REMOÇÃO DE POLUENTES EMERGENTES UTILIZANDO NANOPARTÍCULAS CORE-SHELL MAGNÉTICAS

Lucas Augusto Forcellini Alves (DQMC/UDESC), Karine Priscila Naidek (DQMC/UDESC)

INTRODUÇÃO

A presença de poluentes emergentes em ambientes aquáticos, incluindo fármacos, corantes sintéticos, pesticidas e outros compostos orgânicos, representa um desafio para os processos convencionais de tratamento de água. Nesse contexto, nanopartículas magnéticas apresentam interesse para aplicações ambientais devido à possibilidade de separação do material por aplicação de um campo magnético e de posterior recuperação e reutilização. A modificação da superfície da magnetita (Fe_3O_4) com óxidos metálicos pode conferir propriedades adicionais ao material e ampliar suas possibilidades de aplicação em processos de adsorção e/ou fotocatálise. Assim, este trabalho teve como objetivo desenvolver nanopartículas magnéticas core-shell de Fe_3O_4@Nb_2O_5 visando sua aplicação na remoção de poluentes emergentes. Nesta etapa do estudo, foram realizadas a síntese e a caracterização físico-química do material, como etapas necessárias para sua posterior avaliação em processos de remoção e degradação de contaminantes.

DESENVOLVIMENTO

A obtenção das nanopartículas Fe_3O_4@Nb_2O_5 foi realizada em duas etapas. Inicialmente, para a síntese da magnetita, 3,5 g de $FeSO_4$ foram adicionados a 250 mL de água destilada, mantendo-se a solução sob agitação e aquecimento entre 80 e 90 °C por 20 minutos. Separadamente, 1,9 g de KOH e 0,13 g de KNO_3 foram dissolvidos em 30 mL de água destilada, com o pH ajustado entre 12 e 14. Essa solução foi adicionada à solução contendo $FeSO_4$, mantendo-se a agitação e a temperatura por mais 20 minutos. O material obtido foi separado magneticamente, lavado três vezes com água destilada e uma vez com etanol e, posteriormente, seco à temperatura ambiente.

Para a etapa de modificação da superfície, 0,2 g de Fe_3O_4 e 0,6 g de oxalato de nióbio foram adicionados a 20 mL de água destilada e mantidos sob agitação por 1 hora. Em seguida, o pH foi ajustado para 12 com solução de NaOH 1 mol L^{-1} e a suspensão foi mantida sob agitação por mais 20 horas. As nanopartículas obtidas foram separadas magneticamente e secas à temperatura ambiente.

Os materiais sintetizados foram caracterizados por espectroscopia vibracional na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e difratometria de raios X (DRX). As propriedades superficiais das nanopartículas Fe_3O_4@Nb_2O_5 também foram avaliadas por meio da determinação do ponto de carga zero (PCZ), considerando a variação entre os valores de pH inicial e final das suspensões contendo o material.

RESULTADOS

A análise por FTIR das nanopartículas Fe_3O_4@Nb_2O_5 apresentou uma banda intensa em aproximadamente 581 cm^{-1}, atribuída às vibrações das ligações Fe–O características da magnetita. Também foi observada uma banda em 3416 cm^{-1}, associada à presença de grupos O–H e/ou moléculas de água adsorvidas na superfície do material. A banda observada em aproximadamente 880 cm^{-1} foi atribuída a vibrações envolvendo ligações Nb–O, fornecendo evidências da presença de espécies contendo nióbio no material sintetizado (Seidel, 2021).

Os difratogramas obtidos para os materiais sintetizados apresentaram reflexões características da fase cristalina da magnetita. Para a Fe_3O_4, foram observados picos de difração em aproximadamente 18,26°, 30,12°, 35,44°, 43,08°, 53,40°, 56,94° e 62,56°, associados aos planos cristalográficos (111), (220), (311), (400), (422), (511) e (440), respectivamente, em concordância

com dados reportados para a magnetita (Swanson et al., 1967; Urian, 2023). A permanência das reflexões características da magnetita após a etapa de modificação indica a preservação de sua estrutura cristalina.

A avaliação do ponto de carga zero permitiu caracterizar o comportamento superficial das nanopartículas Fe_3O_4@Nb_2O_5, sendo obtido um pH_{PCZ} de aproximadamente 6,9. Em valores de pH superiores ao pH_{PCZ}, a superfície do material tende a apresentar carga líquida negativa, enquanto em valores inferiores tende a apresentar carga positiva. Esse parâmetro é relevante para a definição das condições de aplicação do material, uma vez que influencia as interações entre a superfície das nanopartículas e as espécies presentes em solução.

A etapa de avaliação fotocatalítica prevista no plano de trabalho não pôde ser concluída durante a maior parte do período em razão da indisponibilidade do sistema de fotocatálise. Com a recente instalação de um novo fotoreator, estão sendo realizados testes de funcionamento e de padronização das condições experimentais para posterior avaliação da eficiência das nanopartículas na degradação de contaminantes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos demonstraram a síntese de nanopartículas contendo a fase cristalina da magnetita, conforme evidenciado pela difratometria de raios X. A análise por FTIR identificou bandas características das ligações Fe–O e sinais atribuídos a espécies contendo nióbio, compatíveis com a modificação do material. A determinação do ponto de carga zero complementou a caracterização das propriedades superficiais das nanopartículas e fornecerá subsídios para a definição das condições experimentais de aplicação. Com a recente disponibilização de um novo fotoreator, os estudos terão continuidade com a avaliação do desempenho do material em processos fotocatalíticos para degradação de contaminantes.

Palavras-chave: nanopartículas magnéticas; magnetita; óxido de nióbio; fotocatálise.

ANEXOS

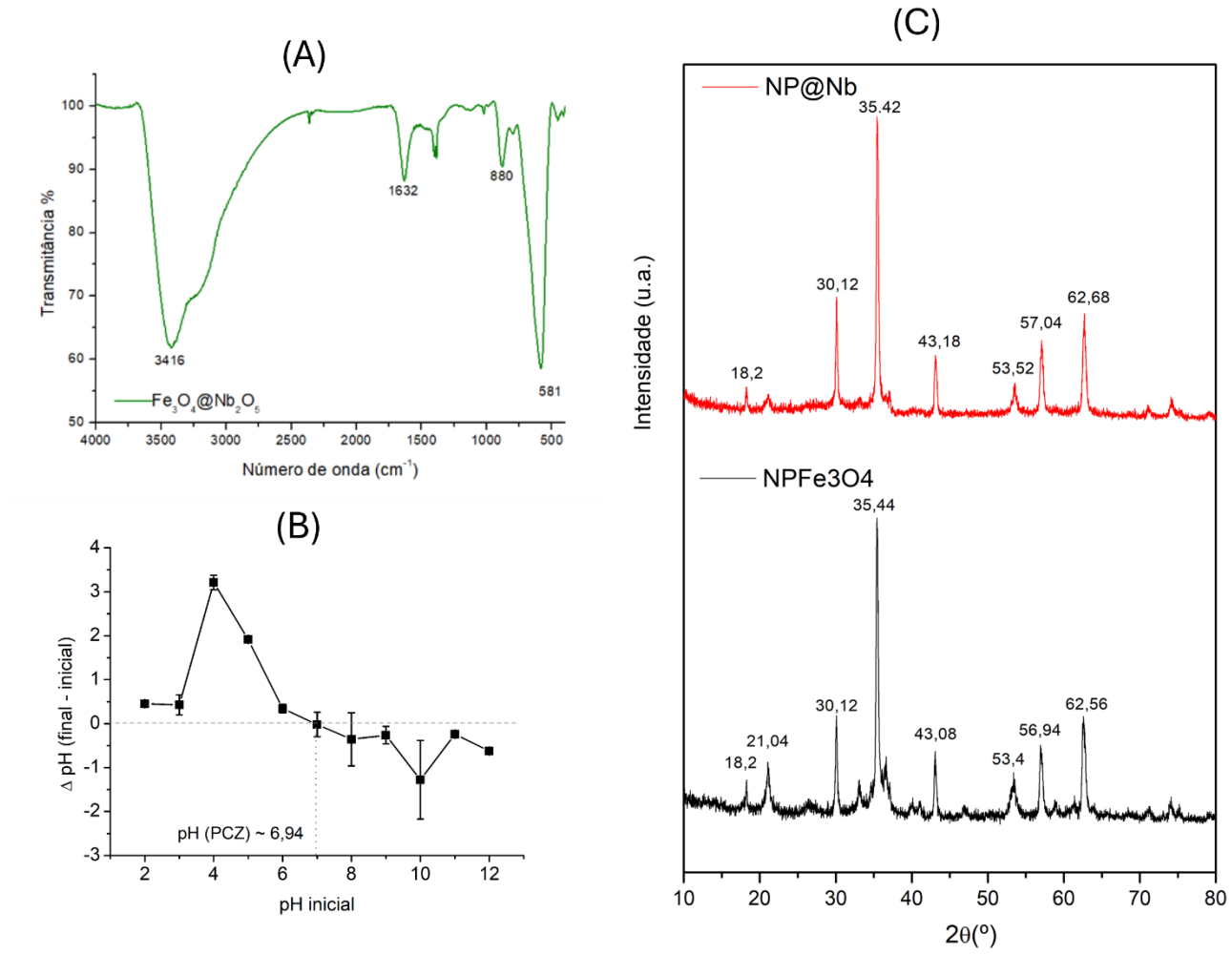


Figura 1. *Caracterização das nanopartículas Fe_3O_4@Nb_2O_5: (A) espectro vibracional na região do infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), evidenciando bandas em aproximadamente 3416 cm^{-1}, atribuída a grupos O–H/água adsorvida, 880 cm^{-1}, associada a vibrações envolvendo ligações Nb–O, e 581 cm^{-1}, característica das vibrações Fe–O da magnetita; (B) determinação do ponto de carga zero (pH_{PCZ}) a partir da variação de ΔpH (pH final − pH inicial) em função do pH inicial, com valor estimado de aproximadamente 6,9; e (C) difratogramas de raios X das nanopartículas Fe_3O_4 e Fe_3O_4@Nb_2O_5, com reflexões características da fase cristalina da magnetita, indicando a preservação da estrutura cristalina após a modificação da superfície. No painel (B), os pontos correspondem à média de três determinações e as barras de erro representam o desvio-padrão (n = 3).*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIMA, C. G. S. et al. Highly efficient and magnetically recoverable niobium nanocatalyst for the multicomponent Biginelli reaction. *ChemCatChem*, v. 6, p. 3455–3463, 2014.

SCHNEIDER, Mariane. *Aplicação de nanopartículas Fe_3O_4@ZnO na fotocatálise para a descoloração de corantes têxteis industriais*. 2025. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, 2025.

SEIDEL, Adriana. *Descoloração de corantes utilizando nanopartículas core-shell*. 2021. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, 2021.
SWANSON, H. E. et al. *Standard X-ray diffraction powder patterns*. National Bureau of Standards Monograph 25, Section 5. United States Department of Commerce, 1967.
TOMA, Henrique E.; SILVA, Delmárcio Gomes da; CONDOMITTI, Ulisses. *Nanotecnologia experimental*. São Paulo: Blucher, 2016. E-book. p. 65. ISBN 9788521210672. Disponível em: https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521210672/. Acesso em: 14 ago. 2026.
URIAN, A. Y. *Estudo das propriedades de superfície e de interações de nanopartículas de Fe_3O_4 recobertas com ácido oleico e óleo essencial*. 2023. Tese (Doutorado em Física Experimental) – Universidade de Brasília, 2023.