



Motor Stirling didático: proposta de construção e melhorias.

Andrei da Silva Coelho | scheffercoelho@gmail.com¹
Matheus Arouche Rufino Santos | matheusarouchersantos@gmail.com¹
Kaio Kleverton Dutra de Goes | kleverson@regiscontabilidade.com.br¹
João Carlos Pozzobon | joao.pozzobon@ifsc.edu.br²

Trabalho de Ensino
DT 3 - Educação, Cidadania, Desenvolvimento Social e Práticas Inclusivas

Resumo:

Este trabalho apresenta uma proposta de adaptação do motor stirling utilizado comumente em bancadas didáticas para o ensino de termodinâmica e máquinas térmicas. Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o funcionamento do motor e suas aplicações didáticas, evidenciando a importância do gradiente térmico no seu desempenho. Com base nessa análise, foram propostas modificações construtivas visando aprimorar a transferência de calor, como a inserção de aletas na região fria e de um bloco de inércia térmica na fonte quente. Além disso, propõe-se a utilização de impressão 3D para a fabricação de componentes. Espera-se que a fabricação deste aparato contribua para a aprendizagem significativa, integrando teoria e prática no ensino de máquinas térmicas e conservação de energia.

Palavras-chave: protótipo; fabricação; energia térmica.

Introdução

O ensino de conceitos de termodinâmica no nível médio técnico em Mecânica pode apresentar desafios pedagógicos quando fenômenos complexos, como ciclos térmicos, expansão de gases e rendimento de máquinas, são abordados de maneira estritamente teórica. Nesse cenário, a utilização de protótipos didáticos surge como uma estratégia fundamental para aproximar os estudantes das realidades da engenharia, favorecendo a aprendizagem ativa por meio da observação, construção e análise crítica de sistemas reais.

O motor Stirling destaca-se nessa abordagem devido à sua natureza de motor de combustão externa. Diferente dos motores de combustão interna, o calor é fornecido fora da câmara de trabalho, o que confere ao sistema uma versatilidade notável, permitindo o

¹ Estudante do curso técnico em mecânica integrado do Instituto Federal de Santa Catarina do Campus Itajaí.

² Docente do Instituto Federal de Santa Catarina do Campus Itajaí.

uso de fontes térmicas diversas, como combustão de biomassa, resistência elétrica, energia solar concentrada ou calor residual de processos industriais. Historicamente desenvolvido por Robert Stirling em 1816, este motor opera por meio do aquecimento e resfriamento cíclico de um gás confinado, convertendo energia térmica em trabalho mecânico de forma contínua. O ciclo Stirling possui a particularidade teórica de apresentar a mesma eficiência térmica que o ciclo de Carnot.

Devido ao seu funcionamento visual e ciclo fechado, o motor Stirling é frequentemente empregado como recurso didático para o ensino de física e máquinas térmicas. No entanto, o desempenho desses protótipos em escala reduzida é sensível a variáveis como a eficácia da vedação, o atrito entre componentes e a manutenção do gradiente de temperatura entre as zonas de expansão e compressão.

Dessa forma, este trabalho objetiva apresentar o princípio de funcionamento do motor Stirling e descrever uma proposta didática para sua construção voltada a alunos do curso técnico em Mecânica. Para elevar o caráter investigativo da prática, propõe-se a análise de modificações construtivas voltadas à otimização da transferência de calor: a inserção de aletas na região fria para maximizar a dissipação térmica convectiva e o acréscimo de uma massa de inércia térmica na fonte quente para estabilizar o aporte de energia ao sistema. Com isso, busca-se estimular a compreensão integrada entre os princípios da termodinâmica, processos de fabricação mecânica e análise experimental de desempenho.

Fundamentação teórica

O motor Stirling é uma máquina térmica de combustão externa que converte energia térmica em energia mecânica a partir de um ciclo fechado. Diferentemente dos motores de combustão interna, o calor é fornecido externamente, permitindo o uso de diferentes fontes, como chama, energia solar ou calor residual (FURTADO; NOVENTA, 2014). Essa característica torna o motor versátil e adequado para aplicações sustentáveis.

Seu funcionamento baseia-se na variação de temperatura de um gás confinado, que se expande quando aquecido e se contrai quando resfriado. Esse processo ocorre de forma cíclica, gerando movimento mecânico. O ciclo ideal do motor Stirling é composto

por quatro etapas: compressão isotérmica, aquecimento a volume constante, expansão isotérmica e resfriamento a volume constante (ARSLAN; KOCAKULAK, 2023). De forma simplificada, o desempenho do motor está diretamente relacionado à diferença de temperatura entre a região quente e a região fria.

Do ponto de vista energético, a conversão de calor em trabalho pode ser analisada por meio de relações básicas da termodinâmica. A quantidade de calor transferida pode ser estimada por:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

onde Q é o calor, m a massa, c o calor específico e ΔT a variação de temperatura. Já a eficiência de uma máquina térmica pode ser expressa como:

$$\eta = W/Q$$

em que W é o trabalho útil e Q o calor fornecido ao sistema (ÇENGEL; BOLES, 2013). Assim, quanto maior a diferença de temperatura entre as regiões quente e fria, maior tende a ser a eficiência do motor.

Os motores Stirling podem ser classificados em três tipos principais: alfa, beta e gama. O tipo gama é o mais utilizado em aplicações didáticas por apresentar construção mais simples e permitir melhor visualização do funcionamento (FURTADO; NOVENTA, 2014). Apesar de suas vantagens, o desempenho do motor depende fortemente da eficiência na troca de calor e da estabilidade térmica do sistema.

Nesse contexto, a utilização de aletas na região fria busca aumentar a troca de calor com o ambiente, intensificando o resfriamento do gás. Já a inserção de um bloco de inércia térmica na região quente tem como objetivo manter o fornecimento de calor mais estável ao longo do ciclo. Essas modificações permitem evidenciar, na prática, como princípios de transferência de calor influenciam o funcionamento de máquinas térmicas.

Procedimentos metodológicos

O presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa aplicada de caráter qualitativo, com abordagem teórica e proposta experimental voltada ao ensino de termodinâmica no ensino médio técnico em Mecânica. Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre motores Stirling, abordando seu princípio de funcionamento,

classificações construtivas e fatores que influenciam seu desempenho, com ênfase na transferência de calor e no papel do gradiente térmico.

Com base nesses estudos, foi definido um modelo didático do tipo gama, considerando sua simplicidade construtiva e melhor visualização do funcionamento. A partir dessa definição, foram propostas modificações construtivas com potencial de melhorar o desempenho térmico do motor, sendo: (i) a inserção de aletas na região fria, com o objetivo de aumentar a dissipação de calor para o ambiente, e (ii) a adição de um bloco de inércia térmica na região quente, visando proporcionar maior estabilidade no fornecimento de calor ao sistema.

As propostas foram analisadas teoricamente, relacionando-as aos conceitos de transferência de calor, variação de temperatura e conversão de energia térmica em trabalho mecânico. Além disso, foram definidos critérios para avaliação experimental futura, como tempo para início de funcionamento, estabilidade operacional, rotação do eixo e diferença de temperatura entre as regiões quente e fria.

As etapas de construção dos protótipos e realização dos testes experimentais ainda serão desenvolvidas em atividades práticas com os estudantes, permitindo a validação das propostas e a análise do impacto das modificações no desempenho do motor. Dessa forma, a metodologia estrutura uma abordagem investigativa, articulando teoria e prática no processo de ensino-aprendizagem.

Resultados e discussões

A etapa inicial deste trabalho consistiu em uma revisão bibliográfica e documental sobre o estado da arte de motores Stirling didáticos. Como base teórica fundamental, utilizou-se a obra de Çengel e Boles (2013), que estabelece as relações termodinâmicas de ciclos de potência. No âmbito da experimentação pedagógica, destacam-se os trabalhos de Furtado e Noventa (2014), que analisaram parâmetros como pressão e rotação em um modelo tipo alfa, e Lago et al. (2022), que validaram a eficácia do uso de materiais acessíveis para o ensino técnico.

A análise de materiais de divulgação científica, como o projeto apresentado pelo canal Manual do Mundo (2012), permitiu identificar oportunidades de aprimoramento técnico. Embora os modelos simplificados demonstrem o princípio de funcionamento,

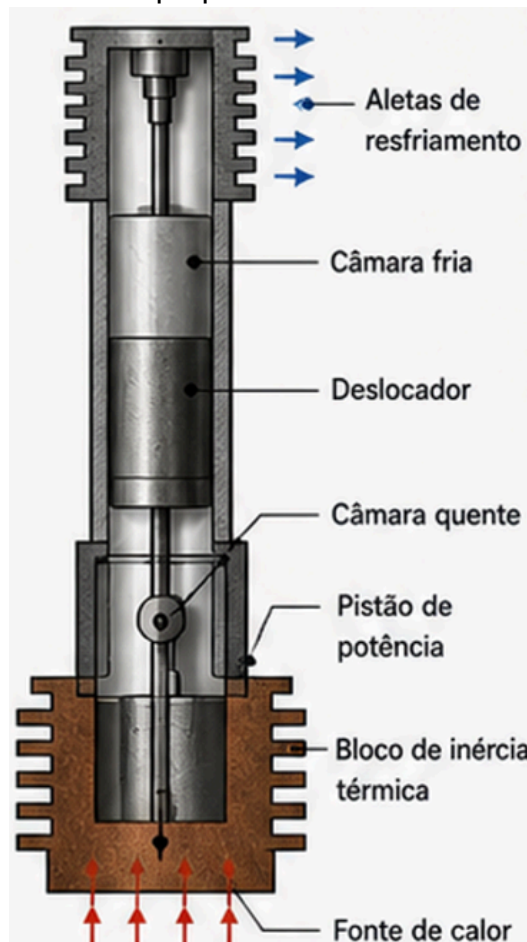
frequentemente apresentam instabilidade operacional devido à rápida saturação térmica da zona fria e à oscilação de temperatura na zona quente.

A partir desse diagnóstico, os autores propuseram duas modificações estruturais principais (Figura 1):

1. Inércia Térmica no Polo Quente: A adição de um bloco metálico (latão ou aço) no cabeçote quente. Segundo os princípios da capacidade térmica, essa massa atua como um reservatório de energia, minimizando flutuações térmicas da fonte de calor (vela ou lamparina) e garantindo uma expansão mais homogênea do gás.
2. Aletamento no Polo Frio: A instalação de aletas de alumínio visa maximizar o coeficiente de transferência de calor por convecção. Isso retarda o equilíbrio térmico entre as câmaras, mantendo o ΔT , fator que, conforme a teoria de Carnot, é diretamente proporcional à eficiência do ciclo.

Como diferencial produtivo, o projeto prevê a substituição de componentes artesanais (conectores, virabrequim e volantes) por peças desenvolvidas via Manufatura Aditiva (Impressão 3D). Essa abordagem permite um balanceamento dinâmico superior do conjunto biela-manivela e uma redução significativa do "volume morto" nos conectores, otimizando a taxa de compressão e o acabamento estético do protótipo didático.

Figura 1 – Desenho esquemático em corte do motor stirling com as modificações propostas



Considerações finais

O presente trabalho demonstrou que a construção de um motor Stirling de configuração Alfa, aliada a modificações construtivas específicas, constitui uma ferramenta pedagógica de alto valor para o ensino técnico em Mecânica. A análise teórica indicou que o incremento da inércia térmica na fonte quente e a maximização da área de troca no polo frio por meio de aletas são estratégias eficazes para estabilizar o gradiente térmico e otimizar o rendimento do ciclo.

Além do reforço conceitual em termodinâmica, a introdução da manufatura aditiva para a produção de componentes críticos representa um avanço metodológico, permitindo aos estudantes explorar a integração entre projeto digital e fabricação mecânica. Espera-se que a futura implementação prática valide o protótipo como um recurso didático

de baixo custo e alta eficiência visual, capaz de estimular o espírito investigativo e a compreensão das leis de conversão de energia e transferência de calor em sistemas reais de engenharia.

Referência ao fomento recebido

Este trabalho não recebe fomento de nenhuma entidade.

Referências

ARSLAN, T. A.; KOCAKULAK, T. A comprehensive review on Stirling engines. *Engineering Perspective*, v. 3, n. 3, p. 42–56, 2023.

ÇENGEL, Y. A.; BOLES, M. A. *Termodinâmica*. 7. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

FURTADO, G. N.; NOVENTA, M. M. *Projeto de um motor Stirling didático e análise de resultados*. Vitória: UFES, 2014.

LAGO, I. M. et al. Desenvolvimento de motor Stirling para prática didática. In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO (CONEDU), 2022.

MANUAL DO MUNDO. *Construa um motor movido a vela (motor stirling)*. YouTube, 12 out. 2017. Disponível em: <https://youtu.be/egNrHP6pMUo>. Acesso em: 2 mai. 2026.