

## PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM MOTOR TERMOMAGNÉTICO

Elis De Mori Ravagnani (PIC/Uem), Wagner André dos Santos Conceição  
(Orientador), e-mail: elisdmr@hotmail.com

Universidade Estadual de Maringá / Centro de Tecnologia/Maringá, PR

**Área e subárea do conhecimento:** 30000009 - 30500001

**Palavras-chave:** motor termomagnético, efeito magnetocalórico, motor de Tesla

### Resumo:

Um motor termomagnético, como o motor de Tesla, pode converter energia térmica em energia cinética utilizando a mudança de comportamento magnético de materiais e o efeito magnetocalórico. Desse modo, pode utilizar fontes de energia renováveis para seu funcionamento, superando assim os motores de combustão em termos ambientais. Os objetivos desta pesquisa são a simulação dos mecanismos, concepção, dimensionamento e montagem de um motor de tesla magnetocalórico. Para isso, foi auxiliada a montagem do motor, e foi feita a automatização dos sistemas de aquecimento e refrigeração do motor. Foi utilizado o *software* Arduino 1.8.9 para a criação da programação de automatização e a plataforma Arduino para a automação do sistema de refrigeração e aquecimento. Foram utilizados também um sensor de distância e válvulas hidráulicas para o funcionamento dos circuitos elétrico e hidráulico. Foi criado um esquema de conexão hidráulica e foram feitas as conexões hidráulicas e elétricas, atingindo assim os objetivos propostos.

### Introdução

A energia, ou seja, capacidade de gerar trabalho, está completamente conectada às inovações tecnológicas. E no mundo atual, seria impossível não utilizá-la. Neste cenário, com o passar do tempo e principalmente nas últimas décadas, o uso e conseqüentemente a demanda de energia aumentou consideravelmente, devido ao aumento exponencial da população, das indústrias e das inovações tecnológicas. Assim, a busca por energias renováveis é cada vez mais relevante devido aos impactos ambientais causados pelos combustíveis fósseis, por poluição em terra e mar e emissão de gases causadores do efeito estufa, sendo o principal motivo para a realização de pesquisas em relação à energias geradas a partir de recursos inesgotáveis, energia renovável.

Um dos tipos de energia renovável é a energia eletromagnética. Neste contexto, esse tipo de energia apresenta diversas formas de utilização, como por exemplo, nos motores elétricos.

Um motor termomagnético, como o motor de Tesla, pode converter energia térmica em energia cinética utilizando a mudança de comportamento magnético de

materiais e o efeito magnetocalórico. Esse efeito consiste na mudança de temperatura de um material quando submetido a um campo magnético, e ocorre em todos os materiais magnéticos. O princípio de operação desse motor é baseado na mudança de fase magnética do material em torno da temperatura de Curie. Nessa temperatura ocorre a transição entre as fases ferromagnética e paramagnética.

O interesse pelo desenvolvimento de máquinas térmicas como os motores de Tesla tem aumentado no cenário atual, devido a suas vantagens sobre os motores de combustão convencionais. No projeto de motores deste tipo são importantes o desenvolvimento de modelos matemáticos para prever o seu comportamento.

Logo, esta pesquisa tem por objetivos a simulação dos mecanismos, concepção, dimensionamento e montagem de um motor de tesla magnetocalórico. Assim, propõe-se auxiliar na montagem de um motor termomagnético e automatizar o sistema de refrigeração e aquecimento utilizando Arduino.

## **Materiais e métodos**

Essa pesquisa é envolvida em um grupo de pesquisas do departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Maringá, o GEMMAT, Grupo de estudos de materiais e máquinas térmicas, e faz parte de um projeto maior. Além disso, está em seu segundo ano de desenvolvimento.

O motor termomagnético em questão funciona em quatro tempos e há um sistema de refrigeração e aquecimento no motor que faz a transição do material termomagnético gadolínio de ferromagnético para paramagnético, em sua temperatura de Curie, para seu funcionamento. O motor é constituído de duas partes. O sistema de refrigeração do motor controla a temperatura de cada uma das partes, resfriando somente uma parte por vez. Desse modo, na parte resfriada o gadolínio será ferromagnético, enquanto na parte que é aquecida, o material será paramagnético. Assim, haverá movimento do motor, pois a parte ferromagnética será atraída pelo imã.

Neste motor termomagnético, foi feito o auxílio na montagem e, após essa ser finalizada, foi utilizado um gaussímetro para medir o campo magnético gerado.

Devido a geometria do motor, foi necessária a utilização de uma mesa coordenada que se movimenta em duas direções de forma precisa por comando, para realizar as medições precisamente. Assim, o gaussímetro foi acoplado à mesa para a realização das medidas. Foram realizadas medidas a cada centímetro do interior do motor.

Os dados obtidos foram utilizados para simulação da densidade de fluxo magnético pelo software COMSOL®.

Posteriormente foi realizada a automatização do sistema de refrigeração e aquecimento do motor, que é necessário para o seu funcionamento. Essa automatização foi feita utilizando o Arduino. Primeiramente foi criada a programação, e depois, foi feita a montagem e teste do circuito. Foram utilizados um Arduino Mega, um sensor de distância e relês para acionar as oito válvulas hidráulicas empregadas no projeto. Quatro válvulas serão utilizadas para resfriamento e as outras quatro para aquecimento, sendo utilizada uma dupla de cada tipo para cada parte do motor.

Neste projeto, foi utilizado o software Arduino 1.8.9 para a criação da programação do Arduino uno. O Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto baseada em *hardware* e *software* fáceis de usar. Placas Arduino são capazes de ler entradas - luz em um sensor, um dedo em um botão ou uma mensagem no Twitter - e transformá-lo em uma saída - ativando um motor, ligando um LED, publicando algo online. Você pode dizer à sua placa o que fazer enviando um conjunto de instruções para o microcontrolador na placa. Para isso, se usa a linguagem de programação Arduino e o *software* Arduino (IDE), baseado em Processamento (ARDUINO, 2019).

Desse modo, depois de concluída a programação, foi realizada a montagem do circuito de aquecimento e refrigeração.

## Resultados e Discussão

Para a montagem do motor, primeiramente foi feito o jateamento e lixamento dos imãs que compõem o motor, para que a colagem dos imãs fosse a mais eficiente possível. Posteriormente, foi feita a colagem dos imãs com epóxi, utilizando placas de alumínio e parafusos para o alinhamento e posicionamento correto. Na colagem, os imãs se repeliam, portanto, eram necessárias essas estruturas para conseguir o resultado esperado.

Após a montagem do motor, utilizou-se um gaussímetro para medir o campo magnético gerado com o uso conjunto da mesa coordenada, que, por se movimentar, por comando, em duas direções de forma precisa permitiu que se realizassem as medições de forma precisa. Assim, o gaussímetro foi acoplado à mesa para a realização das medidas.

Foram realizadas medidas a cada centímetro do interior do motor. Os dados obtidos foram obtidos da simulação pelo software COMSOL® e de medições com o gaussímetro. O maior valor de campo magnético medido foi de aproximadamente 0,82T, enquanto na simulação, de aproximadamente 0,85T. Os valores obtidos são considerados muito satisfatórios.

A automatização do sistema de refrigeração e aquecimento do motor, que é necessário para o seu funcionamento, foi realizada utilizando-se o Arduino. O código criado consiste em uma parte de configuração e uma parte de comandos, que funciona repetitivamente.

Primeiramente foi definido que a entrada analógica A13 seria a entrada de dados do sensor de presença. Na parte de configuração, foi aberta a comunicação em série, com velocidade de 9600 bits por segundo, foram declarados uma entrada analógica (sensor de presença) e quatro saídas digitais, que correspondem ao acionamento dos pares de válvulas hidráulicas. Além disso, dois pares de válvulas foram declarados ativos e dois inativos, para o início do programa.

Já na parte de comandos, foi declarada uma constante “volts” como sendo a leitura do sensor (em volts). Já foi adicionada uma constante a essa variável, que determina a relação entre o número enviado pelo sensor (em bits) e a voltagem correspondente. A seguir, foi declarada a fórmula para a obtenção da distância, detectada pelo sensor, que depende da voltagem obtida. Depois disso, o programa determina que se a distância detectada for menor do que 50 centímetros, dois pares de válvulas serão ativados e os outros dois serão desativados, e que quando a

distância detectada for maior do que 50 centímetros, ocorrerá o contrário, as válvulas que estavam ativas se tornarão inativas e as que estavam inativas se tornarão ativas.

A partir do código, foi montado e testado o circuito, utilizando um Arduino Mega, um sensor de distâncias e relés para o acionamento das válvulas hidráulicas empregadas no projeto. Metade das válvulas será utilizada para resfriamento e metade para o aquecimento, sendo utilizado uma dupla de cada tipo para cada parte do motor. As válvulas foram conectadas aos relés para a sua ativação ou desativação e também foram conectadas à rede hidráulica, e os tubos de gadolínio foram conectados à rede hidráulica.

Dessa forma, o sistema de aquecimento e refrigeração funcionará automaticamente, controlado pelo Arduino. O sensor de distância detectará o gadolínio paramagnético, que é afastado do motor, pois a parte ferromagnética é atraída. Assim, quando detectada certa distância, programável, no sensor, as válvulas de aquecimento serão ligadas para aquecer a parte ferromagnética, e as válvulas de resfriamento serão acionadas para resfriar a parte paramagnética do motor. Assim a parte ferromagnética se tornará paramagnética e a parte que era paramagnética se tornará ferromagnética, sendo atraída pelo ímã. Esse processo é repetido, resultando no movimento do motor.

## Conclusões

O aproveitamento do efeito magnético para o funcionamento de um motor termomagnético é uma alternativa às práticas atuais utilizadas para o funcionamento de motores, que têm as vantagens de serem mais silenciosos e utilizarem menos energia elétrica. Além disso, sua fonte quente pode ser controlada por fontes de calor alternativas, como placas solares.

A plataforma Arduino é uma ferramenta muito útil e eficiente para a automação. A programação e montagem podem ser feitas de forma simples e eficiente.

A montagem de um motor termomagnético foi auxiliada, e o sistema de refrigeração e aquecimento foi automatizado com sucesso.

## Referências

ARDUINO. *What is arduino*. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. Acesso em: 11 abr. 2019.