

EFEITO TORSIOCALÓRICO: FUNDAMENTAÇÃO, RESULTADOS EXPERIMENTAIS E PERSPECTIVAS DE APLICAÇÃO

Edson Aparecido Domingues Junior (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Pedro Brugnolo Ranieri,
Flávio Clareth Colman, Cleber Santiago Alves (Orientador). E-mail:
ra141293@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá, Engenharias, Maringá, PR.

Área e subárea do conhecimento: Engenharia Mecânica / Termodinâmica Experimental.

Palavras-chave: feito torsiocalórico; refrigeração de estado sólido; polímeros; ligas com memória de forma.

RESUMO

O efeito torsiocalórico (σ_T -CE) pode ser compreendido como a variação de temperatura (ΔT) ou de entropia (ΔS) que ocorre quando um material é submetido a esforços de torção. Neste trabalho, os autores apresentam o desenvolvimento de um dispositivo experimental de baixo custo, projetado para permitir a medição direta do τ -CE em diferentes materiais sólidos. O sistema foi aplicado em duas classes de materiais: polímeros rígidos (HDPE) e ligas com memória de forma (Ni-Ti). Os resultados mostraram que o equipamento é capaz de registrar curvas de torque versus deslocamento angular, realizar ensaios de fadiga, detectar ΔT adiabático e avaliar a reversibilidade do efeito. O HDPE se destacou como um material útil para caracterizações mecânicas sob torques elevados, enquanto a liga Ni-Ti confirmou a ocorrência do efeito torsiocalórico, apresentando variações de ΔT da ordem de kelvins. O estudo reforça a confiabilidade e reprodutibilidade do sistema, além de indicar possíveis aplicações futuras em refrigeração de estado sólido e no gerenciamento térmico sustentável.

INTRODUÇÃO

A busca por alternativas sustentáveis à refrigeração convencional tem impulsionado o estudo dos efeitos calóricos, capazes de converter estímulos externos em variações de temperatura. Entre eles, destaca-se o efeito torsiocalórico (σ_T -CE), ainda pouco explorado, mas promissor para aplicações tecnológicas em sistemas compactos, de baixo consumo energético e voltados à eletrônica portátil ou dispositivos biomédicos. O σ_T -CE ocorre pela aplicação de torção em materiais, gerando variações de temperatura (ΔT) em regime adiabático ou de entropia (ΔS) em regime isotérmico. Em ligas com memória de forma, como Ni-Ti, o fenômeno está ligado à transição austenita-martensita, enquanto em polímeros semicristalinos, como o HDPE, resulta de rearranjos conformacionais das cadeias. Além dos

experimentos, modelos termodinâmicos já permitem estimar trabalho específico, potência e eficiência de ciclos, colocando o σ t-CE em pé de igualdade com outros efeitos i-calóricos. Contudo, sua investigação foi limitada pela falta de instrumentação específica (Imamura, 2018; Wang et al., 2019; Zhao, 2022). Nesse contexto, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um dispositivo experimental simples e eficaz para caracterizar materiais sob torção e medir diretamente o efeito, ampliando as perspectivas para sua aplicação em refrigeração de estado sólido.

MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado na bancada de testes foi o polietileno de alta densidade (HDPE). As amostras de HDPE foram preparadas em formato cilíndrico (12 mm de diâmetro e 66 mm de comprimento). A bancada experimental é composta por motores de passo acoplados a castanhas, transdutores de torque e termopares tipo K, permitindo medições precisas. Sua faixa de operação inclui torques de até 10 N·m, resolução de 0,08 N·m e deslocamentos angulares mínimos de 0,02°. A captação de dados nos termopares (acoplados diretamente às amostras) pode ser variada, permitindo precisão na coleta dos dados de temperatura. Essa variação pode ser fixada em intervalos muito pequenos até grandes intervalos, sendo o mais comum a de 100ms entre a captação de dados (10 amostras por segundo). Os dados captados são projetados numa tabela onde suas colunas são em função do tempo e do torque aplicado no momento. E posteriormente o gráfico é gerado.

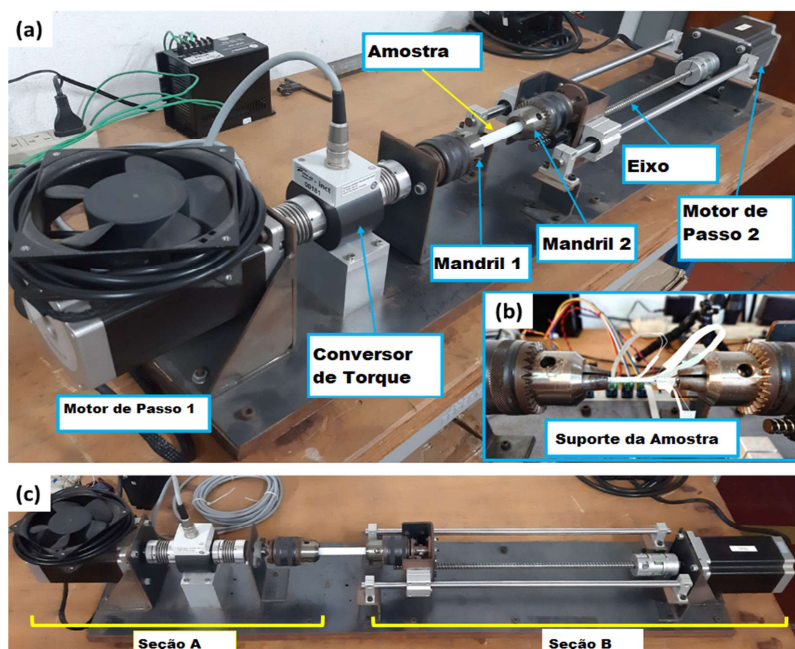


Figura 1. A bancada de testes. (a) Vista do dispositivo com seus principais componentes. (b) Suporte da amostra pelos mandris, com termopares presos à mesma. (c) Vista lateral superior do dispositivo, mostrando as seções A e B.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes realizados com o HDPE permitiram traçar curvas de torque em função do deslocamento angular, revelando os regimes elástico, plástico e de ruptura. Além disso, ensaios de fadiga com até 100 ciclos demonstraram a estabilidade do sistema em diferentes condições, reforçando sua confiabilidade. Esses resultados foram consistentes e reprodutíveis, o que valida a eficiência do dispositivo em detectar o fenômeno, especialmente quando analisado os trabalhos dos autores em que esse resumo foi baseado.

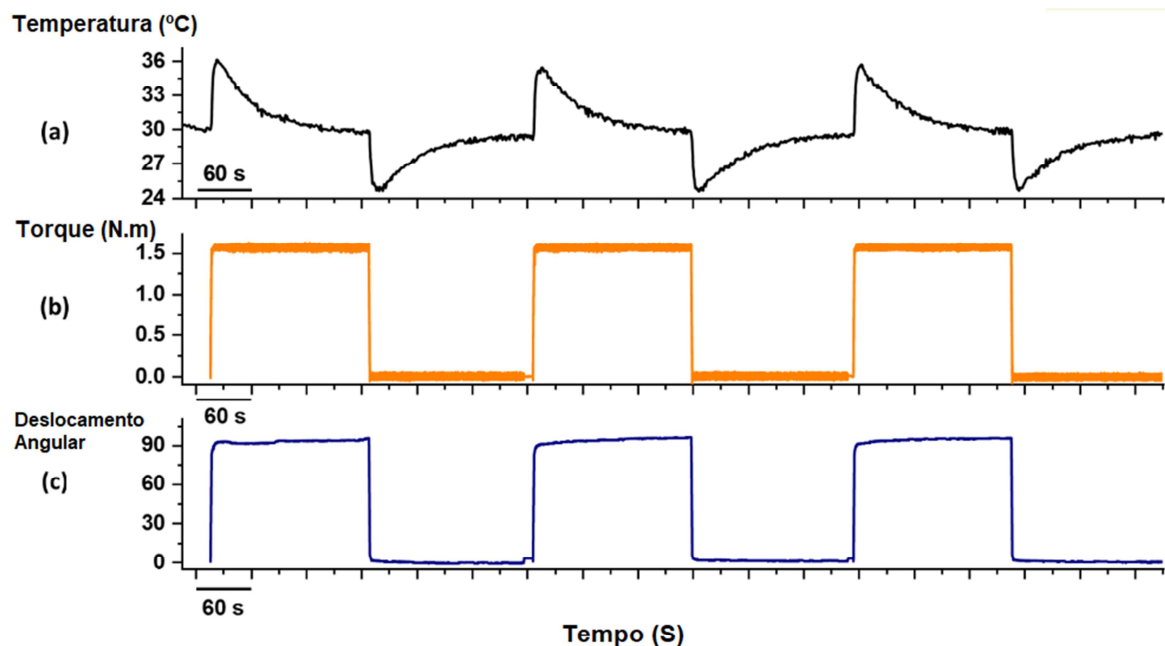


Figura 2. Efeito torsiocalórico do Ni-Ti em três ciclos consecutivos. Dados para temperatura (a), torque (b) e deslocamento angular (c) em função do tempo.

Possíveis aplicações futuras de materiais com efeito torsiocalórico podem incluir o projeto de equipamentos de troca térmica portáteis e/ou sensores de sistemas onde a variação de temperatura é um parâmetro detectável.

CONCLUSÕES

Conclui-se que o dispositivo desenvolvido mostrou-se eficaz tanto para caracterizações mecânicas quanto para a medição direta do efeito torsiocalórico. Os resultados com HDPE serviram para validar o desempenho mecânico do sistema, enquanto os testes com a liga Ni-Ti confirmaram a presença clara do σ_t -CE. O estudo representa um avanço importante no campo da refrigeração em estado sólido, apresentando uma alternativa de baixo custo, precisa e reprodutível.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece à Universidade Estadual de Maringá, ao Departamento de Engenharia Mecânica, ao Novo Arranjos de Pesquisa e Inovação - Energias Zero Carbono (NAPI EZC) da Fundação Araucária pela bolsa concedida bem como pela oportunidade de uma boa formação e atuação do bolsista no meio acadêmico.

REFERÊNCIAS

1. USUDA E. O.; COLMAN F. C.; IMAMURA, W. *et. al. Exploring Thermomechanical Properties Under Shear-Stress in Materials – A Device for Measuring the Torsiocaloric Effect.*
2. IMAMURA, W.; PAIXÃO, L. S.; USUDA, E. O.; BOM, N. M.; GAMA, S.; LOPES, E. S. N.; CARVALHO, A. M. G. *i-Caloric Effects: A Proposal For Normalization. 8th International Conference on Caloric Cooling (Thermag VIII).*
3. Wang, R. *et al. Science* (1979) 366, 216-221 (2019). *Torsional refrigeration by twisted, coiled, and supercoiled fibers* (2019).
4. Zhao, H. & Wu, K. *Experimental and numerical investigation of the transient thermal characteristics of twisted nitinol wires in a continuous torsional refrigeration system. PLoS One* 17, e0277415 (2022).