

Desenvolvimento de fluidos magnéticos para aplicação em transformadores

VIALI, Wesley Renato¹; SARTORATTO, Patrícia Pommé Confessori²

Palavras-chave: maguemita, fluido magnético, estabilidade coloidal

1. INTRODUÇÃO (justificativa e objetivos)

Visando uma maior eficiência na transmissão e na distribuição de energia elétrica se faz necessário a utilização de altas densidades de corrente e altas voltagens dentro do transformador. Altas correntes aumentam a geração de calor, limitando a corrente máxima utilizada, enquanto altas voltagens aumentam o nível de tensão elétrica aplicado sobre os componentes isolantes do transformador, fazendo-se necessário um aumento em suas dimensões físicas para garantir um isolamento eficiente¹. Com a finalidade de aumentar a capacidade de resfriamento e isolamento, a utilização de fluidos magnéticos em transformadores vem sendo alvo de estudos².

A preparação de fluidos magnéticos para a utilização em transformadores de alta voltagem requer a dispersão de nanopartículas magnéticas em óleo isolante mineral¹ ou vegetal e a obtenção de dispersões coloidais estáveis. A utilização destes baseia-se em duas funções principais. Primeiro como líquido refrigerante, intensificando as trocas de calores (mecanismo padrão de convecção, Arquimedes, e convecção termomagnética), possibilitando a redução da temperatura de operação do transformador. O mecanismo de troca de calor entre as partes mais internas e o trocador de calor não fica restrito ao mecanismo padrão (Arquimedes) aumentando a eficiência das trocas de calor, uma vez que, o gradiente de calor criado pelas partes internas do transformador atua sobre as nanopartículas magnéticas melhorando as correntes de convecção (convecção termomagnética). Segundo, como líquido isolante, a presença de nanopartículas magnéticas na fase óleo aumenta a constante dielétrica do fluido, tornando possível a operação do transformador em voltagens maiores e ou a redução do tamanho do equipamento².

Uma das dificuldades de se preparar fluidos magnéticos está relacionada à estabilidade coloidal das nanopartículas na fase líquida. Dois mecanismos são conhecidos para estabilização do estado coloidal, denominados estabilização estérica e estabilização eletrostática. Neste trabalho utilizou-se a estabilização estérica, a qual é alcançada quando há na superfície das nanopartículas, moléculas de cadeias carbônicas grandes. Neste trabalho foi utilizado o ácido oléico para promover a estabilização estérica, por promover melhor estabilidade coloidal, quando comparado a outros ácidos carboxílicos³ e por ser um dos componentes principais de alguns óleos isolantes vegetais⁴. Portanto, para se preparar fluidos magnéticos com potencialidade para a utilização em transformadores é necessário sintetizar nanopartículas que, depois de revestidas com moléculas orgânicas, possam ser dispersas em óleo isolante, resultando em um sistema coloidal estável com propriedades elétricas adequadas nas condições de trabalho do transformador.

2. METODOLOGIA

2.1 – Síntese das nanopartículas de γ -Fe₂O₃.

As nanopartículas de γ -Fe₂O₃ foram preparadas através da oxidação com nitrato férrico e ácido nítrico⁵ de nanopartículas de magnetita, as quais foram obtidas método de coprecipitação dos íons Fe²⁺ e Fe³⁺ em uma solução alcalina de hidróxido de sódio, utilizando-se uma proporção molar Fe²⁺/Fe³⁺ = 0,5 e pH = 13, à temperatura ambiente⁶.

As nanopartículas foram funcionalizadas adicionando oleatos, os quais promoveram a substituição de grupos aquo ligados à superfície das nanopartículas. As nanopartículas revestidas com o oleato podem, então, serem dispersas em óleo isolante⁵. Foram obtidas duas amostras PNH 1 e PNH 2.

2.2 – Preparação dos fluidos magnéticos a base de nanopartículas de $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$.

As nanopartículas de $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ revestidas com carboxilatos tiveram o excesso de etanol retirado através de fluxo de nitrogênio. Amostras do sólido obtido foram separadas para a realização de análises de espectroscopia na região do infravermelho médio e análise elementar (CHN), e dispersou-se o material restante em 150 mL de óleo isolante⁵. Os fluidos resultantes foram mantidos sob agitação mecânica constante por 48 horas, e depois foram centrifugados a 3000 rpm por 3 minutos. Uma parte do sobrenadante foi levada a aquecimento a 85 °C sob pressão reduzida por 80 horas para reduzir o teor de água a níveis aceitáveis, 5 a 15 mg L⁻¹, e outra parte foi armazenada. Após a redução do teor de água, os fluidos foram centrifugados a 3000 rpm por 5 min.

2.3 – Métodos físicos de caracterização.

As nanopartículas de maguemita obtidas para a preparação dos fluidos foram caracterizadas por difratometria de raios X, DRX, espectroscopia na região do infravermelho, DRIFTS, por espectroscopia na região do visível, e por microscopia de transmissão eletrônica (TEM) e análise elementar (CHN). Os fluidos obtidos foram caracterizados quanto à concentração de nanopartículas, ao teor de água.

A concentração de nanopartículas nos fluidos foi determinada por espectrometria de absorção atômica. As medidas foram realizadas no laboratório de análise do Fundo de Fomento à Mineração de Goiás, em um equipamento Perkim Elmer 5000. Os difratogramas de raios X foram obtidos com amostras suportadas em vidro, entre 10 e 80 graus, em um equipamento Schimadzu, modelo XRD 6000, utilizando-se radiação Cu-K α ($\lambda=1,54056$), 40 kV e 30mA. A proporção molar Fe²⁺:Fe³⁺ nas nanopartículas foi determinada pelo método da ortofenantrolina, medindo-se as absorbâncias no comprimento de onda de 530 nm em um equipamento Beckman, modelo BU-1100. O teor de água foi monitorado pelo método Karl Fischer (norma ASTM D1533). Os espectros IV-FT das nanopartículas foram obtidos em um espectrômetro Bomem, modelo MB100, com resolução de 4 cm⁻¹, utilizando-se acessório de refletância difusa e amostras diluídas em KBr. As medidas de teor de carbono, hidrogênio e nitrogênio foram realizadas pela Central Analítica do Instituto de Química da USP de São Paulo. As microscopias de transmissão eletrônica foram realizadas em um microscópio de transmissão de elétrons JOEL modelo 1011, realizadas no Instituto de Física da Universidade de Brasília.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 – Caracterização das nanopartículas sintetizadas.

As nanopartículas de $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ sintetizadas foram caracterizadas por difração de raios X, comparando-se com padrões descritos na literatura (JCPDF, ficha nº 39-1346) Os difratogramas obtidos estão representados na figura 1.

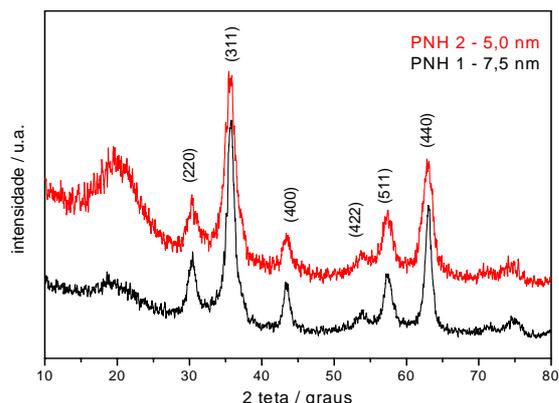


Figura 1. Difratoformas de raios-X das nanopartículas.

A partir dos difratogramas obtidos foi possível, calcular o tamanho médio dos domínios cristalinos das ferritas sintetizadas, que encontram-se listados na tabela 1.

Tabela 1. Valores de 2θ e B utilizados no cálculo do tamanho médio dos domínios cristalinos das partículas de $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$.

Amostra	2θ (graus)	B (graus)	Tamanho médio (nm)
Silício	28,4318	0,126	---
PNH 1	35,6883	1,1167	7,5
PNH 2	35,6050	1,6500	5,0

A amostra PNH 2, foi também caracterizada quanto ao tamanho médio dos domínios cristalinos e sua polidispersão através microscopia de transmissão eletrônica (TEM). A imagem obtida e o histograma mostrando a polidispersão das nanopartículas estão representado na figura 2.

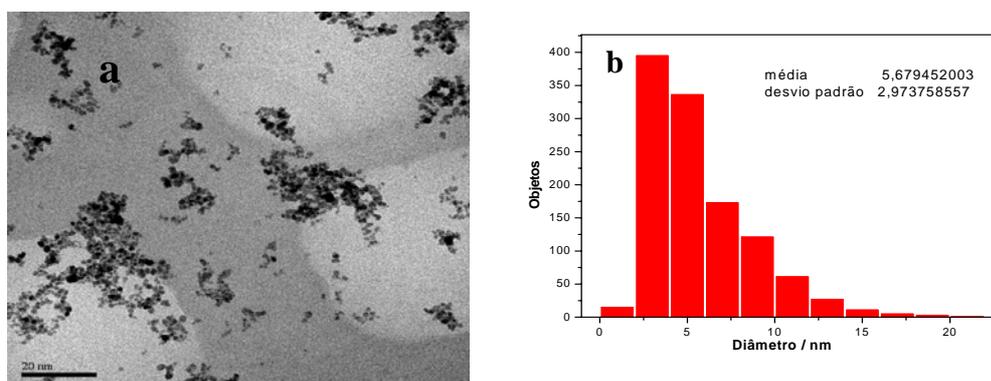


Figura 2. a) Imagem TEM das nanopartículas PNH 2 revestidas com ácido oléico b) Histograma da distribuição dos tamanhos mostra que o diâmetro médio das nanopartículas é $5,68 \pm 2,97$.

3.2 – Caracterização dos fluidos magnéticos.

Os fluidos preparados foram caracterizados quanto à concentração de partículas e ao teor de água. A estabilidade coloidal também foi estudada em função do tempo e da temperatura de aquecimento, da concentração de água nos fluidos, da adição de ácido oléico como aditivo e do teor de revestimento das nanopartículas. Os dados encontrados para a estabilidade coloidal, listados na tabela 2 podem ser devido à troca do revestimento das nanopartículas de maguemita, a troca do ácido oléico pela água, diminui o grau do revestimento orgânico

possibilitando a formação de agregados e posterior sedimentação dos fluidos. A concentração dos fluidos modifica a relação entre a concentração de oleatos ligados às nanopartículas e a concentração de água, o que também acontece quando adicionamos água aos fluidos, modificando a cinética desta troca de ligantes. O aquecimento também pode estar acelerando esta troca de ligantes. A adição de ácido oléico pode estar dificultando a troca dos carboxilatos ligados pela água ao introduzir uma espécie química com maior afinidade.

Tabela 6. Estabilidade dos fluidos preparados em função da fração volumétrica dos fluidos, teor de água e aquecimento.

Fluido	(%V/V)	Teor de água (ppm)	Sem Aquecer	Aquecido 30 dias
MF-A	0,065	21	Estável	Sedimento após 180 dias
MF-B	0,065	500	Estável	Sedimentou após 60 dias
MF-C	0,026	21	Estável	Sedimentou após 168
MF-D	0,026	500	Estável	Sedimentou após 13 dias
MF-E	0,013	21	Estável	Sedimentou após 166 dias
MF-F	0,013	500	Estável	Sedimentou após 3 dias
MF-G	0,0065	21	Sedimentou após 39 dias	Sedimentou após 60 dias
MF-H	0,0065	500	Sedimentou após 26 dias	Sedimentou após 3 dias

4. CONCLUSÃO

As seguintes conclusões gerais podem ser apontadas:

- A estabilidade coloidal está ligada ao grau de revestimento orgânico das nanopartículas utilizadas.
- Além do grau de revestimento orgânico, fatores como a concentração dos fluidos, teor de água dos fluidos, adição de ácido oléico como aditivo e tempo de aquecimento, influenciam a estabilidade coloidal.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SEGAL, V.; US Patent 5,863,455 (1999)
- [2] SEGAL, V., Rabinovich, A.; Natrass, D.; Raj, K.; Nunes, A.; Experimental study of magnetic colloidal fluid behavior in power transformers. **J. Magn. Magn. Mater.** v. 215 - 216, p. 513-515 2000.
- [3] SARTORATTO, P.P.C.; SILVA NETO, A.V.; LIMA, E.C.D.; MORAES, P.C.; RODRIGUES de SÁ, A.L.C. Preparation and electrical properties of oil-based magnetic fluids. **J. Appl. Phys.**, v.97, 10Q917, 2005
- [4] CANNON, S. G.; HONARY, L. A. T.; US Patent 6,245,726 (2001)
- [5] Ewijk, G. A.; Vroege, G. J.; Philipse, A. P.; Convenient preparation methods for magnetic colloids. **J. Magn. Magn. Mater.** v. 201, p. 31-33, 1999.
- [6] AQUINO, R.; TOURINHO, F.A.; ITRI, R.; LARA, M.C.F.L.; DEPEYROT, J.; Size control of MnFe₂O₄ nanoparticles in electric double layered magnetic fluid synthesis. **J. Magn. Magn. Mater.** , v. 252, p. 23-25, 2002.

¹ Bolsista de iniciação científica. Instituto de Química – jdvialli@hotmail.com

² Orientadora/Instituto de Química/UFG, patricia@quimica.ufg.br