



## INFLUÊNCIA DO TAMANHO DE PARTÍCULAS NA COERCIVIDADE DO $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$

**Josinaldo Pereira Leite**

Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Mecânica  
[josinaldo@dem.ufpb.br](mailto:josinaldo@dem.ufpb.br) – Campina Grande, PB, Brasil

**Ábio Valeriano de Andrade Pinto**

Universidade Federal da Santa Catarina, Departamento de Física  
[abio@materiais.ufsc.br](mailto:abio@materiais.ufsc.br) - Florianópolis, SC, Brasil

**Resumo.** *O desenvolvimento tecnológico acelerado das últimas décadas não teria sido possível sem o desenvolvimento de materiais de alta performance. Neste contexto, os materiais magnéticos, especialmente os magnéticos duros, tornaram-se imprescindíveis em muitas aplicações na indústria eletroeletrônica e eletromecânica. Nas aplicações onde o uso dos materiais magnéticos duros são imprescindíveis, pelas elevadas propriedades intrínsecas, destaca-se  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$  pela viabilidade tecnológica e econômica. Neste trabalho, estudamos o efeito do tamanho de partículas na coercividade do  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$ . Amostras do  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$  (tamanho de partículas menor que 38  $\mu\text{m}$ ) foram moídas mecanicamente em moinho vibrador por 2, 4 e 16 h. O material moído foi usado para medidas granulométricas e para produção de amostras destinadas aos ensaios magnéticos, buscando-se estabelecer uma correlação entre as propriedades magnéticas e o tamanho de partículas, com ênfase na coercividade. A granulometria foi analisada por software dedicado à análise de imagem. As medidas magnéticas foram realizadas num Magnetômetro de Amostra Vibrante.*

**Palavras-chaves:**  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$ , propriedades magnéticas, coercividade

### 1. INTRODUÇÃO

Em 1991 foi demonstrado por Coey et al ( 1990, 1991 ) que a introdução do nitrogênio intersticial no composto intermetálico  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$  melhora consideravelmente, suas propriedades magnéticas. O nitreto de ferro samário possui excelentes propriedades magnéticas, especialmente as de maior relevância, para aplicações como ímãs permanentes. A coercitividade é uma das propriedades a ser considerada na escolha de um material a ser empregado como ímã permanente [ Leite et al ( 1997 ) , Coey ( 1996 ) ].

Uma técnica, relativamente simples, é bastante utilizada para produzir o endurecimento magnético é o decréscimo do tamanho de partículas por pulverização mecânica [ Wendhausen et al ( 1994 ) ]. Entretanto, uma forte redução do tamanho de partículas poderá levar a deterioração de outras propriedades magnéticas importantes para um ímã permanente [ Leite ( 1999 ) ], tais como : produto energia, polarização magnética e remanência.

Considerando-se que a microestrutura bruta de solidificação do  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}$  é composta de quatro fases:  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}$ ,  $\text{SmFe}_2$ ,  $\text{SmFe}_3$  e  $\text{Fe}-\alpha$  [ Cristodoulou & Takeshita ( 1992 ) ], e que, os

percentuais relativos dessas fases e as propriedades magnéticas do  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$  dependerão das condições de processamento [ Iriyawa et al ( 1992 ), Rodowald et al ( 1993 ) ], como: temperatura de nitretação, grau de pureza da atmosfera de nitretação e características do processo de moagem; torna-se necessário um estudo sistemático do processo de endurecimento magnético, buscando-se sua otimização.

O objetivo deste trabalho é o estudo do efeito do tamanho de partículas no endurecimento magnético do  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$ .

## 2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

O pó da liga  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}$  com tamanho de partículas  $\leq 38 \mu\text{m}$  foi nitrado pelo método convencional ( nitretação no estado sólido ) por 5h à 450 °C convertendo-se em  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$ . Este material foi usado para o início do processamento de moagem.

O processo de moagem foi executado num moinho vibrador, operando numa frequência de 60 Hz. Durante o processo de moagem foi utilizado tolueno para proteção da liga. Ao término do processo de moagem, o tolueno é removido a vácuo. Uma parte do  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$  é usada para medidas granulométricas e outra para produção de amostras destinadas aos ensaios magnéticos. Para os atuais propósitos os tempos de moagem variaram entre 0 e 16 h.

As amostras utilizadas na caracterização das propriedades magnéticas possuíam geometria esférica, tendo sido preparadas pela mistura homogênea de pó e resina . As medidas magnéticas foram obtidas num VSM ( Magnetômetro de Amostras Vibrante ), com alinhamento prévio alinhadas em campo magnético de 2,5 T.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 1 apresenta os resultados da análise do tamanho das partículas de  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$  moídas em diferentes tempos ( 0, 2, 4, 16 h ), onde pode-se observar que o efeito da moagem produz aumento na concentração das partículas finas.

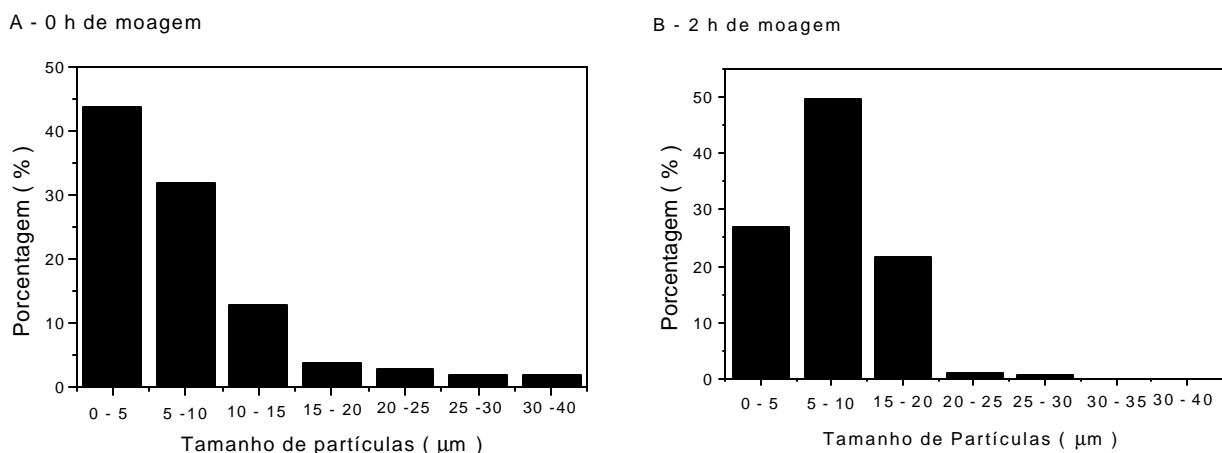
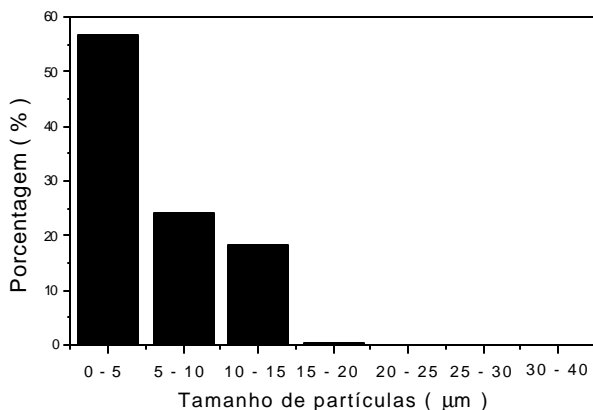


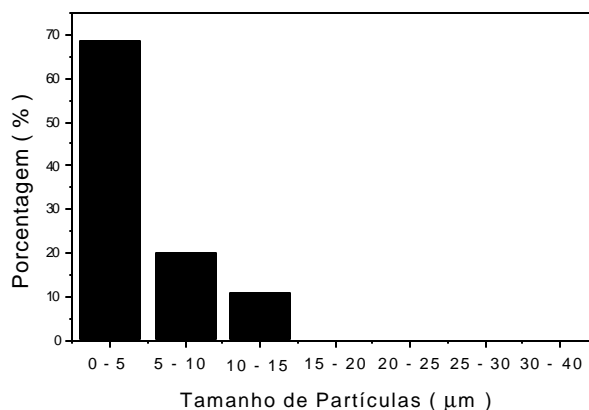
Figura 1 – Análise Granulométrica – Distribuição do tamanho das partículas do  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$  Em função do tempo de moagem ( A – 0h, B – 2h, C – 4h, D – 16h ).

A figura 2, apresenta um resumo do comportamento da coercividade em função do tempo de moagem para amostras nitretadas por 10 h a 450 °C. Observa-se que os valores da

C - 4h de moagem



D - 16 h de moagem



coercividade são fortemente influenciados pelos tempos de nitretação e moagem.

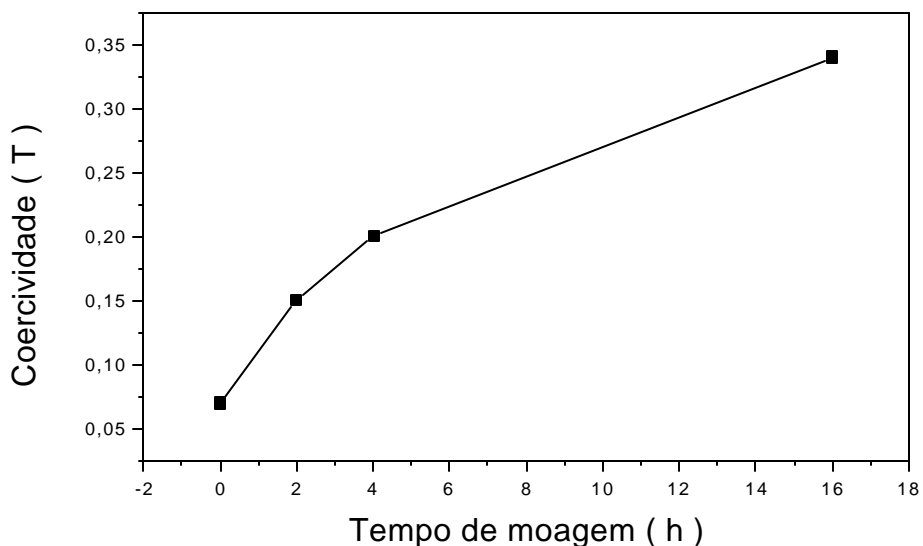


Figura 2 - Coercividade em função do tempo de moagem para o  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_x$  ( nit. 10 h /450 °C )

O aumento da coercividade com o tamanho das partículas deve-se a necessidade de maiores campos externos reversos para levar a zero a magnetização. Em partículas pequenas a coercividade é favorecida devido ao isolamento e confinamento de centros de nucleação de domínios reversos. Entretanto, com base na literatura [ Whendhausen et al ( 1994 ) ], longos tempos de moagem, podem levar a transformações de fase na liga, tornando-a amorfa, assim comprometendo suas propriedades magnéticas e consequentemente a coercividade.

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados encontrados mostram que o endurecimento magnético pode ser obtido e otimizado por moagem mecânica. Nas condições estudadas, os tempos de moagem acima de 8h não vão produzir melhora na coercividade. Isto ocorre pelos efeitos da decomposição, amorfização e aglomeração dos grãos finos, resultantes da moagem excessiva.

## REFERÊNCIAS

- Coey, J.M.D and Sun, L.H, 1990, J. Magn. Magn. Mat. 87, L 251
- Coey, J.M.D., Laweler, J.F., Sun, L.H. and J.E. Allen, 1991, J. Appl. Phys. 69 (5), 3007.
- Coey, J.M.D., 1996, Ed., Rare – Earth Iron Permanent Magnets, Oxford Science Publications, New York.
- Cristodoulou, C.N. and Takeshita, T.; 1992, J. Alloys Comp., v. 190, p. 41-48.
- Iriyawa, T., Kato, H. and Nakagawa, Y.; 1992, J. Magn. Mater. 57.
- Leite, J.L., Wendhausen, P.A.P, Pinto, A.V. A. and Taylor, 1997, T. R., First International Latin-American Conference on Powder Technology, São Paulo, Águas de Londóia, Brazil, May.
- Leite, J.L., 1999 Estudo da Viabilidade do Uso de Fluxo e Plasma de N<sub>2</sub> na Nitretação da Liga Sm<sub>2</sub>Fe<sub>17</sub>, Tese, UFSC.
- Rodoewald, W., Wall, B., Katter, M., Velicescu, M. et al.; 1993, J. Appl. Phys. 73 ( 10 ), p 5899
- Wendhausen, P.A. P., Gebel, B., Eckert, D et al, 1994, Effect of Milling on The Magnetic and Microstructural Properties of Sm<sub>2</sub>Fe<sub>17</sub>N<sub>x</sub> Permanent Magnets, J. Appl. Phys. 75 ( 10 ).

**Abstract.** *The accelerated technological development of the last decades would not have been possible without the development of materials of high performance. In this context, the magnetic materials, especially the hard ones, have become indispensable in a lot of applications in the electronic and electromechanics's industry. In the applications, where the use of the magnetic materials are indispensable, because of the high intrinsic properties, it stands out the Sm<sub>2</sub>Fe<sub>17</sub>N<sub>3</sub> for the technological and economic viability. In this work, we studied the effect of the particles'sizes in the coercivity of the Sm<sub>2</sub>Fe<sub>17</sub>N<sub>3</sub>. Samples of the Sm<sub>2</sub>Fe<sub>17</sub>N<sub>3</sub> ( particles'sizes < 38 μm ) were milled mechanically in a vibrator mill for 2, 4 and 16 hs. The material milled was used for granulometrics measures and for the production of samples destined to the magnetic rehearsals, trying to establish a correlation between the magnetic properties and the particles'sizes, with emphasis in the coercivity. The granulometrics was analyzed by softwares dedicated to the analysis' image. The magnetic samples were characterized in magnetometer of vibrant sample.*

**Keywords:** Sm<sub>2</sub>Fe<sub>17</sub>N<sub>3</sub>, magnetic properties, coercivity