



**DESENVOLVIMENTO E INTEGRAÇÃO DE TECNOLOGIAS
ELETROMAGNÉTICAS: construção de dispositivo de magnetização e
gaussímetro baseado no sensor de efeito HALL para aplicação em VFMM**

***DEVELOPMENT AND INTEGRATION OF ELECTROMAGNETIC TECHNOLOGIES:
construction of a magnetizing device and gaussimeter based on the HALL effect
sensor for application in VFMM***

Miguel de Araújo Pinto Coelho

Graduação em Engenharia de Controle e Automação
Instituto Federal Fluminense
migueljoclaro@outlook.com



Marcos Antônio Cruz Moreira

Doutor em Engenharia Elétrica - UFRJ
Instituto Federal Fluminense
macruz@iff.edu.br



Yonara Vanzeler de Souza

Instituto Federal Fluminense
yonara.vanzeler@gsuite.iff.edu.br



Marcelo Amorim Pinho Andronico Mendes

Graduação em Engenharia Elétrica - UFRJ
Instituto Federal Fluminense
marceloandronico@gmail.com



João Amaro Machado dos Santos

Especialista em Segurança do Trabalho - FACEL
Instituto Federal Fluminense
j.j.james@hotmail.com



Dalson Ribeiro Nunes

Graduado em Telecomunicações - IFF
Instituto Federal Fluminense
d9r3n6@yahoo.com.br



Resumo

Este artigo apresenta a construção e desenvolvimento de dois projetos inter-relacionados: um dispositivo de magnetização e um gaussímetro. Ambos utilizam aplicações práticas de conceitos de eletromagnetismo, proporcionando uma aplicação direta de teoria em dispositivos funcionais. A integração da tecnologia de magnetização e desmagnetização controladas tem aplicação nas máquinas elétricas de fluxo variável (VFMM – *Variable Flux Memory Machines*). Esta é uma topologia relativamente nova de máquinas elétricas demonstra preocupação com desempenho e segurança, alinhando-se aos princípios de otimização e eficiência energética. Este artigo detalha o processo de construção, simulação e programação, destacando os desafios enfrentados, como a calibração do sensor e a otimização do código para garantir leituras precisas e confiáveis. Além disso, discute-se a relevância destes dispositivos para aplicações práticas em laboratório e em campo, demonstrando sua viabilidade e importância no contexto de pesquisas e desenvolvimento tecnológico. A adoção destas tecnologias também têm um impacto positivo no meio ambiente e na sustentabilidade, pois permite a redução de desperdícios de materiais magnéticos e otimiza o uso de energia. A eficiência energética e a precisão nos processos de magnetização e desmagnetização contribuem para a diminuição da pegada ecológica, alinhando-se às práticas sustentáveis necessárias para a preservação ambiental.

Palavras-chave: ímas permanentes; fluxo variável; eletromagnetismo.

Abstract

This article presents the construction and development of two interrelated projects: a magnetization device and a gaussmeter. Both use practical applications of electromagnetic concepts, providing a direct application of theory to functional devices. The integration of controlled magnetization and demagnetization technology has application in variable flux electrical machines (VFMM – Variable Flux Memory Machines). This is a relatively new topology of electrical machines, which demonstrates concern for performance and safety, aligning with the principles of optimization and energy efficiency. This article details the build, simulation and programming process, highlighting challenges faced such as sensor calibration and code optimization to ensure accurate and reliable readings. Furthermore, the relevance of these devices for practical applications in the laboratory and in the field is discussed, demonstrating their viability and importance in the context of research and technological development. The adoption of these technologies also has a positive impact on the environment and sustainability, as it allows the reduction of waste of magnetic materials and optimizes the use of energy. Energy efficiency and precision in the magnetization and demagnetization processes contribute to reducing the ecological footprint, in line with the sustainable practices necessary for environmental preservation.

Keywords: permanent magnets; variable flux; electromagnetics.

1 INTRODUÇÃO

As máquinas elétricas de fluxo variável (VFMM – *Variable Flux Memory Machines*) consistem uma topologia relativamente nova (OSTOVIC, 2003). Nesta topologia, os ímãs permanentes do rotor são magnetizados, desmagnetizados e remagnetizados durante a operação do motor. O rastreamento da informação do estado de magnetização dos ímãs como uma variável de controle dá origem ao termo *memory* (HUA et al, 2019). Este trabalho está inserido no contexto de um projeto de Iniciação Científica sobre as VFMMs, que contempla as leis do eletromagnetismo, medição da densidade de fluxo magnético, características dos ímãs permanentes e sua importância para os aspectos ambientais. As etapas iniciais de desenvolvimento do dispositivo de magnetização e medidor de densidade de fluxo são apresentadas a seguir:

O imantador de ferramentas foi construído utilizando um fio de cobre esmaltado de 17 metros AWG 28 para criar uma bobina em torno de um núcleo de plástico com 1,3 cm de diâmetro, fonte de 12,5 volts, conexões do tipo crocodilo, *protoboard*, interruptor normalmente aberto, resistor de 220 ohms e diodo. A simulação no *software* Multisim indicou uma indutância de aproximadamente 144 henries e um campo magnético suficiente para imantar uma chave de fenda.

Paralelamente, desenvolveu-se um gaussímetro baseado em (Silva et al, 2023). Foram feitas modificações no código em C++ e nas conexões eletrônicas, utilizando um sensor de efeito Hall (SS49E), um Arduino Uno, display 16x2 com retroiluminação e um potenciômetro de 10K ohms.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A magnetização de ferramentas é uma técnica amplamente utilizada para adicionar funcionalidades às ferramentas metálicas, como a capacidade de atrair parafusos e outros componentes pequenos, facilitando assim o trabalho manual. O desenvolvimento de um dispositivo de magnetização requer um entendimento sólido dos princípios básicos do eletromagnetismo, em particular da criação de um campo magnético por meio da passagem de uma corrente elétrica por uma bobina.

A medição precisa do campo magnético gerado por esses dispositivos é fundamental para garantir seu desempenho adequado. Nesse contexto, o uso de um gaussímetro se mostra essencial, pois ele emprega sensores de efeito Hall para medir a intensidade do campo magnético de forma precisa e confiável.

A fundamentação teórica deste projeto é embasada em princípios fundamentais da física, como a Lei de Ampère, que descreve como as correntes elétricas geram campos magnéticos e a Lei de Faraday, que explica como campos magnéticos variáveis induzem correntes elétricas. A compreensão dessas leis é crucial para o design eficiente de dispositivos eletromagnéticos.

Uma bobina quando percorrida por uma corrente elétrica cria um campo magnético, cuja intensidade pode ser controlada pela variação da corrente e pelo número de espiras da mesma. O uso do sensor de efeito Hall é especialmente relevante, pois ele permite medir com precisão a intensidade desse campo magnético, convertendo-a em uma tensão elétrica que pode ser facilmente interpretada e processada para ajustes e monitoramento do dispositivo de magnetização.

A geração de um campo magnético por uma corrente elétrica que circula em uma bobina é um fenômeno complexo e profundamente enraizado nas leis do eletromagnetismo, uma das áreas fundamentais da física. Para compreendermos adequadamente esse processo, é necessário explorar detalhadamente as leis e os princípios que o regem.

A Lei de Ampère formulada por André-Marie Ampère no século XIX, estabelece que uma corrente elétrica em um condutor cria um campo magnético ao seu redor (TIPLER, 2006). Esta lei é representada pela equação integral de Ampère (1), que relaciona a corrente que atravessa uma superfície fechada ao redor da bobina com o campo magnético que essa corrente gera.

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu \cdot I_{\text{total}} \quad (1)$$

Onde B é o vetor campo densidade de fluxo magnético, $d\vec{l}$ é um elemento diferencial de comprimento ao longo da linha de integração, μ é a permeabilidade magnética do material ou vácuo e I é a corrente total que atravessa a superfície fechada.

Essa lei é fundamental para entendermos como a corrente que flui na bobina de um magnetizador, por exemplo, gera um campo magnético ao seu redor.

A magnitude desse campo é diretamente proporcional à intensidade da corrente elétrica e ao número de espiras na bobina, conforme a equação (2), na qual B é a densidade de fluxo magnético, μ é a permeabilidade magnética do meio, N é o número de espiras da bobina e I é a corrente elétrica.

$$[B = \mu \cdot I \cdot N] \quad (2)$$

Por outro lado, a Lei de Faraday desempenha um papel crucial ao descrever como uma variação no fluxo magnético através de uma superfície induz uma força eletromotriz (fem) nessa superfície, gerando uma corrente induzida e o campo magnético dessa corrente induzida se opõe à variação do campo magnético gerado, tendendo retornar ao equilíbrio, pelo simples fato de que o campo induzido tende a resistir a mudanças. Isso explica o sinal negativo na equação. Essa lei é expressa pela equação de Faraday (3) da indução eletromagnética, que relaciona a variação do fluxo magnético com a força eletromotriz induzida \mathcal{E} (Torres et al, 2010).

$$\left[\mathcal{E} = -\frac{d\phi}{dt} \right] \quad (3)$$

Em outras palavras, essa relação mostra que a corrente induzida cria um campo magnético que tenta contrariar a variação do campo magnético original, que também está relacionado ao princípio de conservação de energia, mantendo a consistência com a terceira lei de Newton (lei da ação e reação). Isso é

- Ponto de remanência: Quando o campo aplicado é reduzido à zero, a magnetização não retorna a zero, indicando a presença de remanência;
- Coercividade: Para desmagnetizar completamente o material, é necessário um campo magnético reverso, cuja intensidade é chamada de coercividade;
A remanência é essencial em diversas aplicações, incluindo:
- Armazenamento de dados: utilizada em discos rígidos e fitas magnéticas para armazenar informações;
- Ímãs permanentes: crucial para motores elétricos, alto-falantes e outros dispositivos;
- Ferramentas magnetizadas: ferramentas com remanência controlada são usadas para magnetização temporária.

No contexto do magnetizador desenvolvido, essas leis e princípios têm aplicações diretas. A corrente elétrica que circula na bobina eletromagnética gera um campo magnético temporário, o qual é capaz de magnetizar temporariamente as ferramentas metálicas quando colocadas próximas ao imantador. Além disso, a escolha cuidadosa dos componentes, como a fonte de alimentação, o interruptor e o diodo, baseia-se nesses princípios para garantir o funcionamento seguro e eficiente do dispositivo.

No âmbito mais amplo da física e da engenharia, a compreensão dessas leis permite não apenas a construção de dispositivos específicos, mas também é fundamental para o desenvolvimento de tecnologias mais avançadas, como motores elétricos, geradores, equipamentos de levitação magnética e muitos outros dispositivos eletromagnéticos presentes em diversas áreas da ciência e da engenharia. O físico e engenheiro James Clerk Maxwell afirmou que "as leis da eletricidade e do magnetismo são unificadas no conceito de campo eletromagnético, cuja compreensão é crucial para o progresso da ciência e da tecnologia".

O estudo e a aplicação das leis do eletromagnetismo são fundamentais para a compreensão e o avanço da tecnologia moderna, possibilitando a criação de dispositivos cada vez mais sofisticados e eficientes. A interação entre correntes elétricas e campos magnéticos, descrita por essas leis, desempenha um papel central na física e na engenharia, moldando o mundo ao nosso redor e impulsionando o progresso tecnológico.

No gaussímetro feito com o Arduino e o sensor de efeito Hall SS49E, sendo este último definido como um dispositivo utilizado para medir a presença e a intensidade de campos magnéticos, funcionando com base no princípio do efeito Hall, que é a geração de uma diferença de potencial (tensão Hall) quando um condutor, através do qual está fluindo uma corrente elétrica, é exposto a um campo magnético perpendicular.

Abaixo está uma visão geral de como o SS49E funciona:

Estrutura do sensor: O SS49E é composto por um material semicondutor, onde a corrente elétrica pode fluir de um terminal a outro. Quando esse material é colocado em um campo magnético, os portadores de carga (elétrons ou lacunas) são desviados devido à força de Lorentz.

Princípio do efeito Hall: Quando uma corrente elétrica passa através do sensor e ele é exposto a um campo magnético perpendicular, os portadores de carga dentro do material semicondutor são desviados para um lado do material, criando uma diferença de potencial entre os lados opostos do sensor. Esta diferença de potencial é diretamente proporcional à intensidade do campo magnético aplicado.

Saída analógica: O SS49E é um sensor de efeito hall linear, o que significa que a tensão de saída é uma função linear da densidade do fluxo magnético que o atravessa. Em outras palavras, conforme o campo magnético varia a tensão de saída também varia proporcionalmente. Este sensor produz uma saída de tensão analógica que pode ser lida por um microcontrolador ou outro dispositivo de leitura analógica.

Aplicações: O SS49E é utilizado em uma variedade de aplicações, como:

- Medição de corrente (em medidores de corrente sem contato);
- Detecção de posição (em sistemas de controle de movimento);
- Sensores de proximidade;
- Controle de velocidade em motores.

Vantagens: Alguns dos benefícios de utilizar o SS49E incluem sua alta sensibilidade, resposta rápida, baixo consumo de energia e sua capacidade de operar em uma ampla gama de temperaturas e condições ambientais.

Para utilizar o SS49E, é necessário conectá-lo corretamente em um circuito e ler a tensão de saída com um microcontrolador ou um dispositivo de medição analógica. Normalmente, ele possui três terminais: um para a alimentação (V_{cc}), um

para a terra (GND) e um para a saída de tensão (V_{out}). A tensão de alimentação típica é de 5V.

Exemplo de conexão do SS49E:

V_{cc} (Pino 1): Conectado ao positivo da fonte de alimentação (geralmente 5V).

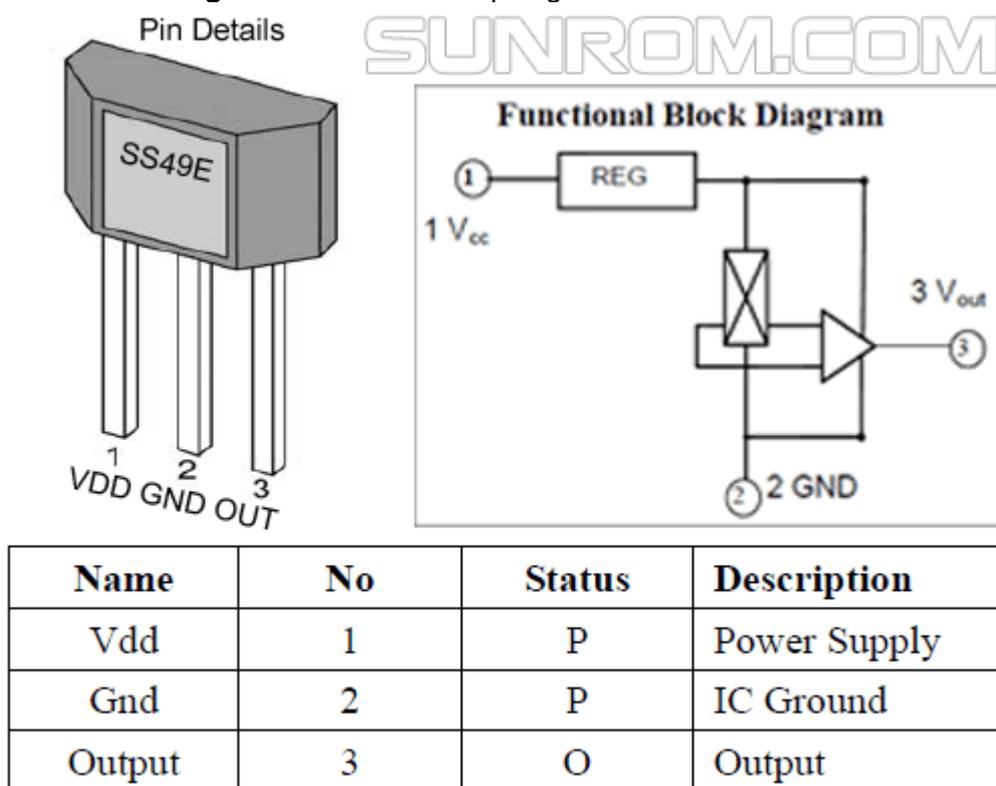
GND (Pino 2): Conectado ao terra (GND) da fonte de alimentação.

V_{out} (Pino 3): Conectado à entrada analógica de um microcontrolador para leitura da tensão de saída.

Leitura da tensão de saída:

A tensão de saída (V_{out}) será uma medida da intensidade do campo magnético. Sem a presença de um campo magnético, a tensão de saída será aproximadamente a metade da tensão de alimentação. Com um campo magnético presente, a tensão de saída aumentará ou diminuirá proporcionalmente à intensidade e à direção do campo. Assim, o SS49E é um sensor versátil e eficiente para aplicações que requerem a detecção de campos magnéticos e a medição da intensidade desses campos.

Figura 2 – Detalhes da pinagem do sensor SS49E



Fonte: Honeywell - Industrial applications, 2010.

3 RELACIONANDO A BOBINA E O GAUSSÍMETRO COM OS PRINCÍPIOS DO VFMM

A remanência é uma característica crucial dos materiais magnéticos, representando sua capacidade de manter uma magnetização residual mesmo após a remoção do campo magnético externo. Coercitividade é a capacidade do ímã manter sua remanência, mesmo quando exposto a forças desmagnetizadoras. Essa propriedade é particularmente relevante na fabricação de ímãs permanentes de baixa coercividade (*LCF – low coercitive force*), como os utilizados na VFMM. No contexto do magnetizador, entender e controlar a remanência são essenciais para garantir que as ferramentas permaneçam magnetizadas pelo tempo necessário para suas funções, contribuindo para a eficiência operacional e a economia de energia.

Juntamente com a remanência, a densidade de fluxo magnético é outra propriedade fundamental. Ela se refere à quantidade de linhas de campo magnético que atravessam uma área específica e é medida em teslas (T). A densidade de fluxo magnético é diretamente proporcional à intensidade do campo magnético na região considerada à sua geometria e permeabilidade magnética.

Ao relacionar a bobina do imantador de ferramentas e o sensor de efeito Hall do gaussímetro com a remanência e a densidade de fluxo magnético, podemos explorar a otimização dessas propriedades para melhorar o desempenho e a eficiência dos dispositivos eletromagnéticos.

Esses conceitos estão intrinsecamente ligados aos princípios do VFMM, que visam aperfeiçoar o desempenho dos sistemas magnéticos, reduzir perdas energéticas e aumentar a eficiência geral dos dispositivos. A aplicação desses princípios na integração da remanência e da densidade de fluxo magnético nos dispositivos eletromagnéticos não apenas amplia a compreensão teórica do funcionamento desses sistemas, mas também contribui significativamente para o desenvolvimento de tecnologias mais avançadas e sustentáveis.

3.1 MATERIAIS E MÉTODOS - MAGNETIZADOR

Para a construção do imantador de ferramentas, foram utilizados os seguintes componentes:

- Fio de cobre (17 metros, AWG 28);
- Núcleo de plástico (carretel de linha de costura com aproximadamente 1,3cm de diâmetro);

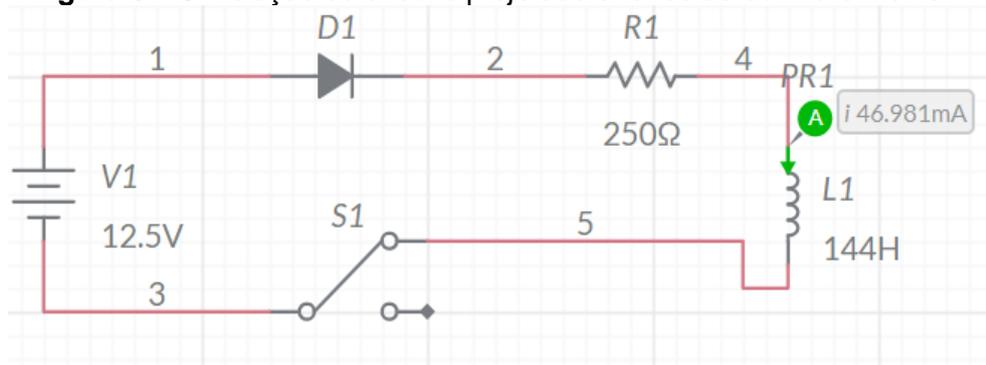
- Fonte de alimentação (12,5 volts);
- Conexões do tipo crocodilo;
- Protoboard;
- Interruptor normalmente aberto;
- Resistor de 220 ohms;
- Diodo comum 1N4007.

A montagem envolveu enrolar o fio de cobre de 17 metros em torno do núcleo de plástico de diâmetro de aproximadamente 1,3 cm, para formar a bobina foi feita aproximadamente 208 voltas em torno desse núcleo. Uma fonte de alimentação de 12,5 volts foi conectada à bobina através do *protoboard*, utilizando conexões do tipo crocodilo para facilitar a montagem e desmontagem. Um interruptor normalmente aberto foi inserido no circuito para controlar a ativação da bobina, e um resistor de 220 ohms foi incluído para limitar a corrente elétrica, protegendo assim os componentes e garantindo a segurança do circuito. Um diodo comum 1N4007 foi utilizado para prevenir danos causados por correntes de retorno.

3.2 SIMULAÇÃO

A simulação no *software Multisim*, com o modelo mostrado na Figura 3, indicou uma indutância de aproximadamente 144 henry para a bobina, com um campo magnético suficiente para imantar uma chave de fenda. O uso eficiente dos componentes reflete a preocupação com desempenho e segurança, alinhando-se aos princípios de otimização da VFMM.

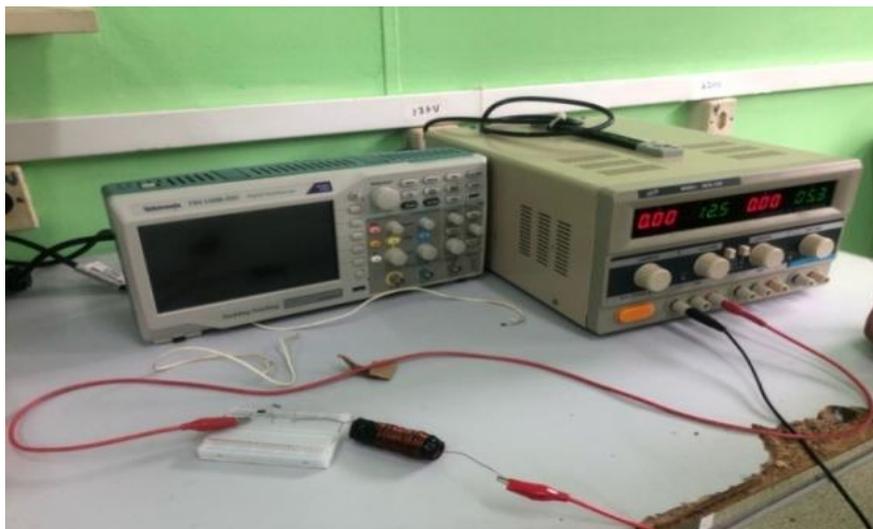
Figura 3 – Simulação do circuito projetado através do *software multisim*.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Representado na figura 4 está o esquemático de montagem do magnetizador de ferramentas, sendo uma fonte de 12,5Vdc, *protoboard*, resistor, diodo e a bobina com o núcleo de plástico, como mostra a seguir:

Figura 4 – A bobina sendo energizada por uma fonte variável com 12.5V.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Na figura 5 está representado o momento da magnetização da chave de fenda, envolvendo-a no núcleo da bobina por alguns segundos:

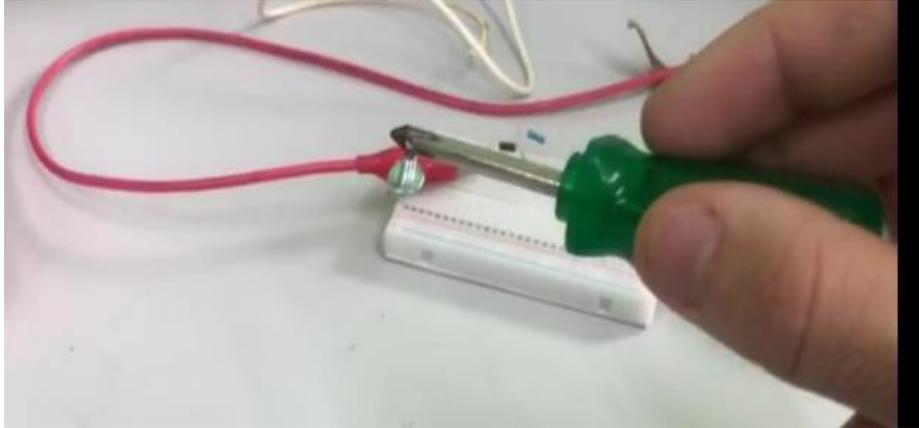
Figura 5 – Uma chave de fenda sendo imantada.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Na figura 6, ao inserir e retirar a chave de fenda do imantador foi feito o teste com a chave de fenda imantada, atraindo o parafuso:

Figura 6 – Testando a imantação da chave em um parafuso.



Fonte: Elaborado pelos autores.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO – MAGNETIZADOR

A construção do imantador de ferramentas não apenas envolveu a aplicação das leis do eletromagnetismo, mas também exigiu a superação de desafios práticos. Um dos principais obstáculos enfrentados pelo grupo foi determinar o tamanho adequado do fio para a bobina, de forma a gerar um campo magnético suficiente para magnetizar um material de ferro de pequenas dimensões.

Por meio de testes e experimentação, o grupo constatou que, para um núcleo de 1,5 cm de diâmetro, o comprimento ideal do fio para a bobina deveria estar entre 15 a 20 metros. Essa conclusão foi alcançada através de uma análise comparativa com outros projetos similares pesquisados, utilizando uma abordagem de proporcionalidade para determinar a relação entre o tamanho da bobina e a intensidade do campo magnético gerado.

Essa descoberta prática demonstra a importância da experimentação e da aplicação de conhecimentos teóricos na engenharia de sistemas eletromagnéticos. A necessidade de ajustar o comprimento do fio da bobina para alcançar o desempenho desejado, destaca a complexidade e a interdisciplinaridade envolvidas na construção de dispositivos eletromagnéticos funcionais.

Ao magnetizar a chave de fenda com o magnetizador de ferramentas desenvolvido, o campo magnético aplicado alinha os domínios magnéticos no ferro da chave, resultando em magnetização. No entanto, como o ferro puro tem baixa remanência, essa magnetização decai rapidamente uma vez que o campo magnético é removido. Isso significa que a chave de fenda perde sua capacidade de atrair outros objetos magnéticos em um curto período.

Além disso, a escolha do material para o núcleo da bobina também foi uma consideração importante. Optou-se por um núcleo de plástico com 1,2 cm de diâmetro devido às suas propriedades de isolamento elétrico e facilidade de manipulação. A combinação do núcleo adequado com o comprimento otimizado do fio contribuiu significativamente para a eficiência e o desempenho do imantador de ferramentas.

Outro aspecto relevante foi a seleção dos componentes elétricos, como a fonte de alimentação de 12,5 VCC, o *switch* normalmente aberto, o resistor de 220 ohms e o diodo comum. Cada componente foi escolhido com base em critérios técnicos e de segurança, garantindo a operação estável e segura do imantador.

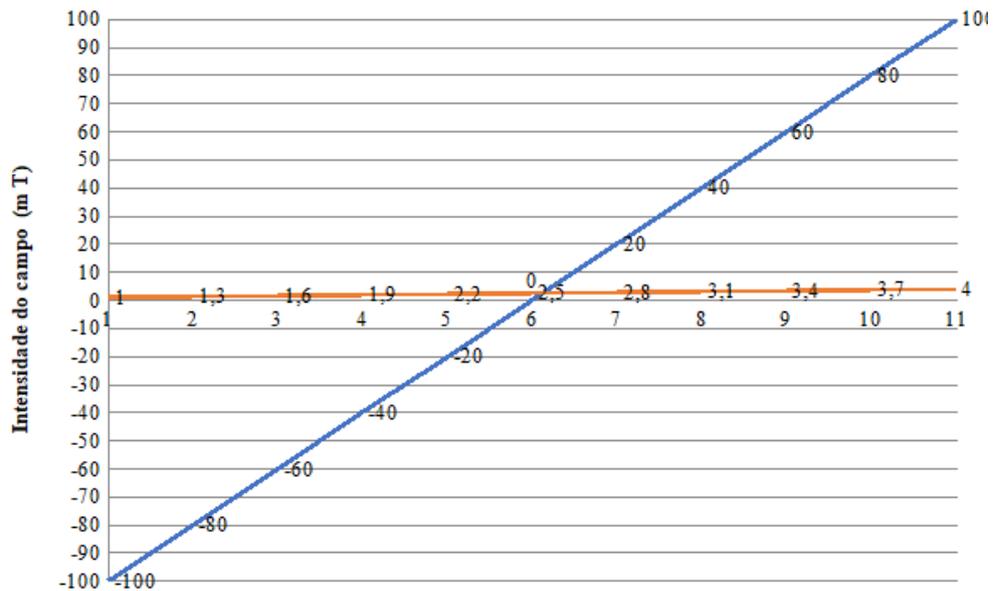
Em resumo, o desenvolvimento do imantador de ferramentas envolveu não apenas a aplicação das leis fundamentais do eletromagnetismo, mas também a resolução de desafios práticos relacionados ao dimensionamento da bobina, a seleção dos materiais e dos componentes elétricos. Essa abordagem integrada entre teoria e prática resultou em um dispositivo funcional e eficiente, capaz de atender às necessidades específicas do projeto.

3.4 MATERIAIS E MÉTODOS - GAUSSÍMETRO

Para a construção do gaussímetro, foram utilizados:

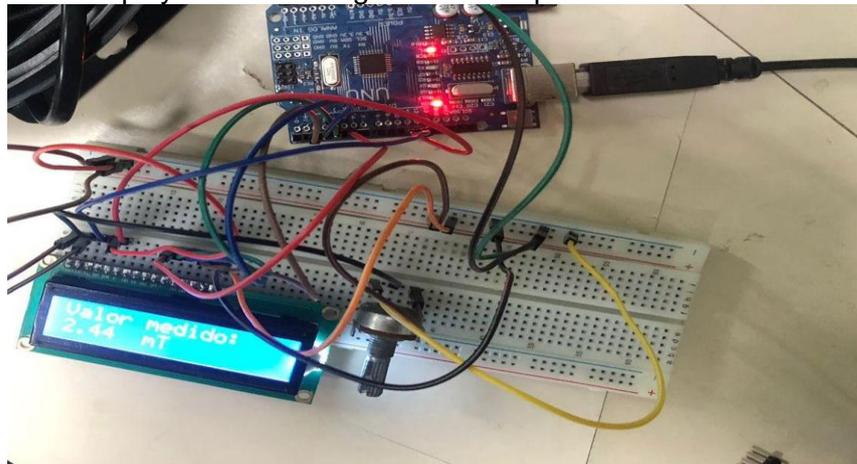
- Sensor de efeito Hall (SS49E);
- Arduino Uno;
- Display 16x2 com retroiluminação;
- Potenciômetro de 10K ohms;
- Protoboard e fios de conexão.

Como base no projeto (Silva et al, 2023), implementamos algumas modificações tanto no código em C++ quanto nas conexões eletrônicas. Assim, foi decidido empregar o mesmo sensor de efeito Hall (SS49E) e o Arduino Uno para garantir a compatibilidade com o projeto original. Adicionalmente, foi utilizado um display 16x2 com retroiluminação para facilitar a leitura dos valores medidos, bem como um potenciômetro de 10K ohms para ajustar o contraste do LCD.

Gráfico 1 – Intensidade do campo x tensão de saída.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Na figura 7 está uma foto do circuito montado e no seu display mostra o valor medido.

Figura 7 – Display de leitura do gaussímetro quando submetido a um campo.

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.5 CONEXÕES E PROGRAMAÇÃO

As conexões elétricas foram realizadas da seguinte maneira:

- VSS (ou GND): Conectado ao GND do Arduino;
- VDD (ou VCC): Conectado ao +5V do Arduino;
- VO (Contraste): Conectado a um potenciômetro de 10kΩ. Os terminais extremos do potenciômetro foram conectados ao GND e ao +5V, e o terminal do meio ao pino VO;
- RS (Registro de seleção): Conectado ao pino digital 12 do Arduino;

- RW (Leitura/Escrita): Conectado ao GND do Arduino;
- E (Enable): Conectado ao pino digital 11 do Arduino;
- D0-D3 (Dados 0 a 3): Não conectados (modo 4 bits);
- D4-D7 (Dados 4 a 7): Conectados aos pinos digitais 5, 4, 3 e 2 do Arduino;
- A (Backlight +): Conectado ao +5V através de um resistor de 220Ω;
- K (Backlight): Conectado ao GND do Arduino.

3.6 A LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO DESENVOLVIDA

*cpp

// Esta função faz o mapeamento de um valor de entrada "x" de um intervalo para outro.

```
float mapFloat(float x, float in_min, float in_max, float out_min, float out_max) {
return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;
}
```

```
void setup() {
```

```
Serial.begin(9600); // Inicializa a comunicação serial com a taxa de transmissão de
9600 bits por segundo.
```

```
lcd.begin(16, 2); // Inicializa o display LCD com 16 colunas e 2 linhas.
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
lcd.clear(); // Limpa o display LCD antes de escrever novas informações.
```

```
int valSensor = analogRead(A0); // Realiza a leitura do sensor
```

```
float valTensao = mapFloat(valSensor, 0, 1023, 0, 5); //Mapeia o valor lido do sensor
(0-1023) para uma tensão de 0 a 5 volts.
```

```
float valTesla = mapFloat(valTensao, 1, 4, -100, 100); // Mapeia a tensão lida (1-4V)
para um valor em Tesla (-100 a 100 mT) que será exibido no display.
```

```
Serial.println(valTesla);
```

```
lcd.setCursor(0, 0);
```

```
lcd.print("Valor medido:");
```

```
lcd.setCursor(0, 1);
```

```
lcd.print(valTesla);
```

```
lcd.setCursor(6, 1);
```

```
lcd.print("mT");
```

```
delay(300);  
}
```

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO - GAUSSIMETRO

Foram encontrados desafios significativos ao longo do processo de desenvolvimento do gaussímetro. A primeira dificuldade surgiu na busca por um projeto sólido que servisse como base para a construção. Após examinar diversos projetos disponíveis, percebemos que muitos deles continham falhas, tanto em termos de erros nas conexões eletrônicas, quanto de problemas na codificação. Algumas dessas falhas eram tão minuciosas que só se tornaram aparentes durante a fase de pesquisa.

Depois de um extenso processo de filtragem e análise, foi selecionado o projeto de referência que parecia mais sólido e confiável. Com a escolha feita, prosseguimos com a aquisição dos componentes necessários que foram adquiridos ou emprestados pela nossa instituição de ensino.

A etapa de montagem e conexão eletrônica transcorreu relativamente sem grandes contratemplos. Seguimos o projeto de referência com precisão, garantindo que as conexões estivessem corretas. No entanto, uma grande dificuldade surgiu na fase de programação. O código disponibilizado no repositório do projeto-base, hospedado no *GitHub*, apresentou vários problemas que afetaram o funcionamento adequado do gaussímetro. Um dos obstáculos encontrados foi a indisponibilidade da biblioteca “EDA fruit”, que era essencial para o funcionamento do projeto. Para superar esse contratempo, o grupo optou por renomear a biblioteca e fazer as correções necessárias.

Outro desafio mais notável estava relacionado ao *display*, que não acendia, independentemente das modificações realizadas no código. Essa questão persistiu, apesar de nossos esforços para solucioná-la. A resolução dos problemas de programação só foi alcançada com o auxílio precioso da equipe do IEEE, que teve participação na orientação da criação de um novo código de programação personalizado. Esse código foi desenvolvido com base no *datasheet* do sensor de efeito Hall, as especificações foram crucial para garantir o funcionamento adequado do gaussímetro e os desafios foram superados com êxito ao longo do projeto.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A integração de tecnologias eletromagnéticas na construção de um imantador de ferramentas e um gaussímetro baseado no sensor de efeito Hall com princípios VFMM não apenas demonstra avanços técnicos, mas também traz reflexões importantes sobre a sustentabilidade e o impacto ambiental dessas tecnologias.

A construção do imantador de ferramentas, que utiliza conceitos de eletromagnetismo para criar um campo magnético capaz de magnetizar ferramentas metálicas, destaca a importância da remanência e da densidade de fluxo magnético. Essas propriedades não apenas garantem a eficiência do dispositivo, mas também influenciam diretamente na economia de energia e na redução de resíduos magnéticos, contribuindo para práticas mais sustentáveis.

Já o gaussímetro, com sua capacidade de medir com precisão o campo magnético, exemplifica a aplicação prática dos princípios do VFMM. A utilização do sensor de efeito Hall e a integração com o Arduino Uno não apenas demonstram os avanços tecnológicos, mas também ressaltam a importância de tecnologias mais eficientes e precisas que contribuem para a redução do consumo energético e para uma melhor gestão dos recursos magnéticos.

Ao relacionar a bobina do imantador de ferramentas e o sensor de efeito Hall do gaussímetro com a remanência e a densidade de fluxo magnético, podemos explorar a otimização dessas propriedades para melhorar o desempenho e a eficiência dos dispositivos eletromagnéticos. A manipulação controlada da remanência pode prolongar a magnetização das ferramentas, reduzindo a necessidade de repetidas magnetizações e economizando energia. Por outro lado, a precisão na medição da densidade de fluxo magnético é crucial para garantir a confiabilidade das leituras do gaussímetro, influenciando diretamente na qualidade das análises e diagnósticos realizados com base nessas informações. Esses avanços tecnológicos não apenas impulsionam a inovação, mas também abrem caminho para uma abordagem mais sustentável no desenvolvimento e na integração de tecnologias eletromagnéticas. A eficiência energética, a redução de resíduos e a gestão responsável dos recursos magnéticos são aspectos essenciais que devem ser considerados em projetos futuros, visando um impacto positivo tanto no desempenho dos dispositivos quanto na preservação ambiental.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao **IEEE**, pelo apoio nas pesquisas e ajuda na solução dos problemas encontrados.

Agradecemos ao **Ramos Estudantil do campus Macaé do IF Fluminense**, por disponibilizar recursos para aos experimentos.

Agradecemos também ao **CNPq** pelo apoio à pesquisa inovadora que agregam conhecimentos e experiência a nossa carreira.

REFERÊNCIAS

HUA, H.; ZHU, Z.; PRIDE, A.; DEODHAR, R., SASAKI, T. Comparative Study on **Variable Flux Memory Machines with Parallel or Series Hybrid Magnets**. IEEE Transactions on Industry Applications. v 55, n 2, March/April, 2019.

OSTOVIC, V. Memory motors. **IEEE Industry Applications Magazine**, v. 99, n. 1, p. 52-61, jan./fev. 2003.

SILVA, W.R.F.; FREITAS, L.V.; CUNHA, R.O.R.R.; MENDES, J.B. **Construção de um Medidor de Campo Magnético para Utilização em Processos de Geração e manipulação de Correntes Puras de Spin**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v 45, e20230105, 2023.

TIPLER, P. A. **Física**. Volume 2. 5. ed. LTC, Rio de Janeiro, 2006.

TORRES, C.M. A.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. T. **Física. Ciência e Tecnologia: Eletromagnetismo**. São Paulo: Moderna, 2010.