



## FABRICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO MAGNÉTICA DE LIGAS MAGNETOCALÓRICAS

João Gabriel Zago (PIBIC/CNPq/FA/Uem), William Imamuro (Aluno), Cleber Santiago Alves (Orientador), e-mail: csalves@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá / Centro de Tecnologia/Maringá, PR.

**Palavras-chave:** Compósito, Magnetismo, Efeito Magnetocalórico.

### Resumo:

Algumas formas de se reduzir a utilização de gases poluentes vêm sendo amplamente estudadas de modo a favorecer o meio ambiente. Com alternativa ao uso destes gases em máquinas térmicas, neste trabalho estudamos o emprego de materiais que apresentem o efeito magnetocalórico. Para alcançar tal objetivo foi necessária a fabricação e caracterização de ligas de GdGeSi processadas na forma de compósito em matriz polimérica. Com a realização deste trabalho pode-se concluir que a técnica de processamento tem potencial para ser utilizada na fabricação destes materiais.

### Introdução

Devido à grande demanda mundial por refrigeração, é necessário cada vez mais desenvolver formas de se produzir este tipo de equipamento sem causar danos ao ambiente em que vivemos. Com a descoberta do *Efeito Magnetocalórico Gigante* (EMCG), apresentada por Pecharsky e Gschneidner (1997) foi possível que se pensasse em produzir refrigeradores magnéticos, como mostrado por Franco e Gutfleisch (2012), com potencial de refrigeração igual ou até melhor que os existentes, porém com o benefício da não utilização de gases danosos ao meio ambiente. Com o objetivo de se estudar e fabricar este tipo de material, realizou-se este projeto, no qual foi estudada a liga  $Gd_{5,09}Ge_{2,03}Si_{1,88}$  e também o compósito feito a partir dela com o polímero PANi-CSA (polianilina canforsulfônica).





## **Materiais e métodos**

### *Metodologia para produção e caracterização do pó*

Para a produção do pó, foi feita a pesagem na estequiometria requerida pela fórmula química dos elementos químicos Germânio, Silício e Gadolínio. Em seguida, inseriu-se no forno de fusão os fragmentos pesados e fundiu-se todos em uma única amostra, após algumas lavagens com Argônio. Concluída esta etapa para todas as amostras, foram selecionadas as que possuíam perda de massa menor que 2% e com a coloração e estrutura característica da liga. As amostras selecionadas passaram pelo processo de maceração, o qual foi realizado até que o pó se encontrasse entre 38 e 45  $\mu\text{m}$  e então misturados para formar uma massa homogênea. Para a caracterização das propriedades magnéticas foi utilizado o SQUID. Para a caracterização estrutural foi utilizada a difração de raios-X (realizado no LNLS) e do MEV (realizado no COMCAP-UEM).

### *Metodologia para produção e caracterização do polímero*

A produção do polímero foi feita a partir da anilina. Esta passou por destilação duas vezes para a retirada do álcool e água, oriundos de sua oxidação. Com o produto da primeira etapa foi feita a reação em meio ácido canforsulfônico e persulfato de amônia, concentração de 0,1 e 0,05 mol/L, respectivamente, e foi gotejado por 24 horas, à 8 °C. Para a caracterização do polímero, foram feitos o DRX (realizado no LNLS), análise termogravimétrica (TG), o DSC (realizado no COMCAP-UEM). Foi feito também o FTIR e a análise de absorvância molecular (UV-Vis), ambos realizados no Departamento de Química da UEM.

### *Metodologia para produção e caracterização do polímero*

Para a produção do compósito a partir da compactação o polímero foi misturado com a liga na proporção determinada e inseridos na matriz de compactação. Para a compactação, a amostra era submetida a 150 MPa, durante 1 minuto e meio, aliviada durante 30 segundos e então novamente compactada à mesma pressão durante outros um minuto e meio. Além disso, algumas das amostras foram sinterizadas, tal processo se deu parcialmente com a bomba de vácuo ligada à uma temperatura de 170°C. Esta temperatura foi mantida por 5 ou 10 horas, e resfriada internamente ao





forno para evitar contaminação. As amostras foram submetidas ao teste de microdureza Vickers (HVS), além da análise magnética e imagens de MEV para as amostras.

## Resultados e Discussão

A tabela 1 apresenta um resumo das amostras preparadas.

**Tabela 1** – Tabela das características geométricas e de produção.

Amostra	Diâmetro (mm)	Sinterização (h)	Massa antes da Sinterização (g)	Massa após a Sinterização (g)
01	5	-	0,410	-
02	10	-	0,488	-
03	5	10	0,465	0,458
04	10	5	0,475	0,468

Pode ser observada uma perda mássica durante a sinterização devido a retirada de umidade. Após a realização dos testes magnéticos, obteve-se as propriedades tanto magnéticas quanto magnetocalóricas, apresentadas nas tabelas 2 e 3.

**Tabela 2** – Tabela contendo características magnéticas das amostras.

Amostra	$M_s$ (meu.g <sup>-1</sup> )	$H_s$ (kOe)	$T_1$ (aquec. ref.) (K)	$T_2$ (aquec. ref.) (K)	$\Delta T_H$ (K)
01	~110	~10	266,38 257,71	306,22 298,93	8,7
02	~96	~10	266,69 261,24	306,76 305,23	5,5
03	~116	~9	264,56 257,28	304,54 303,31	7,3
04	~93	~10	264,54 259,36	306,58 303,32	5,2

$M_s$ : magnetização de saturação;  $H_s$ : campo magnético de saturação;  $T_1$ : temperatura de transição de primeira ordem;  $T_2$ : temperatura de transição de segunda ordem;  $\Delta T_H$ : histerese térmica.

A partir da tabela acima, tem-se que  $M_s$  e  $H_s$  se mantiveram constantes mesmo com a realização da sinterização, porém as temperaturas de transição de primeira e segunda ordem, mostradas por Romero et al. (2013), reduzi.

**Tabela 3** – Tabela contendo propriedades termodinâmicas além da microdureza das amostras.

Amostra	$ \Delta m_{\max} $	$T_c$	$\delta T_{MW}$	RCP(S)	Microdureza Vickers
---------	---------------------	-------	-----------------	--------	---------------------





	(J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	(K)	(K)	(J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	300g/30s (HV)
01	3,68369	265	19,18443	70,66949	17,74
02	3,07815	265	20,38841	62,75858	16,75
03	3,7396	263	20,49907	76,65832	23,73
04	3,07146	263	20,76835	63,78916	22,60

A partir das propriedades apresentadas nas tabelas acima, tem-se que ao se realizar a sinterização as propriedades magnetocalóricas não sofreram alteração, porém observou-se um aumento da dureza do material, o que favoreceu suas propriedades mecânicas.

### Conclusões

O objetivo principal que era a fabricação e caracterização da liga e dos compósitos, que foram feitos a partir da liga e do polímero, com a menor perda possível de propriedades magnetocalóricas e melhora das propriedades mecânicas, foi alcançado com sucesso.

### Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador e ao meu colega de trabalho pelo suporte prestado, ao CNPq pela bolsa concedida e, por fim, aos meus pais e a Deus pelo apoio em minhas dificuldades.

### Referências

ROMERO, J. G., FERREIRO, R. G., DE MIGUEL, A. C., ROMERO, M. G. Magnetocaloric effect: A review of the thermodynamics cycles in magnetic refrigeration. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, vol.17, p74-82, 2013.

PECHARSKY, V. K., GSCHNEIDNER, K. A. Giant Magnetocaloric Effect in Gd<sub>5</sub>(Si<sub>2</sub>Ge<sub>2</sub>). **Physical Review Letters**, vol.78, n.23, p4494-4497, 1997.

FRANCO, V., GUTFLEISCH, O. Magnetic Materials for Energy Applications. **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**, vol. 64, n.7, p750-751, 2012.

