

# 9º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



**9º CONGRESSO**  
Brasileiro de **P&D** em  
**PETRÓLEO E GÁS**

**Maceió, AL**  
de 09 a 11 de novembro  
**2017**

*Realização:*



**ABPG**  
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE P&D EM  
PETRÓLEO E GÁS



## **TÍTULO DO TRABALHO:**

Desenvolvimento de formulação de um fluido magnético para separação de petróleo em água.

## **AUTORES:**

Ellen Vandra Pereira Oliveira Vallim

Mariana Duque de Andrade

Carolina Rocha Luiz Vianna

## **INSTITUIÇÃO:**

Centro Universitário de Barra Mansa - UBM

## DESENVOLVIMENTO DE FORMULAÇÃO DE UM FLUIDO MAGNÉTICO PARA SEPARAÇÃO DE PETRÓLEO EM ÁGUA

### Abstract

The leakage of oil into the sea leads to significant losses for the oil industry and the environment, as it causes a large decrease in oil production and, consequently, a reduction in the profits of the oil industry. And also for the environment, since oil is not a common substance in the sea and for the lives that inhabit there, that is, the oil contaminates the sea water. To minimize impacts, viable and economical solutions are needed, where technology is a great ally, and over the years, new methods have emerged to remove oil from water more effectively. One of these new methods is the formulation of magnetic nanoparticles suspended in an organic fluid or water, known as ferrofluid or magnetic fluid. The techniques of formulation of ferrofluid have been improving, so this technique is not only used in the petroleum area, but in several areas, such as medicine that are used as contrasts for magnetic resonance imaging. With this context, the main objective of this work is to formulate a magnetic fluid for the removal of oil spilled in water.

### Introdução

As inovações tecnológicas são primordiais para a manutenção do conhecimento em qualquer área. Para a engenharia, isso não poderia ser mais imprescindível, já que as áreas tecnológicas movem a vida moderna. Muitas dessas inovações se iniciaram graças à descoberta de petróleo. O processo de extração de petróleo ocasiona muitos impactos, tanto econômico quanto ambiental. O derramamento de óleo tem causado números incriveis de poluição maciça na água, pois além de enormes superpetroleiros transportarem óleo, a ampla exploração de petróleo no mar tem provocado acidentes, cada vez mais comuns. Isso provoca a morte de inúmeras vidas marinhas, devastando o ecossistema do local em que o derramamento acontece. Devido a essa imensurável quantidade de óleo perdida, deve haver um jeito de recuperar os mesmos, e ainda reduzir esse impacto ambiental.

Pensando nesse problema, investiga-se uma solução econômica e viável, através da pesquisa sobre fluidos magnéticos, denominados “ferrofluidos”, que é um óleo com surfactante que apresenta grande magnetização na presença de um campo magnético, devido a sua composição de partículas em escala nanométrica. Para sua aplicação, as nanopartículas magnéticas dependem das características físicas e físico-químicas, tais como morfologia, composição, especificidades superficiais que garantam a interação desejada e eficiência nas suas aplicações especiais (LACAVA (2009)).

Segundo Faria (2014), na década de 60 a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) a fim de controlar combustíveis durante a inexistência de gravidade, deu origem aos fluidos magnéticos. Foi descoberto que ao submeter partículas magnéticas moídas ao combustível, e expor a mistura na presença de um campo magnético, era possível obter controle e direcionar a solução.

De acordo com Faria (2014), os fluidos magnéticos são sistemas coloidais (misturas com partículas de diâmetro entre 1,0 nm e 1000 nm) compostos por nanopartículas ferromagnéticas ou ferrimagnéticas suspensas com um fluido carreador, usualmente a água ou solvente orgânico. A estabilidade do fluido magnético não é facilmente obtida e, segundo Garcia (2014), deve-se tomar cuidado quanto ao tamanho da nanopartícula, além de que é necessária a utilização de surfactantes como ácido oleico que se organizam em volta da nanopartícula ferromagnética evitando a aglomeração de moléculas e assim permite a interação de Van der Waals entre elas.

Estudos de autores como Perez (2011), Costa (2014) e Almeida (2009) apontam metodologias para a síntese de óxido de ferro magnético, como a magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), que pode ser utilizada para a formulação de fluidos magnéticos. Espera-se que o fluido magnético sintetizado a partir dessas nanopartículas carreado em óleo vegetal seja capaz de se ligar ao petróleo derramado em água e, com

a aplicação de campo magnético (com uso de ímãs), todo esse aglomerado seja atraído ao ímã e assim, seja possível a separação entre óleo e água.

Seguindo este pressuposto pesquisa consistiu em sintetizar partículas magnéticas de óxido de ferro (magnetita), através da mistura de sais de ferro, cloreto férrico ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) e sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), pelo método de co-precipitação, a partir do qual posteriormente será preparado o fluido magnético.

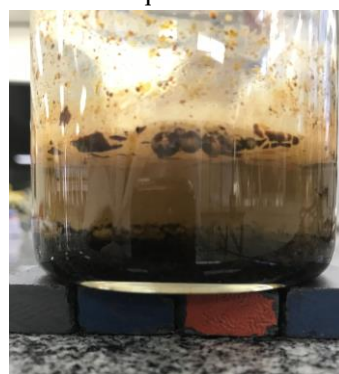
### Metodologia

A síntese das partículas magnéticas de óxido de ferro pelo método de co-precipitação, iniciou-se com a mistura de 2,44 g de cloreto férrico ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) solubilizado em 20 mL de água destilada em um béquer de 50 mL e em outro bequer pesou-se 1,25 g de sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) solubilizado em 20 mL de água destilada. Em seguida, uniram-se as duas misturas em um béquer de 100 mL, que foi colocado no agitador térmico e magnético por 10 minutos com uso de bailarina para completa homogenização da mistura.

Após ser retirado do agitador, adicionou-se 25 mL de hidróxido de amônio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) na mistura, ponto em que imediatamente a solução tornou-se preta, conforme figura 1a, que foi deixada descansando sobre um ímã até que as partículas precipitassem (que ocorreu em cerca de 30 minutos), como pode ser visto na figura 1b. Após os 30 minutos o excesso de fase líquida foi descartado.



(a)



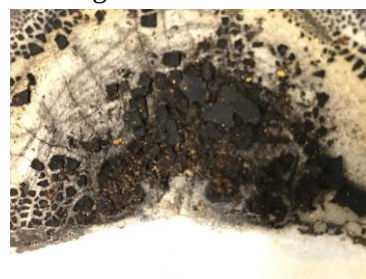
(b)

Figura 1 – Síntese das partículas magnéticas: (a) adição do  $\text{NH}_4\text{OH}$ ; (b) partículas precipitadas sobre o ímã.

Logo depois realizou-se o primeiro processo de lavagem das partículas precipitadas (em papel de filtro), com a utilização intercalada de álcool etílico ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ) e água destilada, até que a solução atingiu um pH neutro. Primeiro, utilizou-se 50 mL de álcool etílico e o pH medido foi de 11, depois 50 mL de água destilada e o pH medido foi de 10 e por último, 30 mL de álcool etílico, onde foi atingido a pH neutro. Então, deixaram-se as partículas secarem por 7 horas à temperatura ambiente, exposto ao ar. As partículas úmidas e depois secas podem ser visualizadas nas figuras 2a e 2b.



(a)



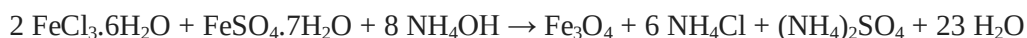
(b)

Figura 2– Partículas magnéticas: (a) úmidas; (b) secas.

A última etapa da síntese das partículas magnéticas foi a mistura das mesmas com ácido oleico ( $\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$ ). Misturou-se, no agitador térmico e magnético, com auxílio de bailarina, 1,234 g da

partícula com 12,3 mL de ácido oleico, por 10 minutos. Com a mistura pronta, efetuou-se a segunda lavagem, utilizando-se 100 mL de álcool etílico. Por último, procedeu-se à secagem das partículas sobre um ímã por 4 horas.

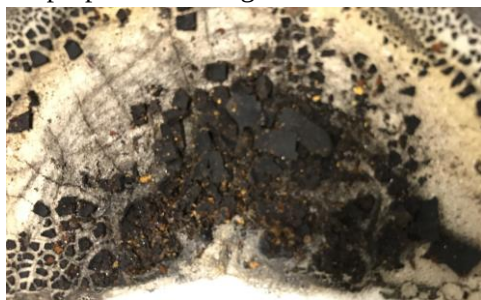
A reação envolvida no processo de síntese das partículas de magnetita pode ser descrita conforme a equação química abaixo.



Com as partículas já sintetizadas, a procede-se à preparação do fluido magnético. Para a isso será utilizado um óleo de origem vegetal, possivelmente óleo de rícino, extraído da mamona, espécie vegetal muito comum na região Sul Fluminense onde se encontra o Centro Universitário. Esta etapa não está completa, sendo que já estão sendo realizados testes da extração do óleo através da hidrodestilação e adição às partículas já sintetizadas, para posterior experimento utilizando-se petróleo bruto.

## **Resultados e Discussão**

A partir desse procedimento utilizando-se cloreto de ferro III e sulfato ferroso, verifica-se que ocorreu a síntese de óxidos de ferro, na forma de placas, conhecidas como magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), um mineral misto composto por dois óxidos de ferro,  $\text{FeO}$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . A magnetita apresenta coloração característica preta, como pode ser visto nas figuras 3a e 3b. É possível então perceber que para se obter as propriedades magnéticas é necessário a obtenção dos íons  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Fe}^{3+}$ .



(a)



(b)

Figuras 3: Partículas magnéticas sintetizadas: (a) presença de magnetita (preta); (b) em detalhe as placas de magnetita.

Analisando ainda as figuras 3 (a e b) observa-se também o aparecimento de partículas de cor amarelada, alaranjada e avermelhada, que não apresentam resposta ao campo magnético. De acordo com Perez (2011), essas propriedades são características de outro óxido de ferro, conhecido como goethita, com composição ( $\text{FeO}(\text{OH})$ ). Portanto, acredita-se se tratar deste mineral.

As propriedades magnéticas das partículas sintetizadas foram testadas com o uso de ímãs, como pode ser visto na figura 4, de modo que as partículas de coloração escura (magnetita), claramente acompanham a movimentação do ímã utilizado, que era passado embaixo da placa de petri que continha as partículas. De acordo com Ortiz (2000), a propriedade magnética da magnetita se advém da presença de um campo magnético externo, sendo que essa capacidade se perde com a retirada do campo. Isso ocorre devido ao fato de que os átomos individuais não conseguem manter a sua orientação magnética.

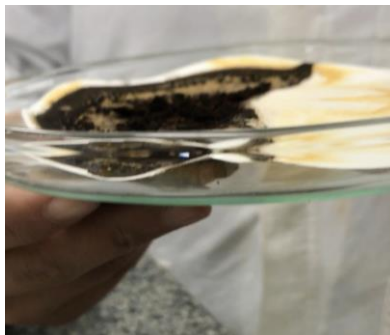


Figura 4 – Aplicação de campo magnético sobre as partículas sintetizadas.

Além disso, espera-se sintetizar com sucesso um fluido magnético a partir das partículas sintetizadas adicionadas a um óleo vegetal, para que se estude a possibilidade da utilização deste fluido magnético na separação de petróleo derramado em água, através da imposição de campo magnético, para que seja possível a recuperação deste e minimização dos impactos causados por esse tipo de acidente.

### Conclusões

Conclui-se que a síntese de partículas magnéticas, como a magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), foi eficaz através do método de co-precipitação, utilizando sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ) e cloreto férrico ( $\text{FeCl}_3$ ), juntamente com uma base ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ), já que o composto sintetizado apresentou resposta magnética quando exposto a um campo magnético, na forma de um ímã. Entretanto, percebeu-se que partículas de coloração avermelhada, sintetizadas junto com a magnetita, não possuem a mesma característica, já que não apresentam propriedades magnéticas, e acredita-se que seja o mineral conhecido como goethita.

Pretende-se utilizar essas partículas na formulação de um fluido magnético, a base de óleo de rícino, que será utilizado em experimentos para a separação de petróleo em água, de modo que o fluido seja agregado ao petróleo e que, com o uso de campo magnético, seja possível a sua remoção.

### Agradecimentos

Agradecemos à FAPERJ, ao Centro Universitário de Barra Mansa, ao Núcleo de Pesquisa, Inovação de Difusão das Engenharias e a todos os técnicos e professores que nos auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho.

### Referências Bibliográficas

- ALMEIDA, J. B. Caracterização de fluido magnético à base de óleos vegetais de babaçu, copaíba e mamona. Fundação Universidade Federal de Rondônia. Ji-Paraná, RO. 2009.
- COSTA, M. C. Caracterização de nanopartículas magnéticas utilizando magnetômetro versátil de efeito Hall. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ. 2014.
- FARIA, R. G. Síntese hidrotérmica de nanopartículas de ferrita de bário. Universidade de Brasília. Brasília – DF. 2014.
- GARCIA, R. D. A. Avaliação de nanofluidos no isolamento elétrico de transformadores – determinação da suportabilidade dielétrica de um ferrofluido a impulso atmosférico. Universidade federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro – RJ. 2014.
- LACAVA, B. M. Síntese de fluido magnético a base de maghemita para produção de nanocápsulas magnéticas de albumina bovina. Universidade de Brasília Instituto de Química. Brasília – DF. 2009.
- ORTIZ, N. Estudo da utilização de magnetita como material adsorvedor dos metais  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Pb}^{+2}$ ,  $\text{Ni}^{+2}$  e  $\text{Cd}^{+2}$ , em solução. Doutor em ciências na área de tecnologia nuclear – aplicações. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Universidade de São Paulo. São Paulo, SP. 2000.

## **9º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS**

PEREZ, G. Produção, caracterização e estruturas de magnetita: nanopartículas, filmes finos e padrões litografados. Doutor em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ. 2011.