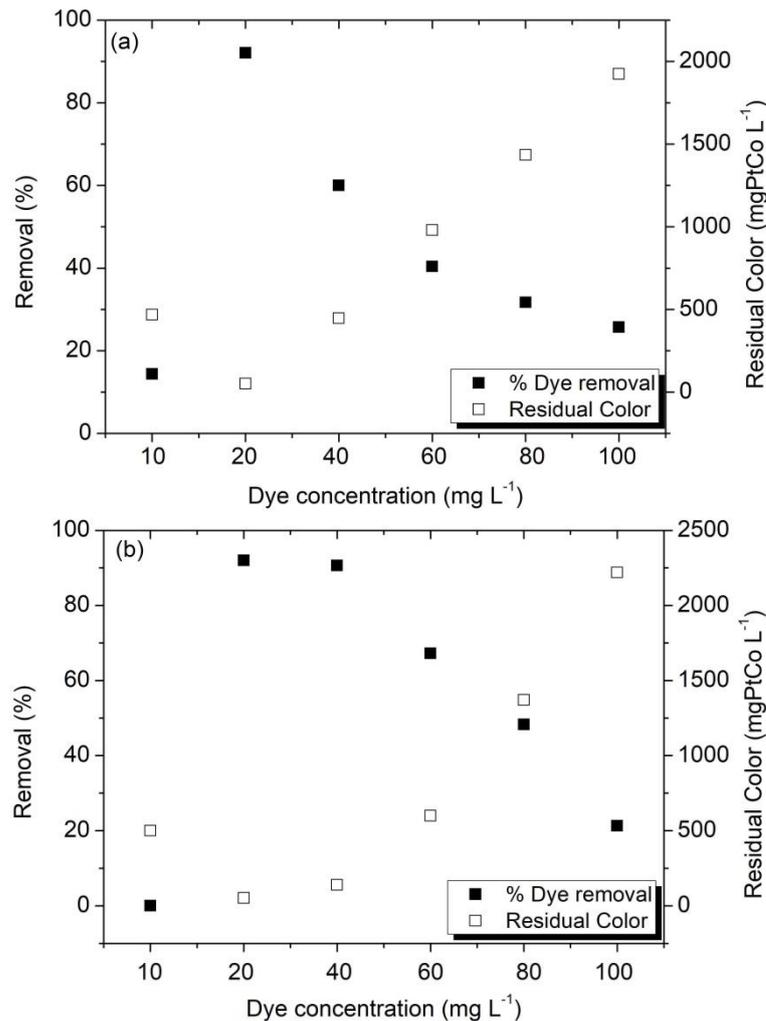


Figura 2: Influência da concentração do corante Reativo Preto 5 (Concentração de Alb_{Fe} (a): 115 mg L⁻¹, concentração de Glo_{Fe} (b): 200 mg L⁻¹, pH: 6).

Fonte: Dados da pesquisa

Variando a concentração de corante, conforme a Figura 2, a porcentagem de remoção com ambas as frações proteicas funcionalizadas atinge o máximo em 20 mg L⁻¹ de solução do RP5, sendo que, com a Glo_{Fe} a remoção ainda é eficiente em 40 mg L⁻¹ do corante em solução. Uma possível explicação a este fato é que, o mecanismo de ligação com a Glo_{Fe} é reforçado devido ao seu alto peso molecular e as interações dos diferentes grupos sulfônicos no corante.

A coagulação-floculação é controlada pelo mecanismo de neutralização de cargas (WEI *et al.*, 2017). O corante aniônico, contendo grupos sulfônicos, é eletrostaticamente atraído por grupos protonados, os quais permitem neutralizar as cargas aniônicas do corante RP5, que podem se ligar e se estabelecer. Quando a quantidade de grupos protonados atinge a completa neutralização das cargas aniônicas, a remoção do corante atinge um máximo. Ao aumentar a quantidade de corante à solução, a presença de um excesso de cargas aniônicas induziu uma re-estabilização da suspensão e uma diminuição na eficiência do processo (RECK *et al.* 2019).

A concentração de 20 mg L⁻¹ de corante Preto 5 da origem a uma coloração forte a solução e já é considerada uma concentração alta para estar presente em águas residuais. Segundo Aksu (2000), a indústria têxtil é responsável por 2/3 de todos efluentes relacionados a corantes, consumindo uma grande proporção de azocorantes devido a grande demanda pela indústria do algodão por cores brilhantes. Uma pequena quantidade de corante na água (10-50 mg L⁻¹), afeta a sua característica estética, sua transparência e

a solubilidade de gases. Uma pequena quantidade de corante na água ($10\text{-}50\text{ mg L}^{-1}$), afeta a sua característica estética, sua transparência e a solubilidade de gases. Mesmo não tendo uma legislação que restrinja a concentração deste tipo de corante nos efluentes, segundo a resolução do CONAMA nº 357 de 2005, à descarga desse tipo de resíduo não pode provocar a coloração do corpo receptor.

A Figura 3 mostra o efeito do tempo de sedimentação com e sem a presença do campo magnético, com os coagulantes AlbFe (a) e GloFe (b) nas concentrações de 115 mg L^{-1} e 200 mg L^{-1} respectivamente, conforme definido em ensaios preliminares, na eficiência de remoção do corante RP5. Para os ensaios manteve-se o pH 6, natural da solução de corante RP5 e a concentração de nanopartículas magnéticas utilizadas para funcionalizar cada fração proteica foi de 4 g L^{-1} .

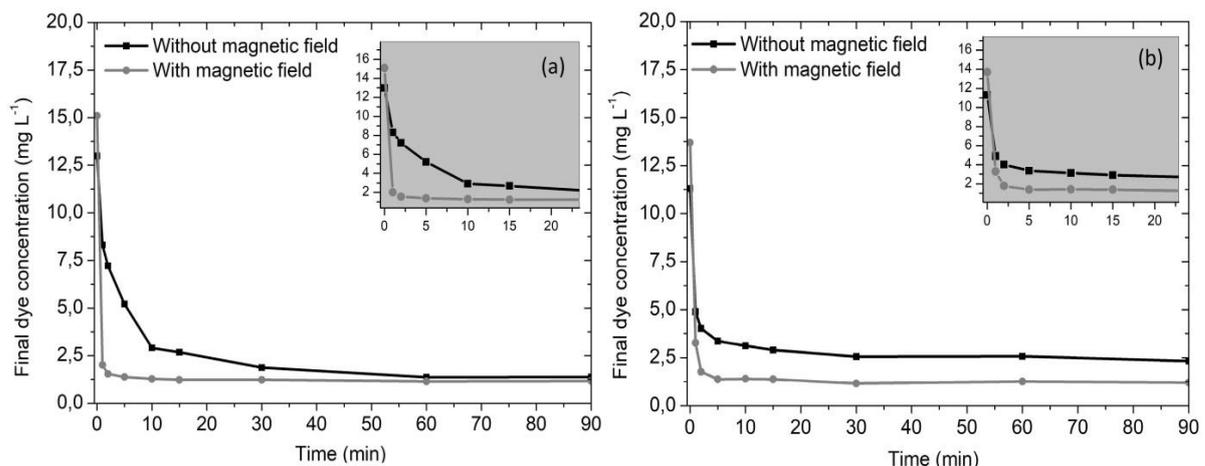


Figura 3 - Tempo de sedimentação na ausência de campo magnético e na presença de campo magnético.

Fonte: Dados da pesquisa

De acordo com a Figura 3, é possível comparar a eficiência de remoção sem e com a influência do campo magnético. De maneira geral, observa-se que a presença do campo magnético acelera de forma eficiente o processo de sedimentação. A remoção do corante RP5 com a AlbFe com nanopartículas magnéticas atinge aproximadamente 94% de remoção em 5 minutos de sedimentação com campo magnético, o que equivale a uma concentração final de corante de $1,15\text{ mg L}^{-1}$, e em 60 minutos sem o campo magnético. Enquanto que, a coagulação utilizando GloFe sem a presença do campo magnético atinge, aproximadamente, 86% de remoção em 30 minutos, equivalente a $2,33\text{ mg L}^{-1}$ no sobrenadante, após a sedimentação.

Estes resultados comprovam que ambos coagulantes magnéticos são capazes de reduzir de forma eficiente o tempo de sedimentação do processo. Ainda, Hatamie *et al.* (2016), verificaram a eficácia de um novo coagulante nano-ferrofluido magnético na remoção de íons perigosos importantes, como cátions Cd^{2+} , Co^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} e Cu^{2+} , e observaram uma remoção maior que 90%, além de uma grande capacidade de diminuir turbidez e DQO e excelente eficiência antibacteriana. Os autores evidenciam o preparo ecológico e barato, a facilidade de uso e diminuição do tempo de separação com campo magnético externo em comparação com os coagulantes comerciais disponíveis.

Mateus *et al.* (2018) analisou a eficiência de extratos salinos das sementes de moringa funcionalizados com nanopartículas de magnetita na obtenção de água potável. O estudo mostrou uma eficiência de remoção de 96,8% para turbidez, 97,1% para a cor aparente e 58,3% para o UV254nm após 10 min de sedimentação magnética, provando que o processo de coagulação pode ser otimizado e que o tempo de sedimentação pode ser reduzido de 30 min para 10 min.

O reuso das nanopartículas magnéticas foi avaliado em 5 ciclos sucessivos de coagulação/floculação nas condições ótimas de cada coagulante. A sedimentação magnética foi realizada sobre influência de campo magnético previamente descrito. Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 4.

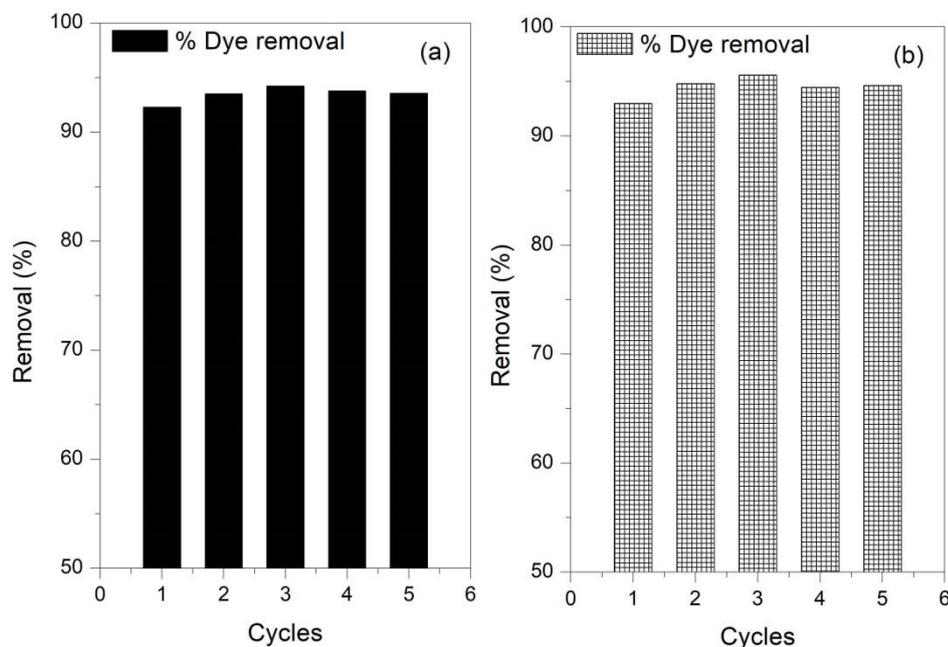


Figura 4 - Ciclos de reuso das nanopartículas magnéticas (Concentração de Alb_{Fe} (a): 115 mg L⁻¹, concentração de Glo_{Fe} (b): 200 mg L⁻¹, pH: 6, concentração de corante: 20 mg L⁻¹).

Fonte: Dados da pesquisa

Com base nos resultados obtidos, pode-se observar que, com o passar dos ciclos de coagulação, a capacidade das nanopartículas magnéticas em auxiliar no processo de sedimentação não apresenta grandes alterações. As remoções obtidas em relação ao corante RP5 se mantiveram superiores a 90% em todos os ensaios de reuso e para ambas as frações proteicas coagulantes funcionalizadas. Santos *et al.* (2018) também avaliaram a capacidade de reuso de nanopartículas magnéticas lavadas com etanol para funcionalização do extrato de moringa e realizaram a caracterização após a lavagem. Os autores observaram que, após a lavagem com etanol, as nanopartículas não apresentaram bandas provenientes de impurezas residuais da síntese, como nitrato e carbonato (1400-1700 cm⁻¹) e grupos C-H (2900-2800 cm⁻¹). Portanto, a lavagem com etanol é capaz de remover as impurezas das nanopartículas de óxido de ferro, aumentando ligeiramente a eficiência do processo de coagulação.

Okoli *et al.* (2012) também realizaram experimentos com nanopartículas funcionalizadas com proteínas extraídas da moringa. Os autores observaram que os processos envolvidos na reutilização das nanopartículas não alteraram a energia eletrostática envolvida na interação entre os componentes proteicos e as nanopartículas magnéticas sintetizadas via microemulsão. Essa afirmação também é válida para o presente estudo, o que evidencia a capacidade de reutilização do material sintetizado e sua refuncionalização.

Assim, o presente método de lavagem e reutilização das nanopartículas se faz válido para o estudo de remoção do corante RP5, evidenciando o potencial de reutilização do material sintetizado e refuncionalizado. Estes resultados demonstram o quanto este material é pertinente em relação às questões ambientais, pois possibilita reduzir a geração de lodo ao final do processo e facilita a separação das partículas coaguladas através do campo magnético aplicado.

4 CONCLUSÃO

O presente estudo mostra que a combinação das frações proteicas coagulantes, Alb e Glo, extraída das sementes da moringa, com um composto magnético (nanopartículas de óxido de ferro) é uma boa alternativa para o tratamento do corante Reativo Preto 5, principalmente devido ao menor tempo de sedimentação necessário para obter boas mudanças, usando sedimentação magnética.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- AKSU, Z. *et al.* Equilibrium and kinetic modelling of biosorption of remazol black B by *rhizopus arrhizus* in a batch System: effect of temperature. **Process Biochemistry**, v. 36, p. 431-439, 2000.
- ALLÈGRE, C. *et al.* Treatment and reuse of reactive dyeing effluents. **Journal of Membrane Sciences**, v. 269, p. 15-34, 2006.
- BAPTISTA, A. T. A. *et al.* Protein fractionation of seeds of moringa oleifera Lam and its application in superficial water treatment. **Separation and Purification Technology**, v. 180, p. 114–124, 2017.
- BAPTISTA, A. T. A. *et al.* Coagulation–flocculation process with ultrafiltered saline extract of Moringa oleifera for the treatment of surface water. **Chemical Engineering Journal**, v. 276, p. 166-173, 2015.
- GREGOR, J. *et al.* Fenton, E. Optimizing natural organic matter removal from low turbidity waters by controlled pH adjustment of aluminium coagulation. **Water Research**, v. 3, p. 2949-2958, 1997.
- HATAMIE, A. *et al.* Evaluating magnetic nano-ferrofluid as a novel coagulant for surface water treatment. **Journal of Molecular Liquids**, v. 219, p. 694-702, 2016.
- KYZAS, G. Z. *et al.* Graphene composites as dye adsorbents: Review. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 129, p. 75-88, 2018.
- MADRONA, G. S. *et al.* Study of the effect of saline solution on the extraction of the Moringa oleifera seed's active component for water treatment. **Water Air Soil Pollut**2, v. 211, p. 409-415, 2010.
- MATEUS, G. A. P. *et al.* Obtaining drinking water using a magnetic coagulant composed of magnetite nanoparticles functionalized with *Moringa oleifera* seed extract. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, p. 4084-4092, 2018.
- OKOLI, C. *et al.* Protein-functionalized magnetic iron oxide nanoparticles: time efficient

potential-water treatment. **Journal of Nanoparticle Research**, v. 14, p. 127-135, 2012.

OSBORNE, D. R. The Analysis of nutrient in foods. **Academic Press**, London, UK, 1878.

RECK, I. M. *et al.* Protein fractionation of *Moringa oleifera* Lam. seeds and functionalization with magnetic particles for the treatment of reactive black 5 solution.

Canadian Journal of Chemical Engineering, v. 97, p. 2309-2317, 2019.

SANTOS, T. T. *et al.* Magnetic coagulant based on *Moringa oleifera* seeds extract and superparamagnetic nanoparticles: optimization of operational conditions and reuse evaluation. **Desalination and Water Treatment**, v. 106, p. 226-237, 2018.

SANTOS, T. T. *et al.* Development of a magnetic coagulant based on *Moringa oleifera* seed extract for water treatment. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, p. 7692-7700, 2016.

SILVA, M. F. *et al.* Nanometric particle size and phase controlled synthesis and characterization of g-Fe₂O₃ or (a + g)-Fe₂O₃ by a modified sol-gel method. **Journal of Applied Physics**, v. 114, p. 104311-104317, 2013.

VALE-JUNIOR, E. *et al.* Treatment of an azo dye effluent by peroxi-coagulation and its comparison to traditional electrochemical advanced processes. **Chemosphere**, v. 204, p. 548-555, 2018.

WEI, Y. *et al.* Preparation of an inorganic coagulant-polysilicate-magnesium for dyeing wastewater treatment: Effect of acid medium on the characterization and coagulation performance. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 72, p. 142-148, 2017.