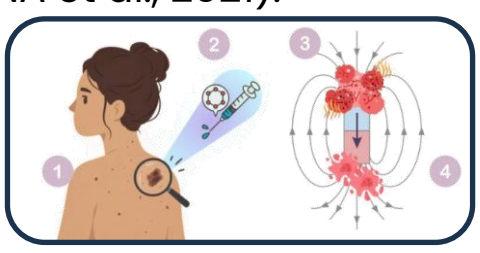
cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

Desenvolvimento de Sistemas de Ferritas Superparamagnéticas para Aplicação em Hipertermia Magnética

Autores: Angélica de Souza Goulart[1], Manuela dos Santos Uggioni [1], Oscar Rubem Klegues Montedo[1] e Sabrina Arcaro[1]
[1] Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais - UNESC

Introdução

O câncer representa um dos maiores desafios globais de saúde (LIU et al., 2022). A hipertermia magnética apresenta-se como uma alternativa terapêutica ao promover o aquecimento localizado do tumor (43–45 °C) por nanopartículas submetidas a um campo magnético alternado. As ferritas de zinco vem sendo estudadas devido suas propriedades que podem ser ajustadas pela composição química e pela síntese sol-gel citrato-nitrato (PRADEEP; PRIYADHARSINI; CHANDRASEKARAN, 2011; RAMANA et al., 2021).



Objetivos

- Desenvolver sistemas de ferritas mistas superparamagnéticas;
- Avaliar os efeitos dos parâmetros de síntese e funcionalização das nanopartículas obtidas.

Metodologia

Síntese das NPs

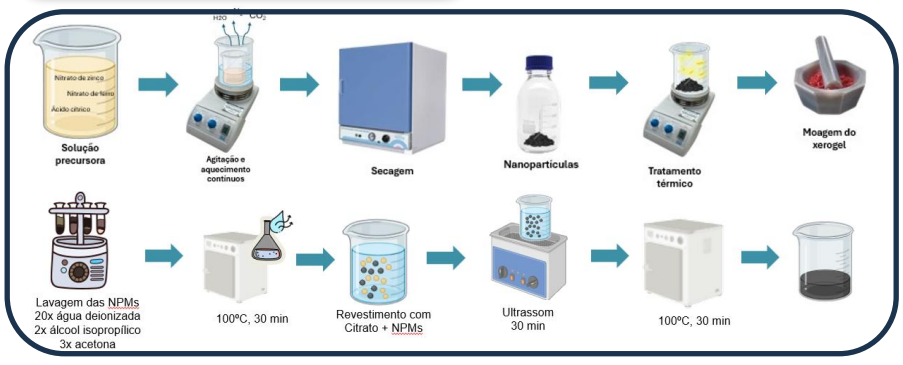
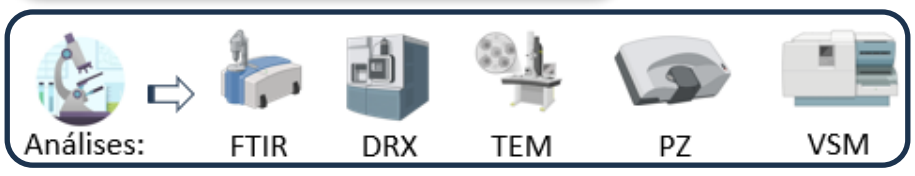


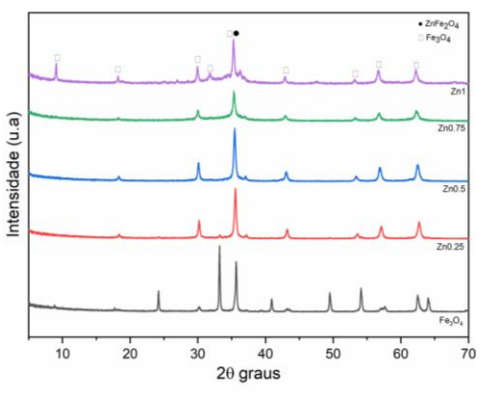
Figura 1. Representação da síntese sol-gel para obtenção da ferrita de zinco.

Caracterização das NPs



Resultados

Avaliação estrutural das ferritas de zinco

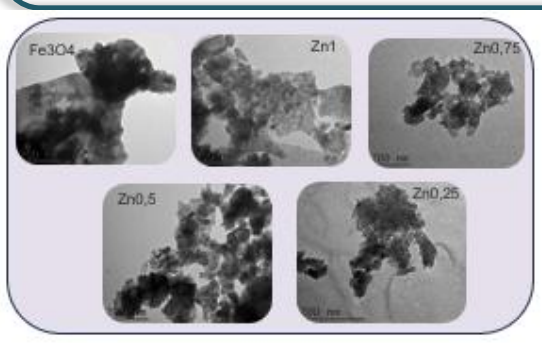


Amostra	Fase	D_{DRX} (nm)
$Zn_{0,25}Fe_{2,75}O_4$	Fe_3O_4	28
$Zn_{0,50}Fe_{2,50}O_4$	Fe_3O_4	26
$Zn_{0,75}Fe_{2,25}O_4$	Fe_3O_4	25
$ZnFe_2O_4$	$ZnFe_2O_4$	12

Tabela 1. Valores do tamanho de cristalito.

Figura 2. Análises de DRX das fases após tratamento térmico.

Avaliação morfológica das ferritas de zinco



Amostra	Tamanho médio (nm)
Fe_3O_4	22,5
$ZnFe_2O_4$	13,8
$Zn_{0,75}Fe_{2,25}O_4$	17,9
$Zn_{0,50}Fe_{2,50}O_4$	17,7
$Zn_{0,25}Fe_{2,75}O_4$	11,6

Tabela 2. Tamanho médio de NPs.

Figura 3. Análises de TEM das amostras de ferrita de zinco.

Avaliação da estabilidade das NPs

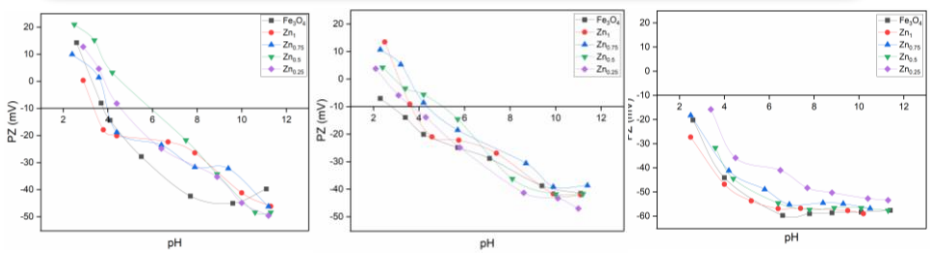
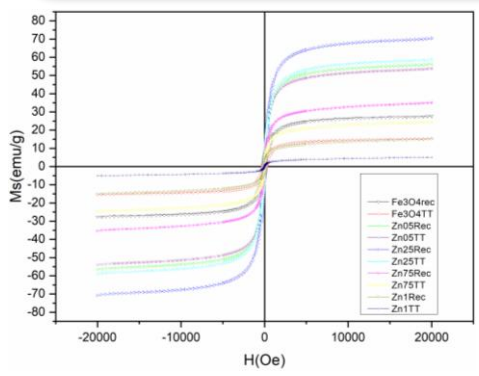


Figura 4. Análise de potencial zeta das nanopartículas.

Avaliação magnética das ferritas de zinco



Amostra TT	Ms (emu/g)	Mr (emu/g)	Hc(Oe)
Fe_3O_4	15,30	3,92	253,09
$ZnFe_2O_4$	5,13	0,47	42,78
$Zn_{0,50}Fe_{2,50}O_4$	24,75	1,81	40,70
$Zn_{0,75}Fe_{2,25}O_4$	53,97	5,72	71,40
$Zn_{0,25}Fe_{2,75}O_4$	58,74	7,58	105,20

Amostra Rec	Ms (emu/g)	Mr (emu/g)	Hc(Oe)
Fe_3O_4	27,65	7,02	243,86
$ZnFe_2O_4$	15,11	1,62	48,26
$Zn_{0,50}Fe_{2,50}O_4$	35,20	2,43	40,85
$Zn_{0,75}Fe_{2,25}O_4$	56,42	5,81	71,93
$Zn_{0,25}Fe_{2,75}O_4$	70,60	8,54	102,50

Tabela 3. Parâmetros magnéticos.

Figura 5. Análise de VSM das amostras com e sem recobrimento.

Conclusões

Ferritas mistas de zinco foram obtidas com sucesso pelo método sol-gel citrato/nitrato, apresentando estrutura espinélio e tamanho nanométrico. As caracterizações das amostras evidenciaram propriedades magnéticas promissoras, incluindo baixa remanência e elevada magnetização de saturação. Esses resultados indicam potencial para aplicações biomédicas, especialmente em hipertermia magnética.

Referências

LIU, N. N. et al. The “field or frequency” dilemma in magnetic hyperthermia: the case of Zn-Mn ferrite nanoparticles. **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2022.169790.Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304885322003171. Acesso em: 22 out. 2026.

PRADEEP, A.; PRIYADHARSINI, P.; CHANDRASEKARAN, G. Structural, magnetic and electrical properties of nanocrystalline zinc ferrite. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 509, n. 9, p. 3917-3923, 2011. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2010.12.155. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925838810031622. Acesso em: 22 out. 2026.

RAMANA, P. V. et al. A study of uncoated and coated nickel-zinc ferrite nanoparticles for magnetic hyperthermia. **Materials Chemistry and Physics**, v. 266, art. 124546, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2021.124546. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0254058421003291 Acesso em: 22 out. 2026.

Agradecimentos

Edital CAPES e CNPQ (TO 307702/2022-7