

# VI WORKSHOP Química Inorgânica

Das Macromeléculas aos Pontos Quânticos

06 a 08 de Novembro de 2024

## ESTUDO DA HEXAFERRITA DE ESTRÔNCIO $\text{SrFe}_{12-x}\text{CoAl}_x\text{O}_{19}$ APPLICANDO O MÉTODO DE REAÇÃO DO ESTADO SÓLIDO ASSISTIDO POR ULTRASSOM

Luciane de Souza Cavalcante<sup>1</sup> (PG), Fidel Guerrero Zayas<sup>2</sup>(PQ), Alexandre Souza da Silva<sup>3</sup>(PG)

\* lluci8932@gmail.com

Universidade Federal do Amazonas - UFAM, Programa de Pós-Graduação em Física - PPGFIS, Manaus, Amazonas - 69067-005, Brasil.

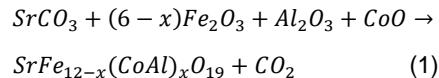
Palavras Chave: Hexaferrita de Estrôncio, Hexaferritas tipo-M, Propriedades Estruturais, Propriedades magnéticas

### Introdução

Os materiais magnéticos à base de óxido de ferro despertam grande interesse científico devido ao seu impacto significativo nas indústrias tecnológica e industrial. Entre os diversos compostos estudados, a hexaferrita de estrôncio do tipo M se destaca por suas propriedades magnéticas e dielétricas únicas, gerando uma demanda crescente por materiais mais sofisticados para a composição de dispositivos permanentes. A hexaferrita de estrôncio oferece vantagens notáveis, como baixo custo, alta magnetização de saturação ( $M_s$ ), elevada coercividade ( $H_c$ ), alta resistência elétrica e notável estabilidade química [1]. Entre os materiais magnéticos mais relevantes para aplicações práticas, destaca-se a hexaferrita de estrôncio ( $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ ), valorizada por suas propriedades magnéticas em diversas aplicações industriais, como rotores de geradores em veículos elétricos e sistemas de energia eólica [2]. Diante disso, este projeto visa sintetizar e caracterizar a hexaferrita de estrôncio pura e dopada com alumínio (Al) e cobalto (Co) por fusão, utilizando métodos de reação no estado sólido e sonoquímico. O objetivo geral é produzir a solução sólida  $\text{SrFe}_{12-x}\text{CoAl}_x\text{O}_{19}$  ( $x$  variando de 0 a 1,3), com o auxílio de ultrassom para melhora a homogeneidade e otimizar as condições de reação. Os objetivos específicos incluem a síntese da solução sólida usando a reação no estado sólido assistida por ultrassom e a análise das propriedades magnéticas por magnetometria de amostra vibrante.

### Material e Métodos

Nesta etapa primeiramente vamos pesar os materiais, dados pela composição química:



Onde:

$x$  representa a proporção de dopantes Co e Al. Íons dopantes de Al e Co em proporções de  $x = 0.0, 0.1,$

0.2, 0.3, 0.6, 0.7, 0.8, 1.0 e 1.3.

**Figura 1.** Procedimento experimental da síntese de reação do estado sólido assistido por ultrassom.



### Resultados e Discussão

As curvas de magnetização são muito importantes para definir as propriedades magnéticas das ferritas de estrôncio com suas respectivas dopagens. A curva de histerese mostra como a magnetização da amostra muda em relação ao campo aplicado [3]. Na Figura 2, está definida a curva de magnetização das nove amostras dopadas que estamos estudando com diferentes níveis de dopagem para  $x = 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.7, 0.8, 1.0$  e  $1.3$ . A amostra com a maior curvatura interna é definida como  $\text{SrM}+0.0(\text{Co},\text{Al})$ , ou seja, a ferrita pura. Por outro lado, a amostra com a menor curvatura interna é a  $\text{SrM}+1.3(\text{Co},\text{Al})$ , que apresenta a maior concentração de dopantes. No entanto, não existe um comportamento monótono com a composição. Ou seja, existem variações que estão relacionadas com o tipo de fase e composição presente em cada amostra. Dos resultados das propriedades magnéticas podemos inferir que as diferentes fases; magnéticas ou não magnéticas, determinadas pelo refinamento de Rietveld, influencia fortemente estas propriedades [4]. Isto propõe o desafio de buscar parâmetros ótimos na preparação das amostras. Na segunda parte desta pesquisa serão preparadas as amostras com as mesmas composições usando o método de reação de estado sólido assistido por ultrassom como explicado no procedimento experimental. Em seguida, na Figura 3, observa-se a dependência da magnetização específica em



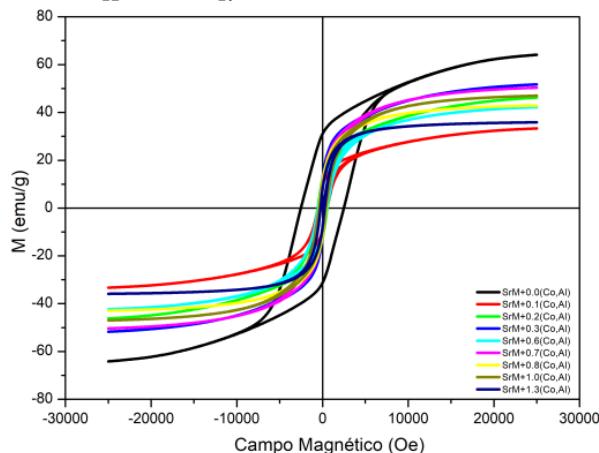
# VI WORKSHOP Química Inorgânica

Das Macromeléculas aos Pontos Quânticos

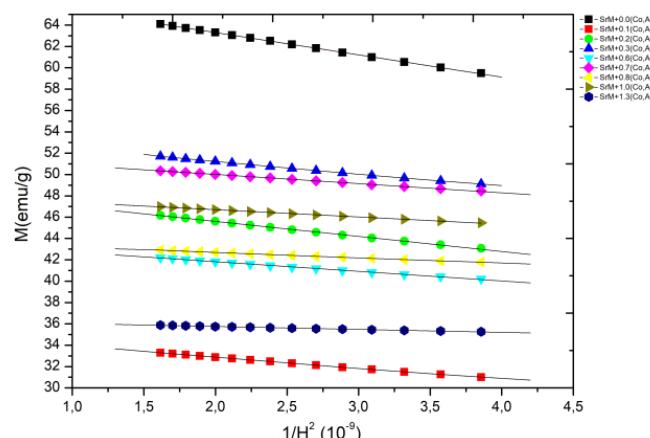
06 a 08 de Novembro de 2024

função do inverso do quadrado do campo magnético para cada composição. No gráfico, observamos um distanciamento da hexaferrota pura, identificada pela cor preta, onde atinge o ponto de magnetização mais alto, com aproximadamente 64 emu/g. Consequentemente, as amostras dopadas apresentam um valor de magnetização menor que a pura. A amostra com o menor valor é a SrM+0.1(Co,Al), com aproximadamente 34 emu/g, seguida pela SrM+1.3(Co,Al) com 36 emu/g. As amostras SrM+0.6(Co,Al) e SrM+0.8(Co,Al) estão bastante próximas, ambas com um valor aproximado de 43 emu/g. As amostras SrM+0.2(Co,Al) e SrM+1.0(Co,Al) também estão próximas, com ambas apresentando aproximadamente 45 emu/g. Por sua vez, as amostras SrM+0.7(Co,Al) e SrM+0.9(Co,Al) apresentam valores de 51 emu/g e 52 emu/g, respectivamente.

**Figura 2.** Curvas de magnetização em função do campo magnético externo aplicado para o sistema  $\text{SrFe}_{12-x}\text{CoAl}_x\text{O}_{19}$ .



**Figura 3.** Dependência da magnetização específica com o inverso do quadrado do campo magnético.



Na tabela 1, temos a apresentação dos valores calculados para as ferritas puras e dopadas, incluindo

a magnetização de saturação, magnetização remanente, relação quadrática e o número de Bohr. De acordo com esta tabela, podemos observar que os valores da magnetização de saturação e da magnetização remanente sofrem variações sem um comportamento definido com a quantidade de dopantes adicionados. Para a magnetização de saturação, os valores variam entre 67,47 emu/g e 34,95 emu/g, enquanto a magnetização remanente varia entre 30,28 emu/g e 9,33 emu/g.

**Tabela 1.** Magnetização de saturação ( $M_s$ ), magnetização remanente ( $M_r$ ), relação quadrática ( $SQR$ ) e número de magnétons de Bohr ( $n_b$ ) para o sistema  $\text{SrFe}_{12-x}(\text{CoAl})_x\text{O}_{19}$  com  $x = 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.6, 0.7, 0.8, 1.0$  e  $1.3$ .

Amostras	$M_s$ (emu/g)	$M_r$ (emu/g)	$SQR$	$n_b$ ( $\mu_B$ )
SrM+0.0(Co,Al)	67.47	30.28	0.44	5.55
SrM+0.1(Co,Al)	34.95	10.32	0.57	2.92
SrM+0.2(Co,Al)	48.43	13.50	0.27	4.13
SrM+0.3(Co,Al)	53.57	10.47	0.19	5.45
SrM+0.6(Co,Al)	43.62	10.79	0.24	3.97
SrM+0.7(Co,Al)	51.73	11.34	0.21	4.83
SrM+0.8(Co,Al)	43.71	11.55	0.26	4.03
SrM+1.0(Co,Al)	48.06	10.01	0.20	4.26
SrM+1.3(Co,Al)	36.30	9.33	0.25	3.70

## Conclusões

Os resultados obtidos indicam que as curvas de magnetização são fundamentais para caracterizar as propriedades magnéticas das ferritas de estrôncio dopadas com cobalto e alumínio. A ferrita pura SrM+0.0(Co,Al) apresenta a maior magnetização, enquanto a amostra com a maior dopagem SrM+1.3(Co,Al) exibe a menor curvatura interna e uma redução na magnetização. As variações nas propriedades magnéticas não seguem um padrão monótono, sugerindo que as fases presentes influenciam diretamente essas características.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPEAM, ao Laboratório LPMat (UFAM) e à UFPE pelo apoio essencial e pela colaboração no desenvolvimento deste projeto.

<sup>1</sup> W. Zhang, J. Li, J. Li, J. Guo, Y. Wang, P. Zu, and P. Li. Structural, optical, dielectric, and magnetic properties of  $\text{Sr}_0.7\text{La}_0.3\text{Zn}_0.3\text{Fe}_{11.7}$

<sup>2</sup> S. Chino, S. Ogasawara, T. Miura, A. Chiba, M. Takemoto, and N. Hoshi. Title of the Paper. In 2011 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, pages 2805–2811, Phoenix, AZ, USA, 2011. IEEE

<sup>3</sup> CALLISTER, W. D. Materials Science and Engineering: An Introduction. 6th ed. New York: John Wiley & Sons, 2002.

<sup>4</sup> GONZÁLEZ, Felipe N. Tenorio, et al. "Ruta complementaria en la síntesis de hexaferrota de estroncio por el método poliol." *Editado por* (2014).