

-
-

Conversão de energia térmica de um motor de combustão interna em energia elétrica

Thermal energy conversion from an internal combustion engine into electrical energy

Cauan Richard Alves Antunes

Leonardo Dutra dos Santos

Orlando Rosa Junior

RESUMO

O trabalho propõe um sistema termoeletrico embarcado para reaproveitar o calor do motor de combustão interna e convertê-lo em eletricidade com módulos Peltier (TEC1-12730), visando reduzir a carga do alternador e o consumo de combustível. Avanços nos materiais termoeletricos permitem soluções compactas, robustas e adaptáveis, com benefícios ambientais e educacionais. A literatura destaca o efeito Seebeck e eficiências entre 5% e 8%, dependentes de ΔT elevado e bom acoplamento térmico. A metodologia inclui revisão teórica, dimensionamento, montagem entre radiador e reservatório, e testes de desempenho. Espera-se ΔT médio de 50 °C, geração de até 55 W e estabilidade térmica por mais de 20 minutos. A análise avaliará viabilidade, impacto e possíveis melhorias no sistema.

Palavras-chave:

Eficiência energética; Conversão termoeletrica; Motores de combustão interna; Calor residual; Sustentabilidade automotiva.

ABSTRACT

This study proposes an embedded thermoelectric system to recover heat from an internal combustion engine and convert it into electricity using Peltier modules (TEC1-12730), aiming to reduce alternator load and fuel consumption. Advances in thermoelectric materials enable compact, robust, and adaptable solutions with both environmental and educational benefits. The literature highlights the Seebeck effect and efficiencies ranging from 5% to 8%, dependent on high ΔT and effective thermal coupling. The methodology comprises theoretical review, system sizing, installation between the radiator and reservoir, and performance testing. A mean ΔT of 50 °C, power generation of up to 55 W, and thermal stability exceeding 20 minutes are expected. The analysis will assess feasibility, impact, and potential system improvements.

Keywords:

Energy efficiency; Thermoelectric conversion; Internal combustion engines; Waste heat recovery; Automotive sustainability.

1 INTRODUÇÃO

A eficiência energética dos sistemas automotivos é um tema central na Engenharia Moderna, impulsionada por exigências ambientais mais rigorosas e pela necessidade de reduzir o consumo de recursos fósseis (FEOFANOV e CHASHCHIN, 2021 e SHILPA *et al*, 2022). Entre os desafios, destaca-se o baixo aproveitamento energético dos motores de combustão interna, nos quais grande parte da energia do combustível é dissipada como calor (HAITHAM e KADHIM, 2024). Esse cenário revela não apenas um desperdício significativo, mas também um potencial pouco explorado para reaproveitamento, especialmente por meio da conversão termoelétrica, capaz de transformar calor residual em energia elétrica útil.

1.1 Problema de pesquisa

Motores de combustão interna convertem apenas parte da energia do combustível em trabalho mecânico, com eficiência de cerca de 30% (FEOFANOV e CHASHCHIN, 2021). Surge, assim, a questão de pesquisa: como converter, de forma eficiente e aplicável ao próprio veículo, parte dessa energia térmica em eletricidade, visando reduzir o consumo de combustível e aumentar a eficiência do sistema automotivo?

1.2 Objetivo(s)

O objetivo geral é desenvolver um sistema de conversão termoelétrica para transformar o calor excedente do motor em energia elétrica utilizável no próprio veículo.

1.2 Justificativa

Avanços nos materiais termoelétricos aumentaram a eficiência de conversão e a resistência a altas temperaturas, viabilizando sistemas compactos, de baixa manutenção e adaptáveis a diferentes categorias veiculares. Além do impacto ambiental e econômico, o estudo tem caráter educativo, integrando termodinâmica, eletrônica, ciência dos materiais e sustentabilidade, contribuindo para a formação de profissionais preparados para desenvolver soluções inovadoras e ambientalmente responsáveis.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A conversão de energia térmica em elétrica, ou geração termoelétrica, baseia-se no efeito *Seebeck*, e é aplicado em módulos termoelétricos como as pastilhas Peltier, que, no modo gerador, convertem calor em eletricidade (LUCAS e BARI, 2021 e GOLDSMID, 2010). No contexto automotivo, o uso dessas pastilhas para recuperar calor do sistema de arrefecimento pode aumentar a eficiência do sistema como um todo (FREIRE *et al*, 2021).

A eficiência atual dos módulos comerciais é de 5% a 8%, sendo mais viável em situações em que o calor é um subproduto inevitável. O desempenho depende de alta diferença de temperatura (ΔT), bom acoplamento térmico e controle da

resistência elétrica (TEC1-12730, 2024). Tendo como base as especificações da pastilha TEC1-12730, os dados são os seguintes:

- a) 15,2 V, 30 A, 320 W (modo refrigerador), 62 × 62 mm;
- b) Com $\Delta T \approx 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (80 $^{\circ}\text{C}$ quente / 30 $^{\circ}\text{C}$ fria), gera ~1–2 V, 2–4 A, resultando em 2–8 W contínuos por pastilha.

Para atingir uma maior eficiência térmica no conjunto, é importante utilizar trocadores de calor, aumentando significativamente a capacidade de resfriamento usando a pastilha Peltier (SHILPA *et al*, 2022 e ASHRAE, 2021). Quando usada como elemento gerador, pode aumentar a eficiência energética de motores a combustão (LUCAS *et al*, 2023a), além de poder ser usado para controlar ativamente as condições térmicas do sistema (LUCAS *et al*, 2023b).

3 METODOLOGIA

A metodologia é de natureza aplicada e experimental, abrangendo desde revisão teórica até montagem, testes e análise de um sistema termoelétrico embarcado para geração de energia elétrica a partir do calor do sistema de arrefecimento de um motor de combustão interna, utilizando pastilhas Peltier.

A montagem será feita entre radiador e reservatório, usando bloco de alumínio com canal interno (lado quente), dissipador com ventoinha (lado frio), pastilhas TEC1-12730 com pasta térmica, tubulação de 8 mm, fiação de 6 mm, controlador de carga solar (60 A) e bateria de 6 Ah para armazenamento.

Nos testes, o motor será operado em condições reais, registrando temperaturas, tensão, corrente, potência total e eficiência.

Na análise, serão comparados dados experimentais e teóricos, verificando eficiência, capacidade de geração, impacto na carga do alternador e viabilidade prática, além de discutir limitações e melhorias.

4 RESULTADOS ESPERADOS

Como o estudo está ainda em fase de implementação, a intenção do estudo é validar a quantidade de energia dissipada que retorna ao sistema na forma de carregamento das baterias.

Espera-se que o sistema termoelétrico embarcado, baseado em módulos Peltier (TEC1-12730), opere com ΔT médio de 50 $^{\circ}\text{C}$, obtido a partir de temperaturas estimadas de 85 $^{\circ}\text{C}$ a 90 $^{\circ}\text{C}$ no lado quente e 35 $^{\circ}\text{C}$ a 40 $^{\circ}\text{C}$ no lado frio. A previsão é de geração entre 3 W e 6 W por módulo, totalizando até 55 W com 10 unidades em paralelo, energia suficiente para alimentar sistemas auxiliares. A eficiência projetada varia entre 5% e 8%, com potencial de reduzir em até 1,5% a carga do alternador. Espera-se estabilidade térmica por mais de 20 minutos, embora temperaturas externas elevadas possam diminuir o desempenho, exigindo melhorias na dissipação.

5 CONCLUSÃO

A proposta de desenvolvimento de um sistema termoelétrico embarcado para reaproveitamento do calor dissipado por motores de combustão interna apresenta potencial relevante para aumentar a eficiência energética veicular e

reduzir a demanda sobre o alternador, com reflexos positivos no consumo de combustível e no impacto ambiental. O embasamento teórico, aliado aos avanços nos materiais termoelétricos, sustenta a viabilidade técnica da solução, que se destaca pela simplicidade construtiva, baixa manutenção e possibilidade de adaptação a diferentes categorias de veículos. Os resultados esperados indicam que, mesmo com eficiências de conversão relativamente modestas (5% a 8%), a geração contínua de energia para sistemas auxiliares pode representar um ganho significativo quando aplicada de forma integrada. Além disso, o estudo contribui para o avanço do conhecimento em engenharia automotiva e sustentabilidade, abrindo espaço para melhorias futuras e integração com outras fontes renováveis, como sistemas fotovoltaicos.

REFERÊNCIAS

ASHRAE. **ASHRAE handbook: fundamentals**. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2021.

FEOFANOV, S. A.; CHASHCHIN, S. L. Thermoelectric modular systems based on semiconductor elements of Peltier-Seebeck for vehicles. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 2061, p. 012015, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2061/1/012015>. Acesso em: 15 jul. 2025.

FREIRE, L. O.; NAVARRETE, L. M.; CORRALES, B. P.; CASTILLO, J. N. Efficiency in thermoelectric generators based on Peltier cells. **Energy Reports**, v. 7, p. 355-361, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.08.099>. Acesso em: 10 ago. 2025.

GOLDSMID, H. J. **Introduction to thermoelectricity**. Berlin: Springer, 2010.

HAITHAM, N. A.; KADHIM, N. S. Effect of fuel temperature on some performance indicators and exhaust gas emissions of a four cylinder diesel engine. **Iraqi Journal of Agricultural Sciences**, v. 55, n. 4, p. 1412-1418, 2024.

LUCAS, S.; BARI, S. Cooling by Peltier effect and active control systems to thermally manage operating temperatures of electrical machines (motors and generators). **Thermal Science and Engineering Progress**, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2021.100990>. Acesso em: 23 jul. 2025.

LUCAS, S.; MARIAN, R.; LUCAS, M.; OGUNWA, T.; CHAHL, J. Active thermal management of electric motors and generators using thermoelectric (Peltier effect) technology. **Energies**, v. 16, n. 9, 2023a. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en16093844>. Acesso em: 20 jun. 2025.

LUCAS, S.; MARIAN, R.; LUCAS, M.; OGUNWA, T.; CHAHL, J. Employing the Peltier effect to control motor operating temperatures. **Energies**, v. 16, n. 5, 2023b. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en16052498>. Acesso em: 9 fev. 2025.

SHILPA, M. K.; RAHEMAN, M. A.; AABID, A.; BAIG, M.; VEERESHA, R. K.; KUDVA, N. A systematic review of thermoelectric Peltier devices: applications and limitations. **Fluid Dynamics & Materials Processing**, v. 18, n. 3, p. 537-561, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.32604/fdmp.2022.020351>. Acesso em: 10 fev. 2025.

TEC1-12730. **Datasheet do módulo termoeletrico TEC1-12730**. [S. l.: s. n.], 2024. Disponível em: <https://www.adafruit.com/>. Acesso em: 8 mar. 2025.

SOBRE O(S)AUTOR(ES)

Sobre os autores:

Cauan Richard Alves Antunes

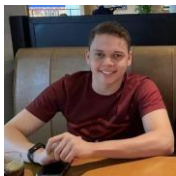
cauanrichardalves308@gmail.com



Possui formação em Técnico Mecânico pela escola SENAI Félix Guisard (2022), e Técnico Mecatrônica pela escola SENAI Félix Guisard (2023), cursando atualmente a graduação em Engenharia Mecânica (2025), e curso superior em Tecnólogo em mecatrônica pela Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica (2025). É assistente de manutenção na empresa Pan-Metal Indústria Metalúrgica Ltda.

Leonardo Dutra dos Santos

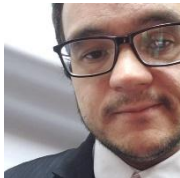
udutra.leo03@outlook.com



Possui formação em Técnico Mecânico pela escola SENAI Félix Guisard (2022), cursando atualmente a curso superior em Tecnólogo em mecatrônica pela Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica (2025). Atualmente é Técnico Mecatrônico na Pan-Metal Indústria Metalúrgica Ltda. Tem experiência na área de manutenção, com ênfase em Mecatrônica em máquinas CNC.

Orlando Rosa Junior

orlando.junior@sp.senai.br



Professor e pesquisador no SENAI de Taubaté, mestre em Inovação Tecnológica, com atuação em Automação Industrial, Inteligência Artificial e Tecnologias Educacionais. Mentora a equipe de robótica Sharks #9199 e desenvolve projetos voltados à indústria 4.0, eficiência energética e sustentabilidade.