

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE NANOFERRITAS DE NÍQUEL SINTETIZADAS VIA MÉTODO SOL-GEL

Iasmim Nobre de Sousa¹, Alex Junior de Freitas Cabral²

¹ Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém-PA, Brasil
(iasmim.ns@discente.ufopa.edu.br)

² Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém-PA, Brasil

Resumo: Este estudo apresenta a produção de nanoferritas de níquel ($NiFe_2O_4$) via método sol-gel, calcinadas a 300°C, 400°C, 500°C e 600°C. As nanopartículas foram caracterizadas por DRX e os dados foram refinados pela técnica Rietveld no software GSAS-II. A partir dos dados fornecidos pelos refinamentos, foi possível observar que a temperatura influenciou as propriedades estruturais desse material, confirmando-se a formação da fase espinélio cúbica (Fd-3m), com alta pureza.

Palavras-chave: Nanomateriais; $NiFe_2O_4$; Sol-gel; Rietveld.

INTRODUÇÃO

Os nanomateria

baixas temperaturas, inibindo o crescimento dos grãos e, assim, fornecendo partículas de tamanho nanométrico (Patra; Verma, 2025).

A caracterização de ferritas espinélio por difração de raios X (DRX) em conjunto com refinamento Rietveld permite determinar as propriedades estruturais e microestruturais, como os parâmetros de rede, tamanho do cristalito e microdeformação. Essas propriedades estão relacionadas às propriedades magnéticas das nanoferritas (Jain, 2022).

Desse modo, este estudo tem como objetivo investigar as características estruturais e microestruturais de nanoferritas de níquel produzidas via rota sol-gel.

MATERIAL E MÉTODOS

As nanoferritas de níquel ($NiFe_2O_4$) foram sintetizadas pelo método sol-gel (Sen et al., 2015). As especificações dos reagentes químicos utilizados estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Reagentes utilizados na síntese de $NiFe_2O_4$.

Reagentes	Fórmula molecular	Pureza (%)	Massa utilizada (g)
Nitrato de níquel	$Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	97,0</	



d_{hkl} : Distância dos planos cristalográficos com os índices de Miller.

O método Rietveld é uma técnica de refinamento estrutural que permite contornar os problemas relacionados à sobreposição de picos por meio do ajuste completo da estrutura de um padrão de difração, a qual é calculada e comparada com os dados experimentais (Runčevski; Brown, 2021). Além disso, é possível extrair, de forma mais precisa, informações estruturais e microestruturais, como parâmetros de rede (a , b , c), posições atômicas (x , y , z), simetria da estrutura, cristalito, microdeformação (microstrain), perfil dos picos e fatores instrumentais (Scardi, 2020).

O refinamento é realizado com base no procedimento de mínimos quadrados, no qual os parâmetros são refinados até que a diferença entre o padrão calculado e o padrão observado seja mínima. Esse método tem como objetivo minimizar a função resíduo S , expressa pela equação (2) (Toby, 2024):

$$S = \sum_i w_i (y_{i,obs} - y_{i,calc})^2 \quad (2)$$

Em que:

w_i : peso estatístico a cada ponto do difratograma;

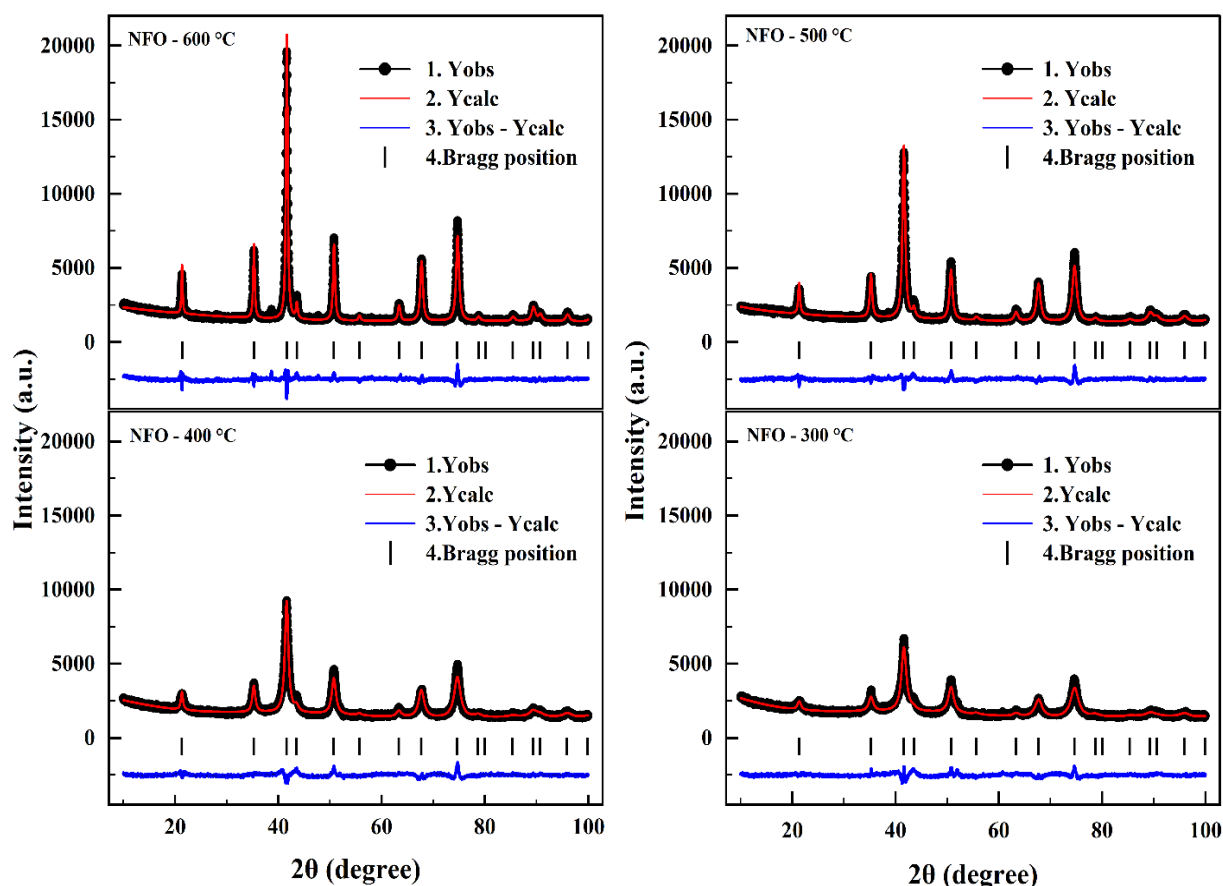


Figura 3. Difrátogramas refinados pelo método Rietveld das nanopartículas de NiFe_2O_4

A qualidade do refinamento foi analisada mediante os parâmetros estatísticos wR e GOF (*Goodness of Fit*). O fator wR é calculado a partir das diferenças entre as intensidades dos dados observados e calculados, além de considerar incertezas e erros associados. Já o parâmetro GOF compara os erros obtidos no refinamento com o erro estatístico mínimo esperado. Logo, um refinamento de boa qualidade apresenta minimização do fator wR e valores de GOF mais próximos de 1 (Van Gele; Bette; Lotsch, 2025).



REFERÊNCIAS

AHMAD, Syed Ismail. A review on synthesis and magnetic hyperthermia application of spinel nano ferrite. **Journal of Umm Al-Qura University for Applied Sciences**, 2025.

AHMED, Mahmoud *et al.* Nanostructured spinel ferrites: A comprehensive study on the synthesis, characterization, and magnetic properties of Zn and Mn substituted magnetite nanoparticles produced through the co-precipitation method. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 33, p. 5987–6010, 2024.

BISWAS, Bristy *et al.* Investigation of structural, optical, and magnetic properties of NiFe₂O₄ for efficient photocatalytic degradation of organic pollutants through photo fenton reactions. **Heliyon**, v. 10, n. 17, p. e37199, 2024.

BLECH, Kerstin; HOMBERGER, Melanie; SIMON, Ulrich. **Electrical Properties of Metal Nanoparticles**. (SCHMID, Günter, ed.). Wiley-VCH, Weinheim, 2010.

D. L. CHAUDHARI; D. S. CHOUDHARY; K. G. REWATKAR. Spinel Nanoparticles: Synthesis, Characterization, and Applications. **Recent Advances in Polymer Nanocomposites: Synthesis and Characterisation**, v. 4, n. 3, p. 973–978, 2020.