

## PROPRIEDADES ELÉTRICAS E MAGNÉTICAS DA FERRITA $\text{CuAl}_x\text{Fe}_{2-x}\text{O}_4$

M. R. da Silva, M. R., C. S. P. Mendonça, V. A. S. Ribeiro, V. D. Oliveira; H. L. Ribeiro

Universidade Federal de Itajubá- UNIFEI - Campus Itajubá, Av.BPS,  
nº1303 CEP 37500-903 Itajubá/MG, Brasil

mrsilva@unifei.edu.br

### RESUMO

*Amostras de  $\text{CuAl}_x\text{Fe}_{2-x}\text{O}_4$  (em que  $x = 0, 0,5, 1,0, 1,5$  e  $1,99$ ) foram pré-sintetizadas por 24 horas à  $800^\circ\text{C}$  e depois sintetizadas a  $1100^\circ\text{C}$  durante 8h através do método de cerâmica convencional, por meio de reação estado-sólido com os óxidos de alumínio, cobre e ferro. A magnetização de saturação à temperatura ambiente foi medida em função do teor de cobre. Parâmetros magnéticos são medidos pela curva de histerese (Magnetização  $M$  versus Campo  $B$ ). As propriedades magnéticas das amostras foram caracterizadas por meio de um magnetômetro de amostra vibrante (VSM). A condutividade elétrica em corrente contínua é obtida a partir da curva de tensão versus corrente através da amostra. A resistividade elétrica em função da temperatura é medida pelo método de dois pontos, por meio de contato mecânico. A série de ferrita aluminato de cobre é avaliada por difração de raios X em pó (XRD), por padrões de análise, à temperatura ambiente.*

Palavras-chave: propriedades magnéticas, ferrita de alumínio-cobre, condutividade elétrica.

### INTRODUÇÃO

Os materiais ferrimagnéticos mais importantes são certamente os óxidos de ferro II e outros metais chamados de ferritas. As ferritas cúbicas ou espinélios são os exemplos mais importantes, são materiais magnéticos macios e, portanto, a direção de magnetização pode ser facilmente alterada por campos magnéticos aplicados. A propriedade magnética de cerâmicas tipos espinélios surge pela presença de spin de elétrons desemparelhados, principalmente os orbitais 3d do elemento ferro. O interesse por áudio, telecomunicações e vídeo, transformadores de potência e muitas outras aplicações que envolvem sinais

elétricos, normalmente não superiores a alguns megaciclos por segundos, fluidos magnéticos, absorvedores de microondas e diagnósticos médicos<sup>(1)</sup>. Nanopartículas magnéticas estão se tornando de grande interesse em inúmeras áreas. Um desses aplicativos é a área de biologia, na utilização de biosensores e nas aplicações médicas, assim como o transporte de drogas específicas. As propriedades modificadas pela estequiometria do espinélio podem ser feitas por dois parâmetros intrínsecos: composição química e a distribuição de cátions na estrutura espinélio, que pode ser alterado por meio de tratamentos térmicos adequados<sup>(2)</sup>. A estrutura espinélio é geralmente descrita pela fórmula  $\text{MeFe}_2\text{O}_4$ , onde Me refere-se ao metal, que pode ser descrito como um arranjo cúbico de face centrada de átomos de oxigênio, como Me (valência +2) e Fe (valência +3) em dois sítios cristalográficos diferentes. Estes sítios têm coordenação tetraédrica e octaédrica de oxigênio.

As substituições de íons diamagnéticos em ferritas tipo espinélios têm recebido um grande interesse, porque a presença de íons não magnéticos nestes materiais, alterando propriedades magnéticas e elétricas. A substituição de íons  $\text{Al}^{+3}$  em ferritas de espinélios podem apresentar alguns efeitos benéficos em propriedades dielétricas, elétricas, magnéticas, elásticas e provocar propriedades estruturais. As propriedades magnéticas de ferritas espinélio são drasticamente influenciadas pelo tipo de cátions, assim como, a sua distribuição, em qualquer das sub-redes do material investigado. Sabe-se que a ferrita de cobre é caracterizado com espinélio inverso misto<sup>(3)</sup>.

As propriedades magnéticas intrínsecas de partículas individuais são relevantes, assim como os mecanismos de interação entre elas e suas morfologias. Partículas que se comportam como um único domínio e apresentam elevado momento magnético são de grande interesse científico e tecnológico devido aos fenômenos de superparamagnetismo<sup>(4)</sup>. As propriedades químicas e físicas de nanopartículas são estritamente dependentes de suas dimensões e morfologia.

A curva de histerese representa as irreversibilidades do processo de magnetização e de desmagnetização do material, assim como uma representação de algumas propriedades magnéticas intrínsecas do material. A resistividade e o mecanismo de condutividade são importantes propriedades elétricas para semicondutores<sup>(5)</sup>.

A condutividade elétrica  $\sigma$  de ferritas é avaliada pela corrente  $I$  que circula na amostra, através da tensão  $V$  aplicada na mesma, de uma  $A$  amostra de espessura  $t$  e área  $A$ . A resistividade elétrica é uma característica dos materiais em avaliar a capacidade de condução de corrente elétrica. A resistividade é obtida diretamente a partir da condutividade. O comportamento da condutividade pela temperatura de materiais ferrimagnéticos e paramagnéticos é obtido pelas equações (A) e (B)<sup>(4)</sup>.

$$\sigma = \frac{It}{VA} \quad (A)$$

$$\sigma(T) = \frac{A}{T} \exp(-E/KT) \quad (B)$$

de maneira que, A é uma constante, K representa a constante de Boltzmann, E é a energia de ativação e T a temperatura em escala absoluta.

O presente trabalho avalia resultados experimentais de propriedades magnéticas e elétricas de ferritas de cobre-manganês em função da temperatura.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Uma série de ferritas de  $\text{CuAl}_x\text{Fe}_{2-x}\text{O}_4$ : onde  $x = 0, 0,5, 1,0, 1,5$  e  $1,99$  foi preparada pelo método tradicional de cerâmicas, através do processo por reação de estado-sólido utilizando os óxidos de cobre II, ferro III e alumínio com elevada pureza. As amostras foram pré-sintetizadas por 24 horas à  $800^\circ\text{C}$  e depois sintetizadas a  $1100^\circ\text{C}$  durante 8h. O comportamento magnético é avaliado através de um magnetômetro amostra de vibrante (VSM). As propriedades magnéticas foram obtidas a partir da histerese. A condutividade elétrica em corrente contínua de pastilhas cilíndricas é avaliada pelo método de dois fios, através de aparelhos Keithley. Um fio é usado para fonte de corrente e o outro fio é usado para medir a tensão. O comportamento da resistividade elétrica em função da temperatura avaliado para um gradiente de temperatura de  $5\text{K}/\text{min}$  ao longo do ensaio.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As propriedades magnéticas das ferritas  $\text{CuAl}_x\text{Fe}_{2-x}\text{O}_4$  obtida através do magnetômetro de amostra vibrante (VSM) em temperatura ambiente em campo magnético de  $15\text{kOe}$  é representada pela curva de histerese. A Figura 1 representa a magnetização M em função do campo externo aplicado H e parâmetros magnéticos estão representados na Tabela 1. Os valores de magnetização de saturação (Ms), coercitividade (Hc) e magnetização de remanência são obtidos a partir das curvas de histerese.

Tabela 1: Parâmetros da curva de histerese de ferritas  $\text{CuAl}_x\text{Fe}_{2-x}\text{O}_4$ .

Amostra	$M_S$ (emu/g)	$M_R$ (emu/g)	$H_C$ (kG)	Massa (g)
CFO	42,84524	1,95140	19,00333	0,04427
CFA 0,5	5,94243	1,27074	49,51958	0,04995
CFA 1,0	1,50239	0,19841	31,19747	0,04755
CFA 1,5	0,02854	0,00069	91,69856	0,04058
CFA 1,99	0,07243	0,00232	70,94467	0,04940

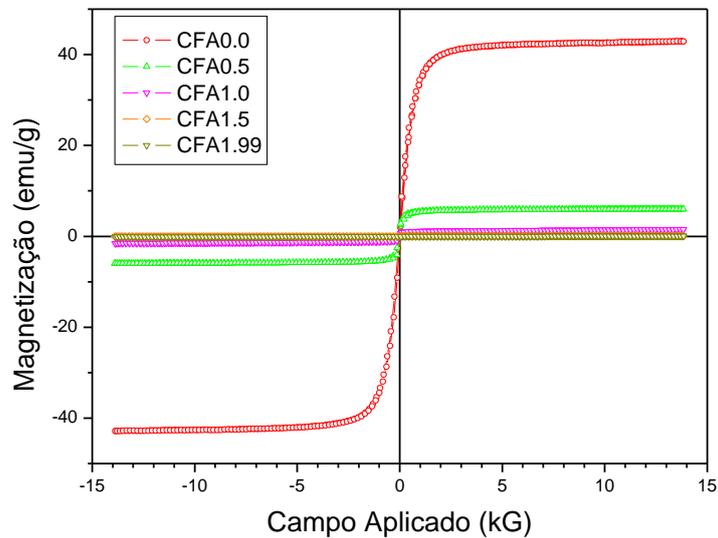
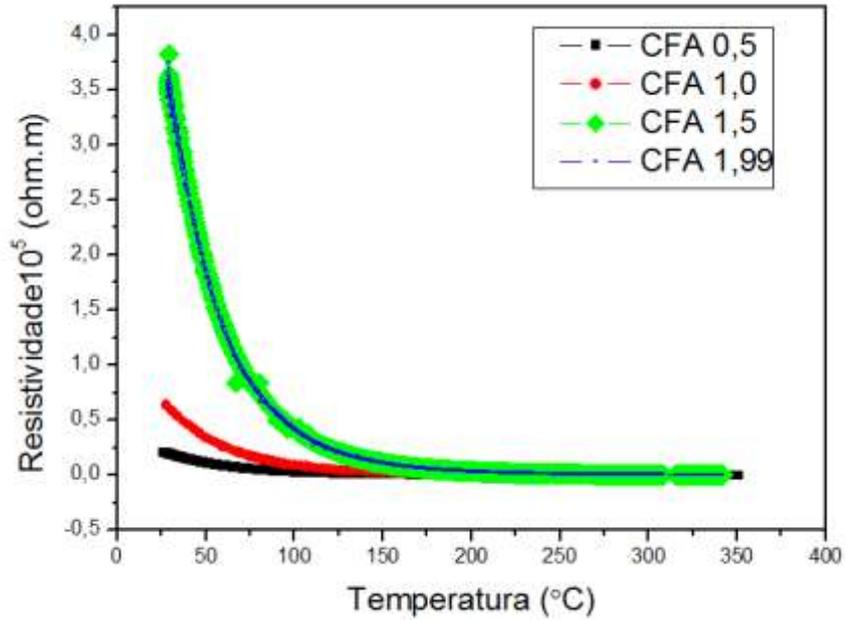
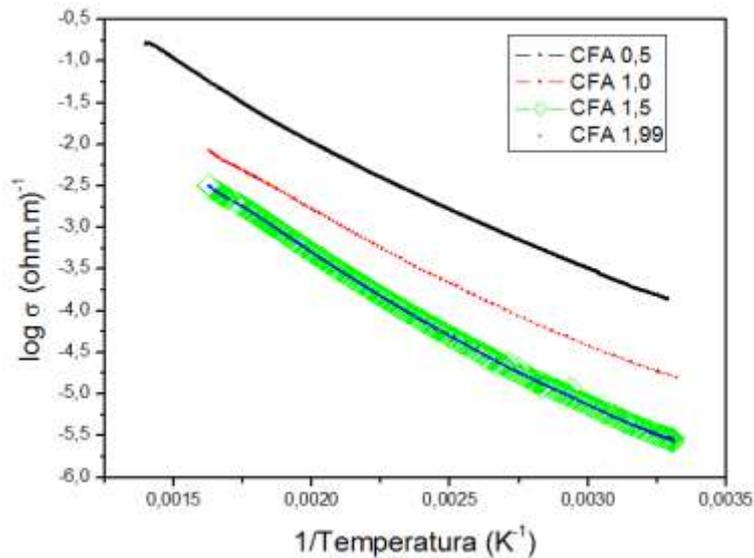


Figura 1: Curva de histerese em temperatura ambiente de  $\text{CuAl}_x\text{Fe}_{2-x}\text{O}_4$ .

A dependência da temperatura da condutividade elétrica das ferritas cobre-alumínio de diferentes composições são investigadas a partir da temperatura ambiente. A representação da resistividade ( $\rho$ ) em função da temperatura  $T$  é mostrada na Figura 2. Enquanto a condutividade ( $\sigma$ ) é representada na Figura 3.

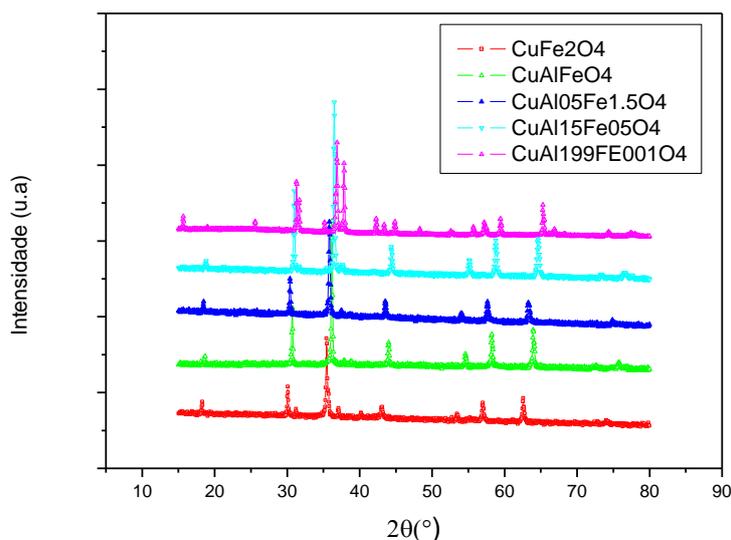


**Figura 2:** Influência da temperatura na resistividade elétrica das ferritas de  $\text{CuAl}_x\text{Fe}_{2-x}\text{O}_4$ .



**Figura 3:** Influência da temperatura na condutividade elétrica das ferritas de  $\text{CuAl}_x\text{Fe}_{2-x}\text{O}_4$ .

A morfologia das series das ferritas de aluminato de cobre é caracterizada pelo difratograma de raio-X. A estrutura cristalina mostrada no difratograma indica um espinélio invertido está representada na Figura 4.



**Figura 4:** Difração de raio-X das ferritas de  $\text{CuAl}_x\text{Fe}_{2-x}\text{O}_4$ .

## CONCLUSÃO

Os valores mais elevados de resistividade são devidos às composições estequiométricas. A resistividade da amostra diminui com o aumento da temperatura. Os resultados mostraram que a magnetização de saturação máxima foi obtida em CFO quando comparado com as demais amostras da série. O aumento do teor de alumínio resulta no decréscimo significativo da magnetização de saturação e de remanência, enquanto a coercividade aumenta. Ferritas apresentaram um comportamento de semiconductor com resistividade entre  $10^4$  a  $10^5$  (ohm.m). A resistividade elétrica aumenta em função do teor do alumínio, devido a sua propriedade condutora.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às agências brasileiras, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG, e do Brasil para o suporte financeiro.

## REFERÊNCIAS

- (1) ROSALES M.I., PLATA A.M., NICHU M.E, BRITO A., PONCE M.A, CASTANO V.M., Effect of sintering conditions on microstructure and magnetic properties of Mn-Zn ferrites, *Journal of Materials Science* 30 (1995) 4446-4450.
- (2) TAILHADES P., BONNINGUE C., ROUSSET A., BOUET L., PASQUET I., LEBRUN S., About the interesting properties of mixed-valence defect spinel ferrites for mass storage media, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 193 (1999) 148-151.
- (3) LAKHANIA V.K., ZHAOB B., WANGB L., TRIVEDIA U.N., MODIA K.B., Negative magnetization, magnetic anisotropy and magnetic ordering studies on Al<sub>3+</sub>-substituted copper ferrite, *Journal of Alloys and Compounds* 509 (2011), 4861–4867.
- (4) SMIT H.P., WIJN J., in: *Ferrites*, Philips Technical Library, Eindhoven, Netherlands, 1959, p.254
- (5) CULLITY B. D, GRAHAM C. D. *Introduction to Magnetic Materials*, New York, John Wiley & Sons, 2009.

#### ABSTRACT

Samples  $\text{CuAl}_x\text{Fe}_{2-x}\text{O}_4$  (where  $x = 0, 0.5, 1.0, 1.5$  and  $1.99$ ) were pre-synthesized by 24 hours at  $800^\circ\text{C}$  and then summarized at  $1100^\circ\text{C}$  for 8h via conventional ceramic method, by solid-state reaction with the oxides of aluminum, copper and iron. The saturation magnetization at room temperature was measured as a function of copper content. Parameters are measured by magnetic hysteresis curve (magnetization  $M$  versus field  $B$ ). The magnetic properties of the samples were characterized using a vibrating sample magnetometer (VSM). The dc electrical conductivity is obtained from the current vs. voltage curve through the sample. The electrical resistivity versus temperature is measured by the method of two points through mechanical contact. The series of copper ferrite aluminate is evaluated by X-ray diffraction powder (XRD) patterns for analysis at room temperature.

Key-words: magnetic properties, aluminum-copper ferrites, electrical conductivity.