ÓLEO DE TENEBRIO MOLITOR E HEMETIA ILLUCENS: UM ESTUDO BAROCALÓRICO

Pedro Henrique Vená da Silva (PIBIC/CNPq/FA-UEM), Flávio Clareth Colman (Orientador), Lúcio Cardozo Filho (Coorientador). E-mail: fccolman@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Mecânica, Maringá, PR.

Área e subárea do conhecimento: Engenharia Mecânica / Engenharia Térmica.

Palavras-chave: Efeito barocalórico; Óleos de insetos; Origem sustentável.

RESUMO

A busca por tecnologias de refrigeração sustentáveis tem intensificado as pesquisas sobre o efeito barocalórico em substituição aos ciclos tradicionais de compressão de vapor, que utilizam fluidos refrigerantes com alto potencial de aquecimento global (GWP). Embora materiais barocalóricos sólidos tenham sido amplamente estudados, a transição para biomateriais líquidos, como óleos orgânicos, apresenta-se como uma alternativa promissora devido à baixa toxicidade, à biodegradabilidade e ao custo reduzido. Este trabalho investigou o potencial barocalórico de óleos extraídos de *Tenebrio molitor* e *Hermetia illucens* (mosca-soldado-negra). A metodologia consistiu na caracterização térmica por calorimetria diferencial de varredura (DSC) e nas medidas diretas da variação adiabática de temperatura (ΔT_S) e indireta da variação isotérmica de entropia (ΔS_T). Os ensaios confirmaram a presença do efeito barocalórico em ambos os óleos. O de Tenébrio apresentou de 14,25 K e de 125,35 $J{\cdot}kg^{-1}{\cdot}K^{-1}$, enquanto o de Mosca Soldado registrou 11,90 K e 74,23 $J{\cdot}kg^{-1}{\cdot}K^{-1}$, sob 174 MPa, resultando em índices de mérito de 84,2 e 68,4 $K{\cdot}GPa^{-1}$, respectivamente, valores comparáveis aos de outros materiais reportados na literatura.

INTRODUÇÃO

A refrigeração convencional, baseada na compressão de vapor, depende de fluidos refrigerantes como os CFCs e HCFCs, cuja depleção da camada de ozônio motivou a elaboração do Protocolo de Montreal. Em seguida, surgiram os HFCs, também restringidos pela Emenda de Kigali devido ao seu elevado potencial de aquecimento global (GWP). Diante a necessidade de refrigerantes termodinamicamente eficientes e ambientalmente amigáveis, intensificaram-se os estudos sobre os efeitos mecanocalóricos. O efeito barocalórico, induzido por pressão hidrostática é um caso especial do efeito mecanocalórico. Este efeito é caracterizado pela variação adiabática de temperatura (ΔT_S) e isotérmica de entropia (ΔS_T) (TAKEUCHI; SANDEMAN, 2015). Materiais no estado sólido apresentaram valores de efeito barocalórico de grande a colossais. Quando considerado o estado líquido, o número de estudos sistemáticos encontra-se em fase inicial. Nesse cenário, tem-se como objetivo estudar e caracterizar o efeito barocalórico dos óleos de Tenébrio e de

Mosca Soldado Negra e analisar, por meio de índices de mérito, seu potencial como fluidos refrigerantes.

MATERIAIS E MÉTODOS

As medidas diretas da variação adiabática de temperatura (ΔT_S) foram realizadas em amostras de aproximadamente 2,5 mL (para os óleos de mosca soldado negra e de tenébrio), em uma faixa de temperatura entre 273 e 313 K (± 0,1 K), sob pressões hidrostáticas de 42, 86, 130 e 174 MPa (± 3 MPa). A variação isotérmica de entropia (ΔS_T) foi obtida indiretamente por meio da relação de Maxwell (Equação 1), que correlaciona ΔT_S com o calor específico (C_p) do material, previamente determinado por calorimetria diferencial de varredura (DSC) em equipamento TA Instruments (modelo DSC Q20), amostra com 5mg, taxa de aquecimento de 10 K/min e fluxo de nitrogênio de 50 mL/min.

$$\Delta S_T(T, \Delta p) \approx -\frac{C_p(T)}{T}\Delta T_S(T, \Delta p) \quad (1)$$

Para o tratamento dos dados, assumiu-se a independência do C_p em relação à pressão, e as curvas térmicas foram tratadas para subtração do calor latente, garantindo que a entropia calculada refletisse apenas a contribuição do efeito barocalórico. Para comparação com outros materiais barocalóricos reportados na literatura, calculou-se o índice de mérito $|\Delta T_S/\Delta p|$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise por DSC permitiu identificar a temperatura de transição de fase de ambos os óleos em aproximadamente 301 K (28 °C). As curvas de fluxo de calor em função da temperatura foram utilizadas para o cálculo do calor específico (C_p). As medidas diretas de ΔT_S, conduzidas entre 273 e 313 K, mostraram que o óleo de Mosca Soldado Negra atingiu um pico de 11,90 K sob 174 MPa em 293,3 K, com resposta de -12,57 K na descompressão em 300,50 K (Figura 1a). O óleo de Tenébrio apresentou valores superiores, de 14,25 K na compressão e -14,05 K na descompressão, ambos em 313 K sob a mesma pressão (Figura 1b).

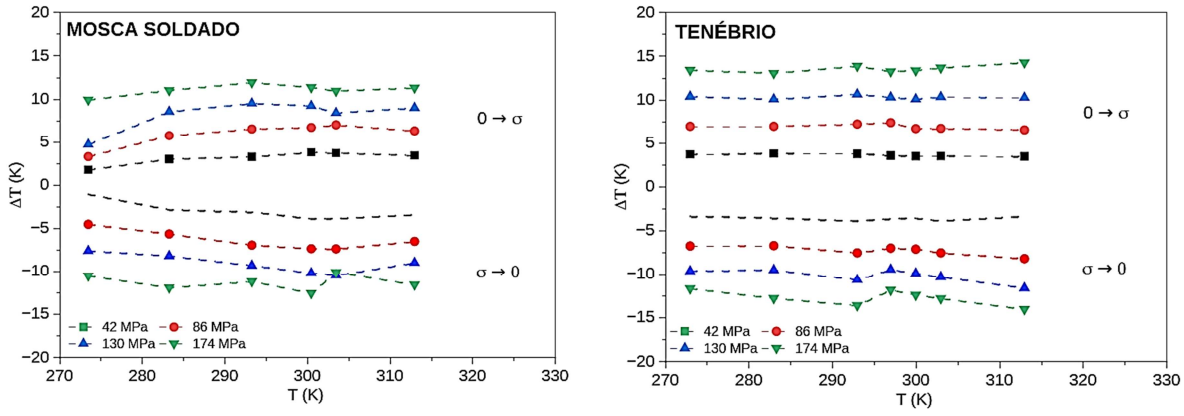


Figura 1 – Variação adiabática de temperatura (ΔT_S) para (a) óleo de Mosca Soldado e (b) óleo de Tenébrio.

A variação isotérmica de entropia (ΔS_T), obtida pela relação de Maxwell, acompanhou tendência semelhante (Figura 2): para o óleo de Mosca Soldado Negra, o valor máximo obtido foi de 74,23 J·kg^{-1}·K^{-1} em 313 K sob 174 MPa; para o óleo de Tenébrio, o maior valor obtido ocorreu em 273 K, atingindo 125,35 J·kg^{-1}·K^{-1} na compressão e -110,5 J·kg^{-1}·K^{-1} na descompressão em 293 K, com redução progressiva da magnitude de ΔS_T conforme a temperatura de ensaio aumentou.

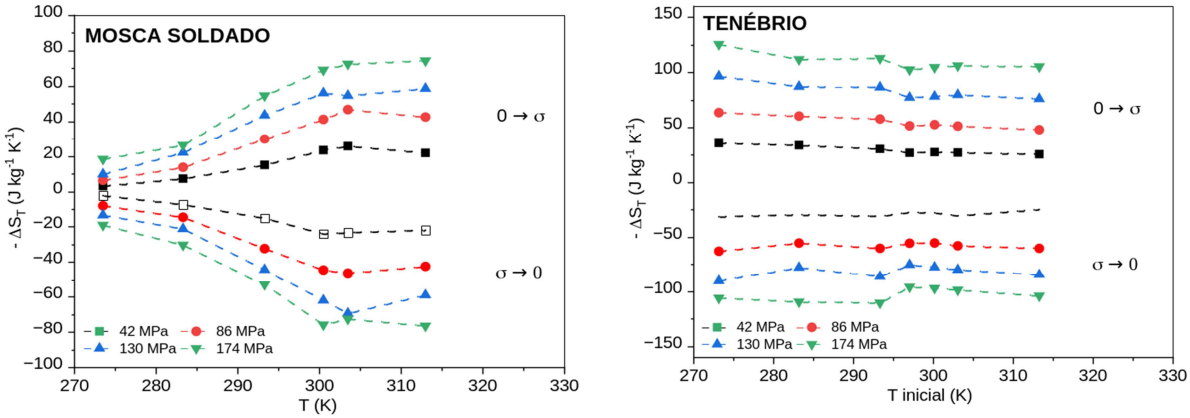


Figura 2 – Variação isotérmica de entropia (ΔS) para (a) óleo de Mosca Soldado e (b) óleo de Tenébrio.

A Tabela 1 compara os índices de mérito $|\Delta T_S/\Delta p|$ obtidos com valores reportados na literatura para outras classes de materiais. Os óleos de Tenébrio e de Mosca Soldado apresentaram desempenho superior ao do óleo de castanha-do-pará e ao do ácido palmítico nas condições de processo consideradas. No entanto, os ácidos graxos de cadeia longa, como o ácido esteárico e o éster, como o metil palmitato apresentaram desempenho superior pois a análise considerou uma região em que passam pela transição de estado sólido para o líquido. Ainda assim, os resultados confirmam que os óleos de Tenébrio e Mosca Soldado Negra seguem a mesma tendência de desempenho observada em outros materiais orgânicos reforçando seu potencial como refrigerantes de baixo impacto ambiental.

Tabela 1 – Comparação de índices de mérito entre materiais orgânicos

Material	T **(K)**	ΔT_S **(K)**	ΔS_T**(J kg^{-1} K^{-1})**	**|Δp| (GPa)**	$\|\Delta T_S/\Delta p\|$ **(K GPa^{-1})**	**Referência**
Tenébrio	313	14,25	125,35	0,17	84,2	Este trabalho
Mosca Soldado	293,3	11,90	74,23	0,17	68,4	Este trabalho
Ácido palmítico	303	8,6	37	0,17	50,5	Imamura et al. (2025)
Ácido esteárico	345	31,5	208	0,17	181	Imamura et al. (2025)
Castanha-do-pará	323	11,4	---	0,17	65	Dalmolin et al. (2025)
Metil palmitato	311	22	707	0,08	275	Fu et al. (2025)

CONCLUSÕES

Os ensaios confirmam a presença do efeito barocalórico nos óleos de Tenébrio e Mosca Soldado Negra com índices de mérito comparáveis a outros materiais reportados na literatura. Isto indica uma possibilidade de aplicação como refrigerantes barocalóricos sustentáveis. Contudo, a sua viabilidade ainda depende de estudos em condições reais de aplicação que necessitam de ciclos de pressão e descompressão. Além disso, caracterização posterior, principalmente no que se refere a uma possível degradação.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e à Fundação Araucária, pelo apoio financeiro por meio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), e ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Maringá.

REFERÊNCIAS

DALMOLIN, I. et al. Thermophysical characterization of Brazil nut oil in pressurized solvents: density modeling and barocaloric effect for sustainable process development. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 225, 106711, 2025.

FU, D. et al. Colossal barocaloric effect in fatty acid methyl esters. **Journal of Materials Chemistry C**, v. 13, p. 199-201, 2025.

IMAMURA, W. et al. Colossal Barocaloric Effect in Fatty Acids: Eco-Friendly Refrigerants for Use in Alternative Cooling Technologies. The **Journal of Physical Chemistry C**, v. 129, p. 12727-12737, 2025.

TAKEUCHI, I.; SANDEMAN, K. Solid-state cooling with caloric materials. **Physics Today**, v. 68, n. 12, p. 48-54, 2015.