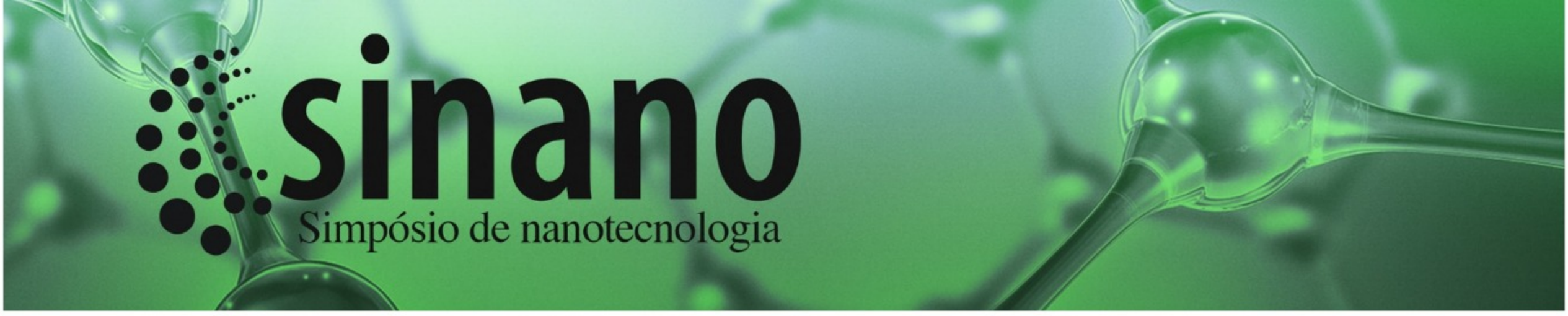


ELABORAÇÃO DE NANOSSORVENTES MAGNETICOS RECICLÁVEIS PARA REMOÇÃO DE TOLUENO EM ÁGUA CONTAMINADA USANDO HIPERTERMIA MAGNÉTICA

Fernanda L. Rodovaho[1]; Gustavo Capistrano[2]; Juliano A. Gomes[3]; Fernando F. Sodré[4]; Juliano A. Chaker[5]; Alex F. C. Campos[6]; Andris F. Bakuzis[2]; Marcelo H. Sousa[5]*;

1. Faculdade de Planaltina, Universidade de Brasília, Planaltina – DF 73300-000, Brasil;
2. Instituto de Física, Universidade Federal de Goiás, Goiânia – GO 74690-900, Brasil;
3. 3Instituto de Criminalística, Polícia Civil do Distrito Federal, Brasília-DF 70610-200, Brasil;
4. Instituto de Química, Universidade de Brasília, Brasília – DF 70910-900, Brasil;
5. Green Nanotechnology Group, Faculdade de Ceilândia, Universidade de Brasília, Ceilândia – DF 72220-900, Brasil;
6. culdade de Planaltina, Universidade de Brasília, Planaltina – DF 73300-000, Brasil;

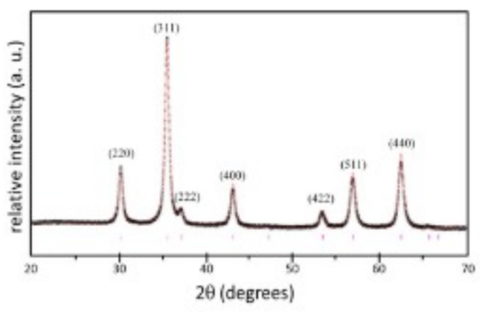
* Corresponding author: nanda.rodovalho@gmail.com

Introduction

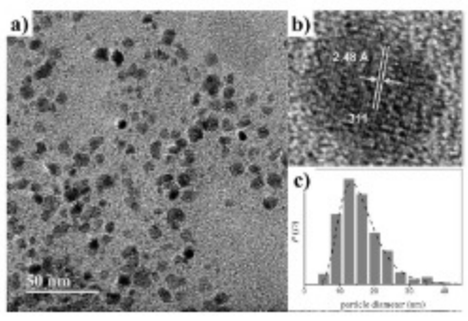
Nanossorventes magnéticos são materiais que possuem diversas aplicações ambientais, incluindo a detecção e remoção de poluentes em água. No presente trabalho, o efeito térmico causado pela interação dos momentos magnéticos das nanopartículas com campo magnético alternado (AMF) – hipertermia magnética - é proposto para ilustrar a possibilidade de reciclagem do nanossorvente enquanto se realiza a remediação de água contaminada por tolueno, um contaminante tóxico e altamente volátil. O nanossorvente utilizado é produto da coprecipitação de nanopartículas magnéticas de cobalto e manganês funcionalizadas com polidimetilsiloxano, medindo aproximadamente 15 nm.

Methodology

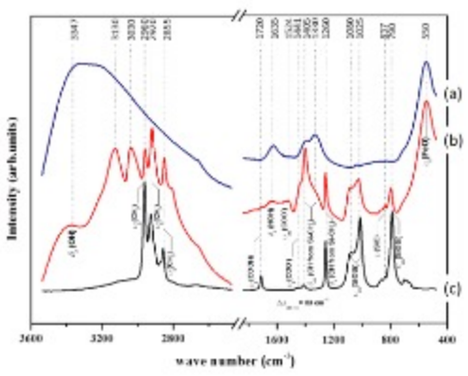
A estrutura química e as características magnéticas do material adsorvente nanosintetizado foram analisadas utilizando técnicas de espectrometria de emissão óptica com plasma (ICP-OES), difração de Raio-X (XRD), microscopia eletrônica de transmissão de alta resolução *(HRTEM)*, espectrometria no infravermelho por transformada em Fourier (FTIR) e magnometria de amostra vibrante (VSM).



Difração de Raio-X



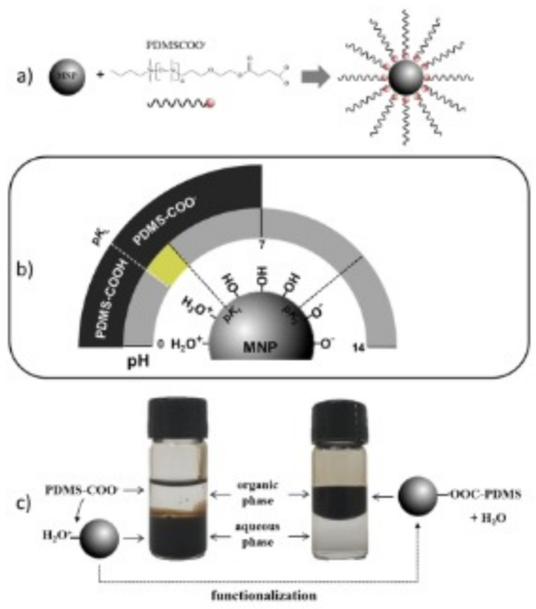
Microscopia eletrônica de transmissão e histograma do tamanho das nanopartículas



Espectrometria no Infravermelho por transformada em Fourier a) nanopartícula pura , b)nanopartícula funcionalizada com PDMS, c) PDMS

Results

Os experimentos demonstraram que o nanossorvente pode ser recuperado utilizando técnicas magnéticas e que o material apresenta grande afinidade com o tolueno em solução aquosa (~325 mg/g), seguindo o modelo de Langmuir. Além disso, a aplicação do AMF resultou em um aquecimento uniforme do nanossorvente (posteriormente separado da água contaminada) e desencadeou a rápida evaporação do tolueno, otimizando a reutilização do nanossorvente - mesmo após sete ciclos a eficiência de remoção do contaminante foi bastante alta (83%).



Funcionalização da nanopartícula com polidimetilsiloxano

Conclusion

O método de coprecipitação magnética e a funcionalização da nanopartícula com polidimetilsiloxano permitiu a síntese de um material com tamanho de 15nm. O nanossorvente apresenta núcleo magnético e superfície com altíssima afinidade com o contaminante tolueno. Experimentos de adsorção quantitativa mostraram que a adsorção do tolueno segue o modelo de Langmuir com capacidade máxima de adsorção de ~325 mg/g.

O foco principal do trabalho foi mostrar que a hipertermia magnética permite a liberação rápida e eficiente do tolueno do nanossorvente, melhorando assim, o processo de reciclagem do material. As nanopartículas magnéticas, ao interagirem com o AMF, geram calor e, consequentemente, facilitam a evaporação do contaminante.

References

[1]Olawoyin, R.; Heidrich, B.; Oyewole, S.; Okareh, O. T.; McGlothlin, C. W., Chemometric analysis of ecological toxicants in petrochemical and industrial environments. Chemosphere 2014, 112, 114-119.
[2] Farhadian, M.; Vachelard, C.; Duchez, D.; Larroche, C., In situ bioremediation of monoaromatic pollutants in groundwater: A review. Bioresource Technol 2008, 99 (13), 5296-5308.
[3] Hu, Z. Z.; Beuret, M.; Khan, H.; Ariya, P. A., Development of a Recyclable Remediation System for Gaseous BTEX: Combination of Iron Oxides Nanoparticles Adsorbents and Electrochemistry. Acs Sustain Chem Eng 2014, 2 (12), 2739-2747.
[4] Basu, S.; Yadav, B. K.; Mathur, S., Enhanced bioremediation of BTEX contaminated groundwater in pot-scale wetlands. Environ Sci Pollut R 2015, 22 (24), 20041-20049.
[5] Zhan, J. J.; Sunkara, B.; Le, L.; John, V. T.; He, J. B.; McPherson, G. L.; Piringer, G.; Lu, Y. F., Multifunctional Colloidal Particles for in Situ Remediation of Chlorinated Hydrocarbons. Environ Sci Technol 2009, 43 (22), 8616-8621.
[6] Adeleye, A. S.; Conway, J. R.; Garner, K.; Huang, Y. X.; Su, Y. M.; Keller, A. A., Engineered nanomaterials for water treatment and remediation: Costs, benefits, and applicability. Chem Eng J 2016, 286, 640-662.
[7] Ambashta, R. D.; Sillanpaa, M., Water purification using magnetic assistance: A review. J Hazard Mater 2010, 180 (1-3), 38-49.
27
[8] Sauve, S.; Desrosiers, M., A review of what is an emerging contaminant. Chem Cent J 2014, 8.
[9] Tang, S. C. N.; Lo, I. M. C., Magnetic nanoparticles: Essential factors for sustainable environmental applications. Water Res 2013, 47 (8), 2613-2632.
[10] Carmi, J. D.; Olivares, I.; Grossi, P.; Lancas, F. M., Refrigerated Sorptive Extraction: Determination of BTEX in Water Samples. J Chromatogr Sci 2009, 47 (9), 812-816.
[11] Mata, A.; Fleischman, A. J.; Roy, S., Characterization of polydimethylsiloxane (PDMS) properties for biomedical micro/nanosystems. Biomed Microdevices 2005, 7 (4), 281-293.
[12] Wilson, K. S.; Goff, J. D.; Riffle, J. S.; Harris, L. A.; St Pierre, T. G., Polydimethylsiloxane-magnetite nanoparticle complexes and dispersions in polysiloxane carrier fluids. Polym Advan Technol 2005, 16 (2-3), 200-211.
[13] Mefford, O. T.; Carroll, M. R. J.; Vadala, M. L.; Goff, J. D.; Mejia-Ariza, R.; Saunders, M.; Woodward, R. C.; St Pierre, T. G.; Davis, R. M.; Riffle, J. S., Size analysis of PDMSmagnetite nanoparticle complexes: Experiment and theory. Chem Mater 2008, 20 (6), 2184-2191.
[14] Kim, J. A.; Lee, S. H.; Park, H.; Kim, J. H.; Park, T. H., Microheater based on magnetic nanoparticle embedded PDMS. Nanotechnology 2010, 21 (16).
[15] Sotebier, C.; Michel, A.; Fresnais, J., Polydimethylsiloxane (PDMS) Coating onto Magnetic Nanoparticles Induced by Attractive Electrostatic Interaction. Appl Sci-Basel 2012, 2 (2), 485-495.
28
[16] Wang, J. H.; Zheng, S. R.; Shao, Y.; Liu, J. L.; Xu, Z. Y.; Zhu, D. Q., Aminofunctionalized Fe3O4@SiO2 core-shell magnetic nanomaterial as a novel adsorbent for aqueous heavy metals removal. J Colloid Interf Sci 2010, 349 (1), 293-299.
[17] Kostal, J.; Mulchandani, A.; Gropp, K. E.; Chen, W., A temperature responsive biopolymer for mercury remediation. Environ Sci Technol 2003, 37 (19), 4457-4462.
[18] Kumar, A.; Sharm, G.; Naushad, M.; Thakur, S., SPION/beta-cyclodextrin core-shell nanostructures for oil spill remediation and organic pollutant removal from waste water. Chem Eng J 2015, 280, 175-187.
[19] Ito, A.; Honda, H.; Kobayashi, T., Cancer immunotherapy based on intracellular hyperthermia using magnetite nanoparticles: a novel concept of "heat-controlled necrosis" with heat shock protein expression. Cancer Immunol Immun 2006, 55 (3), 320-328.
[20] Sousa, M. H.; da Silva, G. J.; Depeyrot, J.; Tourinho, F. A.; Zara, L. F., Chemical analysis of size-tailored magnetic colloids using slurry nebulization in ICP-OES. Microchem J 2011, 97 (2), 182-187.
[21] Yavuz, C. T.; Mayo, J. T.; Yu, W. W.; Prakash, A.; Falkner, J. C.; Yean, S.; Cong, L. L.; Shipley, H. J.; Kan, A.; Tomson, M.; Natelson, D.; Colvin, V. L., Low-field magnetic separation of monodisperse Fe3O4 nanocrystals. Science 2006, 314 (5801), 964-967.
[22] Verde, E. L.; Landi, G. T.; Gomes, J. A.; Sousa, M. H.; Bakuzis, A. F., Magnetic hyperthermia investigation of cobalt ferrite nanoparticles: Comparison between experiment, linear response theory, and dynamic hysteresis simulations. J Appl Phys 2012, 111 (12).
29
[23] Verde, E. L.; Landi, G. T.; Carriao, M. S.; Drummond, A. L.; Gomes, J. A.; Vieira, E. D.; Sousa, M. H.; Bakuzis, A. F., Field dependent transition to the non-linear regime in magnetic hyperthermia experiments: Comparison between maghemite, copper, zinc, nickel and cobalt ferrite nanoparticles of similar sizes. Aip Adv 2012, 2 (3).
[24] Brabers, A. M. Progress in spinel ferrite research, in Handbook of Magnetic Materials, K. H. J. Buschow, Ed., vol. 8, chapter 3, pp. 189–324, Elsevier, New York, NY, USA, 1995.
[25] Gomes, J. D.; Sousa, M. H.; Tourinho, F. A.; Aquino, R.; da Silva, G. J.; Depeyrot, J.; Dubois, E.; Perzynski, R., Synthesis of core-shell ferrite nanoparticles for ferrofluids: Chemical and magnetic analysis. J Phys Chem C 2008, 112 (16), 6220-6227.
[26] Feitoza, N. C.; Goncalves, T. D.; Mesquita, J. J.; Menegucci, J. S.; Santos, M. K. M. S.; Chaker, J. A.; Cunha, R. B.; Medeiros, A. M. M.; Rubim, J. C.; Sousa, M. H., Fabrication of glycine-functionalized maghemite nanoparticles for magnetic removal of copper from wastewater. J Hazard Mater 2014, 264, 153-160..
[27] Campos, A. F. C.; Aquino, R.; Cotta, T. A. P. G.; Tourinho, F. A.; Depeyrot, J. Using speciation diagrams to improve synthesis of magnetic nanosorbents for environmental applications. Bull. Mater. Sci. 2011, 34(7), 1357–1361.
[28] Vestal, C. R.; Zhang, Z. J., Effects of surface coordination chemistry on the magnetic properties of MnFe2O4 spinel ferrite nanoparticles. Journal of the American Chemical Society 2003, 125 (32), 9828-9833.
30
[29] Jacintho, G. V. M.; Brolo, A. G.; Corio, P.; Suarez, P. A. Z.; Rubim, J. C., Structural Investigation of MFe2O4 (M = Fe, Co) Magnetic Fluids. J Phys Chem C 2009, 113 (18), 7684-7691.
[30] Sousa, M. H.; Tourinho, F. A.; Rubim, J. C., Use of Raman micro-spectroscopy in the characterization of M(II)Fe2O4 (M = Fe, Zn) electric double layer ferrofluids. J Raman Spectrosc 2000, 31 (3), 185-191..
[31] Al-Oweini, R.; El-Rassy, H., Synthesis and characterization by FTIR spectroscopy of silica aerogels prepared using several Si(OR)(4) and R '' Si(OR ')(3) precursors. J Mol Struct 2009, 919 (1-3), 140-145.
[32] Nakamoto, K. Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds; Wiley: New York, 1986.
[33] Sasaki, T.; Tanaka, S., Adsorption behavior of some aromatic compounds on hydrophobic magnetite for magnetic separation. Journal of Hazardous Materials 2011, 196, 327–334.
[34] Baig, S. A.; Sheng, T.; Sun, C.; Xue, X.; Tan, L.; Xu, X., Arsenic Removal from Aqueous Solutions Using Fe3O4 -HBC Composite: Effect of Calcination on Adsorbents Performance, PLoS ONE 2014, 9 (6), e100704