

PROPRIEDADES MAGNÉTICA E DIELÉTRICA DE MATERIAL MAGNÉTICO DURO

R. R. Corrêa

Departamento de Eletroeletrônica – CEFET-MA
Av. Getúlio Vargas, 04, Monte Castelo, CEP 65000-000, São Luís-MA.
E-mail: proncor@yahoo.com.br

A.A.C. Junior

Departamento de Ciências Exatas – CEFET-MA
Av. Getúlio Vargas, 04, Monte Castelo, CEP 65000-000, São Luís-MA.
E-mail: aluisio@yahoo.com.br

W.S. Castro

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais – CEFET-MA
Av. Getúlio Vargas, 04, Monte Castelo, CEP 65000-000, São Luís-MA.
E-mail: walter@dee.cefet-ma.br

D.S. Pires

Curso de Graduação em Engenharia Industrial Elétrica – CEFET-MA
Av. Getúlio Vargas, 04, Monte Castelo, CEP 65000-000, São Luís-MA.
E-mail: danubiapires@yahoo.com.br

RESUMO

Os óxidos ferrimagnéticos hexagonais continuam a atrair grande interesse científico, tecnológico e industrial para uso como magnetos permanentes e absorvedores de ondas eletromagnéticas como é o caso da hexaferrita de bário ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$). As hexaferritas possuem estrutura cristalina hexagonal e têm sido potencialmente aplicadas em dispositivos de gravação magnética avançada, tais como em vídeos de alta definição e em discos flexíveis, devido à alta densidade de gravação. Adicionalmente, elas têm despertado interesse nas aplicações de microondas porque podem estender o limite de absorção para região de altas frequências. As propriedades de absorção de onda eletromagnética da hexaferrita de bário dependem das propriedades magnéticas e dielétricas. observou-se que houve uma mudança nas propriedades magnéticas da hexaferrita de bário com a temperatura de sinterização, sendo a forma do loop de histerese das amostras altamente sensível à microestrutura, a coercividade (H_c) e a remanência (B_r) diminuem com o aumento do tamanho de grão. Em altas frequências a constante dielétrica apresentou valores como 46,8 diminuindo com o aumento da frequência, picos de relaxação dielétrica foram observados em $\tan\delta$, e o comportamento destas propriedades foi associado com o mecanismo de polarização dielétrica.

Palavras chaves: hexaferrita, propriedades, material magnético.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem sido crescente o interesse por materiais magnéticos duros nos centros de pesquisa de empresas metalúrgicas, nas empresas usuárias de materiais magnéticos e no meio acadêmico, por parte de físicos, engenheiros de materiais e engenheiros eletricitas. Atualmente, o mercado mundial de ímãs permanentes é da ordem de US\$ 1 bilhão, mas o mercado dos bens que deles dependem é dezenas de vezes maior. As ferritas duras conhecidas como hexaferritas assumiam e continuam a assumir a liderança do mercado dos materiais magnéticos duros principalmente, devido ao baixo custo, alta resistência a desmagnetização e temperaturas de utilização em serviço e Curie superiores aos alnicos e terras raras (SmCo_5 e $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$) (Kronmuller, 1995 e Bai, 2003).

As hexaferritas tipo M apresentam estrutura cristalina hexagonal e têm despertado interesse em aplicações como gravação magnética, dispositivos de microondas, máquinas elétricas e sensores (Suryanarayana, 2001). As propriedades das hexaferritas obtidas por moagem de alta energia são resultantes da grande área específica dos contornos de grãos e da grande fração volumétrica de átomos localizados nesses contornos (Carp, 1998 e Kojima, 1982). As variáveis no processamento de moagem de alta energia como poder de moagem e tempo de moagem juntamente com a temperatura de sinterização, permitem controlar a microestrutura e consequentemente as propriedades.

As propriedades magnéticas da hexaferrita de bário são dependentes da estrutura dos domínios magnéticos. Para atingir a saturação magnética, a magnetização dentro de cada domínio deve alinhar-se com a direção do campo aplicado. Um alto grau de reversibilidade do movimento das paredes dos domínios resulta em um estreito laço com baixas coercividades, perda por histerese e alta permeabilidade em baixos campos (Kojima, 1982 e Wang, 2001). As propriedades dielétricas das hexaferritas são dependentes de fatores tais como método de preparação, temperatura de sinterização e composição química. A constante dielétrica diminui quando a frequência aumenta, a diminuição é rápida em baixas frequências e lenta em altas frequências. A diminuição da constante dielétrica quando a frequência aumenta é explicada pela teoria de Koop, que considera a estrutura dielétrica como um meio não homogêneo de duas camadas e a estrutura dielétrica é, imaginada como sendo constituída de grãos condutores separados por contornos de grãos de baixa condutividade. Nas hexaferritas o valor de $\tan\delta$ aumenta quando a frequência aumenta e atinge um máximo em uma frequência crítica que aumenta com a temperatura (Smael, 1995).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os pós de hexaferrita de bário ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) foram obtidos da mistura de carbonato de bário (99,37% de pureza) e óxido de ferro (98,1% de pureza). Os materiais de partida foram misturados em proporções estequiométricas por 10 min em um moinho planetário (Pulverisette 7), em seguida a mistura foi calcinada a 1100°C para a obtenção da fase hexaferrita. O produto obtido foi moído utilizando-se poderes de moagem de 4:1 e 10:1 e tempos de moagem de 1h e 10h em um moinho planetário. O produto da moagem foi compactado em uma prensa uniaxial na forma de pastilhas. As micrografias das amostras de hexaferrita de bário foram obtidas utilizando-se um microscópio eletrônico de varredura modelo Zeiss 940A para se observar a forma e tamanho das partículas das amostras obtidas. As propriedades magnéticas foram obtidas através do levantamento da curva de histerese permeâmetro Magnetech MRP-1. As propriedades dielétricas foram obtidas através de analisador de impedância HP 4291A.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A resposta magnética das amostras foi avaliada através do levantamento das curvas de magnetização e histerese. As amostras da hexaferrita de bário após a magnetização apresentaram magnetismo remanente, o que possibilitou a obtenção da curva de histerese e a observação dos valores da coercividade e magnetização de saturação dessas amostras. As curvas de histerese das amostras da hexaferrita de bário podem ser vistas na figura 1.

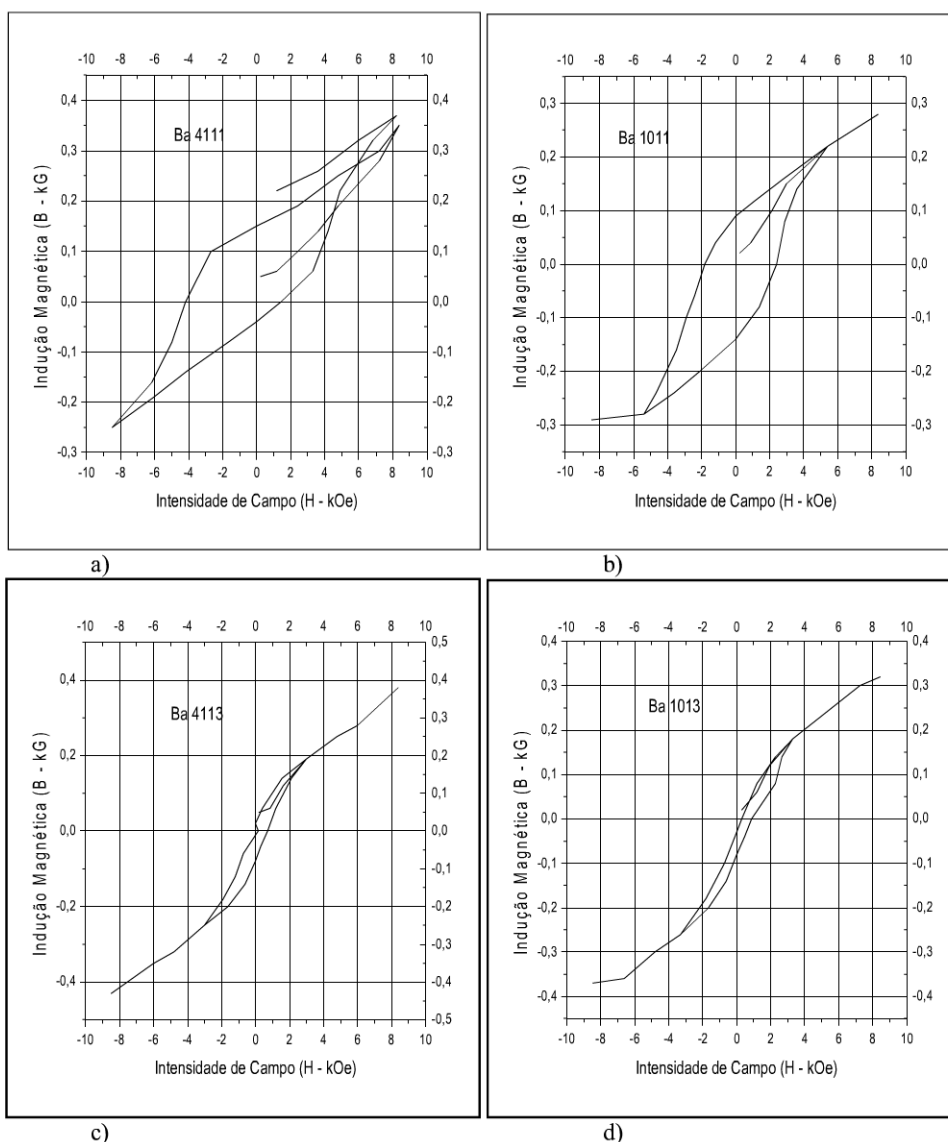


Figura 1 - Curvas de histerese das amostras da hexaferrita de bário sinterizadas e obtidas com: a) poder de moagem 4:1, tempo de moagem de 1h e sinterizada a 1100°C, b) poder de moagem 10:1, tempo de moagem de 1h e sinterizada a 1100°C, c) poder de moagem 4:1, tempo de moagem de 1h e sinterizada a 1300°C, d) poder de moagem 10:1, tempo de moagem de 1h e sinterizada a 1300°C .

As curvas de histerese observadas na figura 1 foram obtidas em um permeâmetro com campo magnético máximo aplicado de 8,4kOe. Observa-se que as curvas de histerese de algumas amostras não são simétricas em relação a origem dos eixos cartesianos, isto devido a dificuldade de calibração do equipamento. Observa-se que as amostras da hexaferrita de bário obtidas com poder de moagem 4:1 apresentam propriedades magnéticas melhores que as amostras da hexaferrita de bário obtidas com poder de moagem de 10:1. Observa-se que as curvas de histerese obtidas das amostras da hexaferrita de bário sinterizadas a 1300°C sofreram um estreitamento em relação às curvas das amostras sinterizadas a 1100°C devido ao aumento no tamanho de grão nestas amostras. Observou-se

que a coercividade (H_c) e a remanência (B_r) diminuem com o aumento do tamanho de grão. Os valores da coercividade altos para as amostras sinterizadas a 1100°C podem ser atribuídos a uma microestrutura com tamanho de grãos pequenos, baixa densidade e consequentemente alta porosidade que representa uma regra para centro de prisão das paredes dos domínios, alta anisotropia e a grande quantidade de fase dura ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$). A alta remanência é atribuída a um alinhamento líquido dos grãos causado por fortes interações de troca intergrãos e a alta uniformidade na microestrutura. Os valores mais baixos para magnetização de saturação (B_s) foram obtidos para as amostras sinterizadas a 1100°C , devido a tamanho de grão menor, densidade baixa e aglomeração.

As propriedades dielétricas das hexaferritas variaram também com as condições de moagem e temperatura de sinterização. A figura 2 mostra os gráficos da permissividade relativa da hexaferrita de bário.

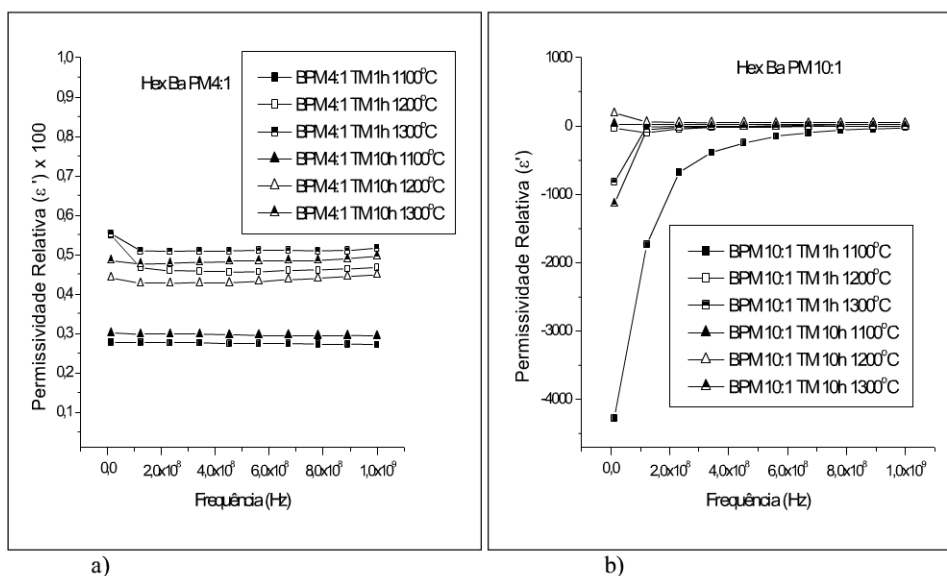


Figura 2 – Gráficos de permissividade relativa versus frequência das amostras: a) hexaferrita Ba PM 4:1 e b) hexaferrita Ba PM 10:1.

Observa-se nos gráficos da figura 2 que em algumas amostras de hexaferrita de bário a permissividade diminui com o aumento da frequência em outras aumenta com o aumento da frequência e em outras permanece constante. A variação da permissividade nas hexaferrita de bário evidencia que mudança no mecanismo de polarização presente até certo limite de frequência. A diminuição da permissividade com o aumento da frequência ocorre porque saltos de elétrons entre íons de Fe não podem seguir a mudança de polaridade do campo externo a uma certa frequência. A permissividade permanece constante devido não ocorrerem mudanças na densidade de ligações suspensas ou porque mecanismos de polarização estão ausentes.

A tangente de perda nos materiais está relacionada a inércia do movimento de carga elétrica que causa um tempo de atraso na corrente que segue o campo aplicado e depende da capacidade das cargas seguirem um campo externo aplicado. A figura 3 mostra os gráfico de $\tan \delta$ das hexaferritas.

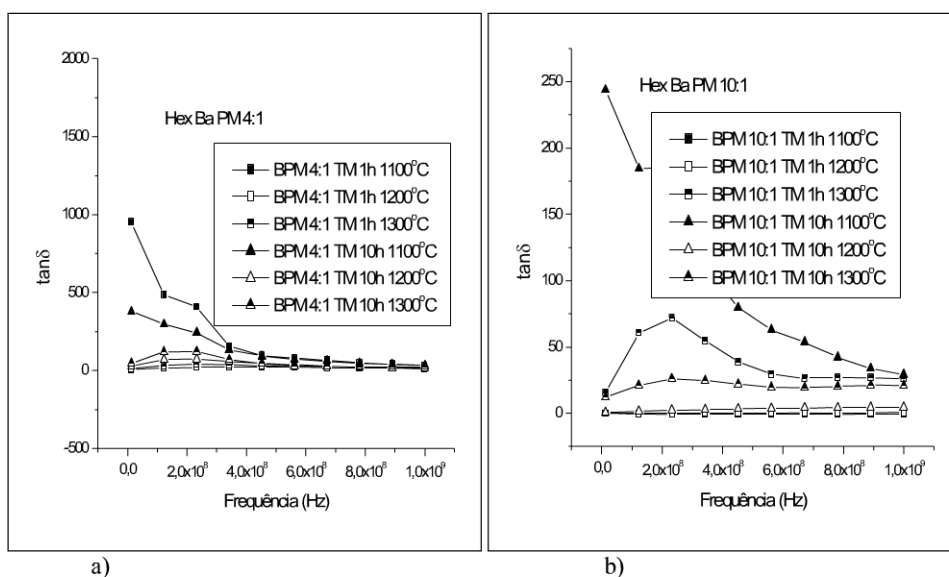


Figura 3 – Gráficos de $\tan\delta$ versus frequência: a) hexaferritas Ba PM 4:1 e b) hexaferritas Ba PM 10:1.

Observa-se na figura 3 que, para as amostras de hexaferrita de bário, $\tan\delta$ varia com o aumento da frequência. A diminuição de $\tan\delta$ com o aumento da frequência é devido ao fato que a polarização não pode seguir as mudanças do campo externo em um certo limite de frequência. O pico que é observado para algumas amostras ocorre quando a frequência do campo alternado aplicado é igual a frequência de salto dos portadores de carga localizados.

4. CONCLUSÕES

É muito importante desenvolver uma microestrutura uniforme, com grãos de tamanhos pequenos e uniformemente distribuídos, para obter boas propriedades em hexaferrita de bário. Com as amostras obtidas através da moagem de alta energia obteve-se valor de coercividade máximo de 3300Oe e indução remanente máxima de 170G sem levar as amostras à máxima saturação. Portanto excelentes propriedades magnéticas podem ser obtidas com a técnica de processamento utilizada neste trabalho.

As propriedades dielétricas das amostras da hexaferrita de bário obtidas com moagem de alta energia foram influenciadas pelos parâmetros: limite de frequência e microestrutura. A permissividade relativa ϵ' aumentou com o aumento do tamanho de grão e densidade. A $\tan\delta$ aumentou com o aumento da densidade aparente. As amostras de hexaferrita de bário que apresentaram maior permissividade e tangente de perda foram as processadas com temperatura de sinterização de 1300°C. Os valores da constante dielétrica e tangente de perda estão dentro do limite obtido com outras ferritas que é de $10^0 - 10^5$, $10^{-4} - 10^3$ respectivamente.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bai, Y. and Li, L. **Preparation and magnetic characterization of type hexaferrites containing zinc, cobalt and copper**. Materials Science and Engineering B00, pp. 1-4, 2003.

Carp, O. **Nonconventional methods for obtaining hexaferrites**. Acta Termochimica, vol. 318, pp. 57-62, 1998.

Kojima, H. **Fundamental properties of hexagonal ferrites**. In: Wohlfarth, chap. 5, pp. 305-391, 1982.

Kronmuller, H. **Recent developments in high-tech magnetic materials**. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, vols. 140-144, pp. 25-28, 1995.

Smael, H. **Dielectric behavior of hexaferrites $\text{BaCO}_{2-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_{16}\text{O}_{22}$** . Journal of Magnetism and Magnetic Materials, vol. 150, pp. 403-408, 1995.

Suryanarayana, C. **Mechanical alloying and milling**. Progress in Material Science, vol. 46, pp. 1-184, 2001.

Wang, J. F. **A study of the magnetic properties of hydrothermally synthesized Sr hexaferrite with Sm substitution**. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, vol. 234, pp. 233-240, 2001.