

Projeto para o Programa PIBIC

Investigação do possível efeito torsioalórico em polímeros

Orientador: Alexandre Magnus Gomes Carvalho

Co-orientador: Alex Matos da Silva Costa

Unidades: Laboratório Nacional de Luz Síncrotron – CNPEM

Laboratório Nacional de Nanotecnologia – CNPEM

1. Introdução

Os efeitos denominados i-calóricos estão diretamente relacionados aos fenômenos de variação reversível de temperatura e de entropia observados em sistemas submetidos à variação de uma ou mais grandezas intensivas, tais como, campo magnético e pressão.

O efeito i-calórico mais estudado até o momento tem sido o efeito magnetocalórico (abreviado neste texto como Eh-C). A partir da descoberta do Eh-C gigante no composto $Gd_5Ge_2Si_2$, em 1997 [1], proliferaram-se as pesquisas sobre o Eh-C e novos materiais magnetocalóricos, resultando em um crescimento exponencial de artigos científicos na área. Vale mencionar a tese de doutorado [2] foi enfocada na família de materiais $Gd_5(Ge_{1-x}Si_x)_2$, da qual o famoso composto $Gd_5Ge_2Si_2$ faz parte. O efeito eletrocalórico (abreviado neste texto como Ee-C) teve um divisor de águas com a publicação do artigo demonstrando o Ee-C gigante no filme fino de $PbZr_{0.95}Ti_{0.05}O_3$, em 2006 [3]. Desde então, o número de publicações relacionadas a este efeito i-calórico tem crescido exponencialmente também. Já o número de trabalhos relacionados ao efeito mecanocalórico (abreviado neste texto como $E\sigma$ -C) teve somente um crescimento moderado a partir de 2009, mas contando com artigos em periódicos de alto fator de impacto [4,5,6]. Uma aplicação direta dos efeitos e materiais i-calóricos é em sistemas de refrigeração.

Pouco tem sido produzido em termos de refrigeração eletrocalórica ou mecanocalórica. Certamente, há desafios que precisam ser vencidos para que esses sistemas de refrigeração possam evoluir. Mais uma vez, os materiais refrigerantes são os gargalos desses desenvolvimentos, sobretudo no que tange à refrigeração eletrocalórica. Os maiores valores de variação de entropia e variação de temperatura induzidos por variações de campo elétrico são observados em filmes finos de óxidos e polímeros. À medida que a espessura dos filmes aumenta, o Ee-C diminui. Ou seja, materiais com massas razoáveis para aplicação em refrigeração de médios e grandes volumes apresentam baixo Ee-C. No caso da refrigeração mecanocalórica, o desafio maior parece estar nas pressões envolvidas para se obter valores razoáveis de $E\sigma$ -C para aplicação, pelo menos quando os materiais refrigerantes são intermetálicos. Pressões bem menores são necessárias quando os materiais refrigerantes são polímeros elastômeros, como a borracha natural.

No presente projeto, estudaremos o efeito mecanocalórico ($E\sigma$ -C) em diversos polímeros, com ênfase nos elastômeros. Diferentemente dos intermetálicos magnetocalóricos, os polímeros elastômeros possuem alta eficiência calórica e baixo custo, o que os torna fortes candidatos a serem usados em dispositivos mecanocalóricos. Na literatura, não nenhum trabalho sobre $E\sigma$ -C sob torção. Nossa ênfase será no estudo do $E\sigma$ -C torcido em polímeros, incluindo experimentos no simulador termomecânico *Gleeble 3800*. Havendo sucesso neste experimento, entenderemos melhor os mecanismos do $E\sigma$ -C em polímeros e teremos mais uma opção de caracterização de materiais para os pesquisadores usuários do LNLS.

2. Objetivos principais

- 2.1 Verificar o efeito mecanocalórico sob torção;
- 2.2 Desenvolver nova técnica para medir o efeito mecanocalórico no simulador termomecânico *Gleeble 3800*;
- 2.3 Analisar o efeito mecanocalórico gigante observado em diferentes polímeros.

3. Resultados esperados

Esperamos observar nos polímeros estudados uma variação significativa de temperatura em função de sua deformação e da sua temperatura inicial.

4. Metodologia

Desde antes da inauguração do LMiC, temos realizado testes com o aparato experimental mostrado na Figura 1^[7]. Nestes testes, foram utilizados diferentes polímeros, dentre eles borracha vulcanizada e PDMS. Além da variação adiabática da temperatura (ΔT_s) em função da temperatura, é possível obter também curvas de deformação vs. temperatura e pressão vs. deformação. A partir das curvas de deformação vs. temperatura, calcula-se a variação isotérmica da entropia (ΔS_T), o outro parâmetro que caracteriza o $E\sigma$ -C, em função da temperatura e para diferentes variações de pressão.

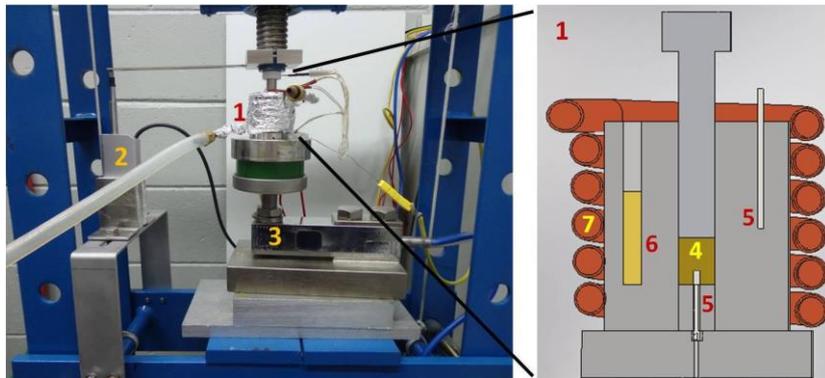


Figura 1: Sistema montado no LMiC para experimentos de $E\sigma$ -C compressivo. O número 1 indica a célula de pressão desenvolvida por nós; o número 7 refere-se à serpentina para resfriamento^[7].

Neste projeto, pretende-se utilizar o simulador termomecânica *Gleeble 3800* nas medidas dos parâmetros mencionados anteriormente para diversos polímeros, dentre eles: borrachas nitrílicas (NBR), borrachas de estireno butadieno (SBR), neoprene, teflon, silicones. Os ensaios de torção serão realizados no módulo de torção do simulador termomecânico *Gleeble 3800*[®], mostrado na Figura 2, o qual encontra-se instalado no LNNano/CNPEM. Este equipamento possibilita um preciso controle sobre a rotação, bem como sobre a temperatura do corpo de prova [8]. Em uma faixa restrita, também pode ser imposta uma força de tração/compressão. O modelo empregado é capaz de aplicar 56 Nm de torque e atingir uma velocidade rotacional de até 1500 rpm. Uma célula de carga é utilizada para medir o torque aplicado e há duas formas de se controlar o efeito de tração/compressão: através do controle da força aplicada, medida por uma célula de carga, ou por meio do controle do curso de deslocamento. O sistema hidráulico aplica a torção à garra da direita na Figura 3, enquanto a garra à esquerda é responsável pela movimentação longitudinal (forças de

tração/compressão). O sistema de aquecimento resistivo permite taxas de aquecimento de até 100 °C/s e existem duas formas de se controlar a temperatura: através de um pirômetro ou por meio de termopares.



Figura 2: Simulador termomecânico Gleeble 3800® com módulo de torção e sistema de resfriamento com nitrogênio líquido.

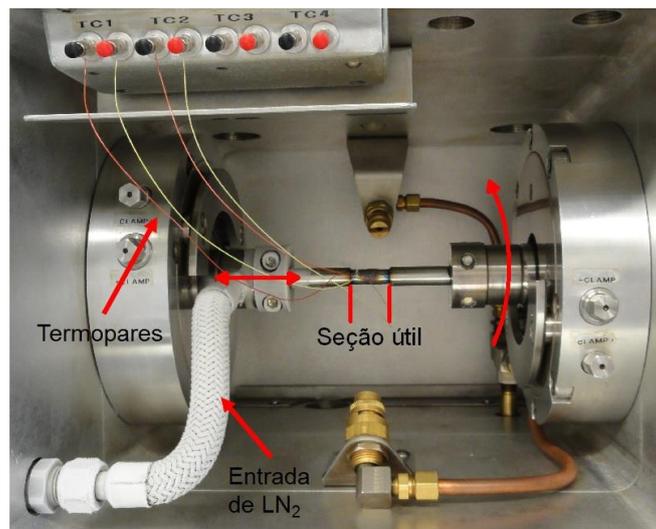


Figura 3: Câmara do módulo de torção do simulador termomecânico após ensaio. A garra à esquerda é responsável pela movimentação longitudinal e à direita, pela rotação.

5. Cronograma

Na tabela a seguir, estão relacionados os problemas propostos que foram numerados seção 3 deste projeto. O desenvolvimento deles está distribuído pelos 4 trimestres de projeto e as atividades propostas são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1. Atividades propostas no projeto de iniciação científica.

Atividades	Período (Trimestres)
Obtenção das amostras	1°
Produção dos corpos de prova	1° e 2°
Ensaio de torção	2° e 3°
Apresentação do relatório e publicações	3° e 4°

6. Bibliografia

- [1] Pecharsky, V. K., e Gschneidner Jr., K. A., Phys. Rev. Lett. **78** (23), 4494 (1997).
- [2] Carvalho, A. M. G., **Estudo de propriedades estruturais, magnéticas e magnetocalóricas de compostos à base de Gd, Ge e Si**. Tese de doutorado. Campinas, SP, Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Física "Gleb Wataghin", 2006.
- [3] Mischenko, A. S. *et al.*, Science **311**, 1270 (2006).
- [4] Mañosa, L. *et al.*, Nat. Mater. **9**, 478 (2010).
- [5] Mañosa, L. *et al.*, Nat. Commun. **2**, 595 (2011).
- [6] Matsunami, D. *et al.*, Nat. Mater. **14**, 73 (2015).
- [7] Carvalho, A. M. G., **Efeitos i-Calóricos**. Auxílio Regular à Pesquisa – Fapesp (Nro. Processo 2016/22934-3). Instituição Sede – LNLS CNPEM, 2016.
- [8] DYNAMIC SYSTEMS INC. Gleeble Users Training 2009: Gleeble Systems and Applications. 2009.