



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
FACULDADE DE COMPUTAÇÃO

JULIO PEREIRA GAIA

**DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPOS COM A UTILIZAÇÃO DO  
ARDUÍNO PARA AUXILIAR A DISCIPLINA DE TEORIA  
ELETROMAGNÉTICA**

CAMPUS CASTANHAL - PA  
2022

JULIO PEREIRA GAIA

**DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPOS COM A UTILIZAÇÃO DO  
ARDUÍNO PARA AUXILIAR A DISCIPLINA DE TEORIA  
ELETROMAGNÉTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Universidade Federal do Pará, como requisito necessário para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Computação.

Orientador: Prof. Dr. Clenilson Rodrigues  
Universidade Federal do Pará

CAMPUS CASTANHAL - PA  
2022

JULIO PEREIRA GAIA

**DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPOS COM A UTILIZAÇÃO DO  
ARDUÍNO PARA AUXILIAR A DISCIPLINA DE TEORIA  
ELETROMAGNÉTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Universidade Federal do Pará, como requisito necessário para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Computação.

DATA DE APROVAÇÃO: 30/09/2022

CONCEITO: Excelente

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Clenilson Rodrigues  
Universidade Federal do Pará - UFPA

---

Prof. Dr. João Claudio Chamma Carvalho  
Universidade Federal do Pará - UFPA

---

Prof. Me. Marcell Serra de Almeida Martins  
Instituto Federal do Pará - IFPA

CAMPUS CASTANHAL - PA  
2022

A Deus, fonte de sabedoria e inspiração. A  
minha família, pelo incentivo e carinho cons-  
tantes.  minha esposa, companheira e amiga  
em todas as horas.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida e por me ajudar a ultrapassar todos os obstáculos do curso.

À Universidade Federal do Pará.

Ao meu Orientador Professor Dr. Clenilson Rodrigues que me ajudou nessa empreitada.

Ao Professor Marcell Serra do IFPA que me ajudou a entender como alguns sensores funcionam e como usar-los.

A todos os colegas do curso pela amizade e auxílio nas tarefas desenvolvidas no curso.

A minha família que sempre me ajudou para que eu pode-se alcançar meus objetivos.

A minha esposa Cristilene Ferreira Veiga que sempre esteve ao meu lado nos momentos bons e ruins durante todo esse percurso.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste Trabalho.

*“A ciência é, portanto, uma perversão de si mesma, a menos que tenha como fim último, melhorar a humanidade.” (TESLA, 2014)*

## RESUMO

Este trabalho consiste no desenvolvimento de protótipos didáticos com utilização da plataforma de prototipagem eletrônica Arduíno, visando auxiliar no ensino-aprendizagem da disciplina Teoria Eletromagnética, ofertada no curso de Engenharia de Computação da Universidade Federal do Pará (UFPA), campus de Castanhal. Estes protótipos foram construídos com material de baixo custo. A utilização do Arduíno no desenvolvimento destes protótipos tem fundamental importância como interface para medições e análises de grandezas físicas, tais como: o campo eletromagnético, a corrente induzida e a tensão atuante no sistema. Foram desenvolvidos 5 protótipos didáticos: o experimento de Oersted, um motor simples, um gerador eletromagnético, eletroímãs, e uma mini bobina de Tesla. Para obtenção dos resultados foram utilizados sensores comerciais específicos para cada grandeza no experimento proposto. Além disso, foi feita a elaboração de código programável no ambiente de desenvolvimento integrado (IDE – Integrated development environment) do Arduíno para possibilitar a exposição dos resultados das medições dos parâmetros sob análise. Dessa forma, tornou-se possível a geração de gráficos e a visualização dos resultados quantitativos medidos pelos sensores, através de tela de cristal líquido (LCD - Liquid Crystal Display). O desenvolvimento dos experimentos como atividades pedagógicas foi motivado pelos ideais humanistas de Novak e na visão de aprendizagem significativa de Marcos Antônio Moreira. Segundo esses educadores, a eficácia de ferramentas tecnológicas para o ensino e aprendizagem são excelentes metodologias a serem abordadas em sala de aula.

**Palavras-chave:** Teoria Eletromagnética. Protótipos. Arduíno.

## ABSTRACT

This work consists of the development of teaching didactic prototypes using the Arduino electronic prototyping platform, aiming to assist in the teaching and learning of the Electromagnetic Theory subject, offered in the Computer Engineering course at the Federal University of Pará (UFPA), Castanhal campus. These prototypes were built with low cost material. The use of Arduino in the development of these prototypes is of fundamental importance as an interface for measurements and analysis of physical quantities, such as: the electromagnetic field, the induced current and the voltage acting on the system. Five teaching didactic prototypes were developed: the Oersted experiment, a simple motor, an electromagnetic generator, electromagnets, and a mini Tesla coil. To obtain the results, specific commercial sensors were used for each magnitude in the proposed experiment. In addition, the development of programmable code in the Arduino integrated development environment (IDE) was carried out to enable the exposure of the measurement results of the parameters under analysis. In this way, it became possible to generate graphs and visualize the quantitative results measured by the sensors, through a liquid crystal display (LCD). The development of experiments as pedagogical activities was motivated by Novak's humanist ideals and Marcos Antônio Moreira's vision of meaningful learning. According to these educators, the effectiveness of technological tools for teaching and learning are excellent methodologies to be addressed in the classroom.

**Keywords:** Electromagnetic Theory. Prototypes. Arduino.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Experimento de Oersted. . . . .	20
Figura 2.2 – Mapa conceitual resumindo a relação da proposta didática com as bases pedagógicas. . . . .	22
Figura 3.1 – Placa de Arduíno . . . . .	24
Figura 3.2 – Área de Desenvolvimento Arduíno . . . . .	25
Figura 3.3 – Hardware do Arduino . . . . .	26
Figura 3.4 – Módulo chave magnética reed switch KY 021 . . . . .	27
Figura 3.5 – Sensor de Hall magnético KY-003 . . . . .	27
Figura 3.6 – Representação interne do transistor NPN . . . . .	28
Figura 3.7 – Sensor Hall de Campo Magnético KY-024 . . . . .	28
Figura 3.8 – Sensor de Tensão AC . . . . .	29
Figura 3.9 – Sensor de Tensão DC . . . . .	30
Figura 3.10–Sensor de Corrente . . . . .	31
Figura 3.11–Experimento de Oerted . . . . .	32
Figura 3.12–Regra da mão direita . . . . .	33
Figura 3.13–Motor simples . . . . .	34
Figura 3.14–Gerador magnético . . . . .	35
Figura 3.15–Fluxo magnético . . . . .	36
Figura 3.16–Eletroímã . . . . .	37
Figura 3.17–Campo magnético em uma espira circular . . . . .	37
Figura 3.18–Sentido das linhas de indução no interior e exterior do solenoide . . . . .	38
Figura 3.19–Mini Bobina de Tesla . . . . .	39
Figura 3.20–Diagrama esquemático da bobina de Tesla . . . . .	39
Figura 3.21–Multímetro digital . . . . .	40
Figura 3.22–Multímetro analógico . . . . .	41
Figura 4.1 – Circuito 1 - Módulo reed switch KY 021 . . . . .	43
Figura 4.2 – O sensor aguarda a presença do ímã . . . . .	45
Figura 4.3 – O sensor identifica a presença do ímã . . . . .	45
Figura 4.4 – KY 021 - Na ausência do ímã . . . . .	46
Figura 4.5 – KY 021 - Mantendo-se o ímã . . . . .	46
Figura 4.6 – KY 021 - Aproximando e afastando o ímã . . . . .	46
Figura 4.7 – Circuito 2 - Sensor de Hall KY 003 . . . . .	47
Figura 4.8 – O sensor aguarda a presença do ímã . . . . .	48
Figura 4.9 – O sensor identifica a presença do campo . . . . .	48
Figura 4.10–KY 003 - Na ausência do ímã . . . . .	49
Figura 4.11–KY 003 - Afastando o ímã . . . . .	49
Figura 4.12–KY 003 - Aproximando e afastando o ímã . . . . .	49
Figura 4.13–Circuito 3 - Sensor de Hall KY 024 . . . . .	51
Figura 4.14–Relação tensão e intensidade do campo magnético . . . . .	52
Figura 4.15–Leitura serial do KY 024 - Na ausência de campo eletromagnético . . . . .	52
Figura 4.16–Relação tensão e intensidade do campo magnético . . . . .	53
Figura 4.17–Valores seriais mínimos . . . . .	53
Figura 4.18–Valores seriais máximos . . . . .	54
Figura 4.19–KY 024 - Na ausência do ímã . . . . .	54
Figura 4.20–KY 024 - Mantendo-se o ímã . . . . .	55

Figura 4.21–KY 024 - Aproximando e afastando o ímã . . . . .	55
Figura 4.22–O sensor aguarda a presença do ímã . . . . .	56
Figura 4.23–Circuito 4 - Sensor de tensão AC . . . . .	56
Figura 4.24–Circuito 5 - Sensor de tensão DC . . . . .	57
Figura 4.25–Circuito 6 - Sensor de corrente . . . . .	58
Figura 4.26–Experimento de Oersted . . . . .	60
Figura 4.27–Experimento de Oersted - Detecção do campo eletromagnético . . . . .	60
Figura 4.28–Experimento de Oersted - Instante de detecção do campo eletromagnético . . . . .	61
Figura 4.29–Experimento de Oersted - Medição do campo magnético . . . . .	61
Figura 4.30–Estrutura básica de uma bobina . . . . .	62
Figura 4.31–Símbolo esquemático de uma bobina . . . . .	62
Figura 4.32–Bobina no regime de carga . . . . .	62
Figura 4.33–Bobina no regime de descarga . . . . .	63
Figura 4.34–A tensão $V_L$ e a corrente $i_L$ durante as fases de carga e descarga (decaimento/enfraquecimento) . . . . .	63
Figura 4.35–Experimento de Oersted - Medindo a corrente . . . . .	64
Figura 4.36–Valores sensoriais de corrente . . . . .	64
Figura 4.37–Experimento de Oersted - Leitura gráfica da corrente . . . . .	65
Figura 4.38–Experimento de Oersted - Medição da tensão . . . . .	65
Figura 4.39–Valores sensoriais de tensão . . . . .	66
Figura 4.40–Experimento de Oersted - Leitura gráfica da tensão . . . . .	66
Figura 4.41–Experimento do motor simples . . . . .	67
Figura 4.42–Estrutura de um motor eletromagnético . . . . .	67
Figura 4.43–Motor simples - Detecção do campo eletromagnético . . . . .	68
Figura 4.44–Motor simples - Utilizando o sensor KY 024 . . . . .	69
Figura 4.45–Motor simples - Instante sem variação do campo magnético . . . . .	69
Figura 4.46–Motor simples - Instante com a variação do campo magnético . . . . .	70
Figura 4.47–Motor simples - Valores da corrente pelo LCD . . . . .	70
Figura 4.48–Motor simples - Valores de corrente lidos serialmente . . . . .	71
Figura 4.49–Motor simples - Instante com a presença de corrente . . . . .	71
Figura 4.50–Motor simples - Valores de tensão . . . . .	72
Figura 4.51–Motor simples - Valores de tensão lidos serialmente . . . . .	72
Figura 4.52–Motor simples - Instante com a presença de tensão . . . . .	73
Figura 4.53–Gerador eletromagnético . . . . .	73
Figura 4.54–Gerador de corrente alternada . . . . .	74
Figura 4.55–Gerador - Leitura da corrente no gerador eletromagnético . . . . .	74
Figura 4.56–Gerador - Leitura serial da corrente . . . . .	75
Figura 4.57–Gerador - Instante da leitura da corrente no sistema . . . . .	75
Figura 4.58–Gerador - Leitura de tensão no gerador eletromagnético . . . . .	76
Figura 4.59–Leitura de tensão no gerador eletromagnético . . . . .	76
Figura 4.60–Leitura de tensão no gerador eletromagnético . . . . .	76
Figura 4.61–Gerador - Instante com tensão no sistema . . . . .	77
Figura 4.62–Eletroímãs . . . . .	78
Figura 4.63–Eletroímã 1 - Detecção do campo eletromagnético . . . . .	78
Figura 4.64–Campo magnético em uma espira circular . . . . .	79
Figura 4.65–Eletroímã 1 - Valor medido do campo eletromagnético . . . . .	79
Figura 4.66–Eletroímã 1 - LED do sensor ao identificar o campo . . . . .	80
Figura 4.67–Eletroímã 1 - Valores de intensidade do campo eletromagnético . . . . .	80
Figura 4.68–Eletroímã 1 - Valor de corrente . . . . .	81

Figura 4.69–Eletroímã 1 - Leitura serial de corrente . . . . .	81
Figura 4.70–Eletroímã 1 - Valores de corrente . . . . .	82
Figura 4.71–Eletroímã 1 - Valor de tensão . . . . .	82
Figura 4.72–Eletroímã 1 - Valor de tensão . . . . .	83
Figura 4.73–Eletroímã 1 - Valores de tensão . . . . .	83
Figura 4.74–Eletroímã 2 - Detecção do campo eletromagnético . . . . .	84
Figura 4.75–Eletroímã 2 - Medição do campo eletromagnético . . . . .	85
Figura 4.76–Eletroímã 2 - Valores sensoriais de intensidade do campo . . . . .	85
Figura 4.77–Eletroímã - Valor da corrente . . . . .	86
Figura 4.78–Eletroímã - Leitura serial da corrente . . . . .	86
Figura 4.79–Eletroímã - Valores de corrente . . . . .	87
Figura 4.80–Eletroímã - Valor de tensão . . . . .	87
Figura 4.81–Eletroímã - Valor de tensão . . . . .	88
Figura 4.82–Eletroímã - Leitura serial de tensão . . . . .	88
Figura 4.83–Eletroímã - Valores de tensão . . . . .	89
Figura 4.84–Minibobina de Tesla . . . . .	89
Figura 4.85–Minibobina de Tesla - Campo eletromagnético detectado . . . . .	90
Figura 4.86–Minibobina de Tesla - Medição do campo eletromagnético . . . . .	90
Figura 4.87–Minibobina de Tesla - Valores de intensidade de campo eletromagnético . . . . .	91
Figura 4.88–Minibobina de Tesla - Medição da corrente . . . . .	91
Figura 4.89–Minibobina de Tesla - Valores medidos da corrente . . . . .	92
Figura 4.90–Minibobina de Tesla - Gráfico indicando os valores de correntes . . . . .	92
Figura 4.91–Minibobina de Tesla - Medição da tensão . . . . .	93
Figura 4.92–Minibobina de Tesla - Valores de tensão . . . . .	93
Figura 4.93–Minibobina de Tesla - Valores de tensão . . . . .	93
Figura B.1 – Experimento de Oersted . . . . .	104
Figura B.2 – Experimento do Motor Simples . . . . .	104
Figura B.3 – Experimento do Gerador Eletromagnético . . . . .	105
Figura B.4 – Experimento do n Eletroímã . . . . .	106
Figura B.5 – Experimento da Mini Bobina de Tesla . . . . .	106

## LISTA DE SIGLAS

MEC	Ministério da Educação
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia e Comunicação
UFPA	Universidade Federal do Pará
LCD	Display de Cristal Líquido ( <i>Liquid Crystal Display</i> )
IDE	Ambiente de Desenvolvimento Integrado ( <i>Integrated Development Environment</i> )
AC	Corrente Alternada
DC	Corrente Direta
EUA	Estado Unido da América
UFRGS	Universidade do Rio Grande do Sul
USB	Barramento Serial Universal ( <i>Universal Serial Bus</i> )
GND	Filtro Graduado de Densidade Neutra ( <i>graduated neutral density filter</i> )
PWM	Modulação por Largura de Pulso ( <i>Pulse Width Modulation</i> )
SRAM	Memória de Acesso Randômico Estático ( <i>Static Random Access Memory</i> )
EPROM	Memória Somente de Leitura Programável Apagável ( <i>Erasable Programmable Read-Only Memory</i> )
DDP	Diferença de Potencial
LED	Diodo Emissor de Luz ( <i>Light Emitting Diode</i> )
NPN	Negativo-Positivo-Negativo
VCC	Tensão de Corrente Contínua
VDC	Voltagem em Corrente Direta
ADC	Conversor Analógico Digital
CC	Corrente Contínua
CA	Corrente Alternada
VIN	A tensão de entrada para a placa Arduíno quando se está usando uma fonte de alimentação externa.
IOREF	Este pino na placa Arduíno fornece a referência de tensão com que o microcontrolador está operando.

## LISTA DE SÍMBOLOS

$Fe_3O_4$	Tetróxido de Ferro
$C/C++$	Linguagem de programação C
$l$	Comprimento de Circuito
$E$	Campo Elétrico
$i$	Intensidade da Corrente Elétrica
$V$	Voltagem
$mV$	Milivolt
$V_{CC}$	Voltagem em Corrente Contínua
$kB$	Kilobyte
$mm$	Milímetro
$g$	Grama
$\Omega$	Ohm
$k\Omega$	Kilohms
$a.C.$	Antes de Cristo
$\mu_s$	Microssegundos
$A$	Amper
$mA$	Miliamper
$A$	Área
$A$	Altura
$C$	Comprimento
$C$	Capacitância
$k$	Comprimento
$khz$	Kiloherz
$B$	Campo Magnético
$\mu_0$	Permeabilidade Magnética no Meio.
$kw$	Kilowatts
$N$	Normal

$\theta$	Ângulo Trigonométrico
$R$	Raio da Espira ou Esfera
$O$	Centro da espira Circular
$n$	Número de Voltas da Espira
$m$	Metro
$L$	Altura
$\epsilon$	Constante Dielétrica
$d$	Distância Entre as Placas.
$bits/s$	Bits por Segundo
$f_{vem}$	Força Eletromotriz Auto Induzida
$R_S/R_D$	Resistências S e D.
$\phi$	Fluxo Magnético
$dB$	Derivada do campo magnético
$dA$	Derivada da Área
$dS$	Derivada da Área
$\Pi$	Número Pi
$\oint$	Integral de linha
$\int_S$	Integral
$\iint_S$	Integral dupla
$r^2$	Quadrado da distância
$A/m$	Ampère/metro
$N$	Norte Magnético
$S$	Sul Magnético
$T$	Tesla
$mT$	militesla

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> . . . . .	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> . . . . .	<b>18</b>
<b>2.1</b>	<b>A aplicabilidade experimental no ensino da Física</b> . . . . .	<b>18</b>
<b>2.2</b>	<b>Breve histórico do eletromagnetismo</b> . . . . .	<b>19</b>
2.2.1	A Importância do estudo do eletromagnetismo . . . . .	20
<b>2.3</b>	<b>A teoria da educação significativa</b> . . . . .	<b>21</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> . . . . .	<b>23</b>
<b>3.1</b>	<b>Utilização da plataforma Arduíno no desenvolvimento dos protótipos</b> .	<b>23</b>
3.1.1	Plataforma Arduíno . . . . .	23
3.1.2	IDE do Arduíno . . . . .	24
3.1.3	Hardware do Arduíno . . . . .	25
<b>3.2</b>	<b>Sensores</b> . . . . .	<b>26</b>
3.2.1	Módulo chave magnética reed switch KY-021 . . . . .	26
3.2.2	Sensor Hall de campo magnético KY-003 . . . . .	27
3.2.3	Sensor Hall de campo magnético KY-024 . . . . .	28
3.2.4	Sensor de tensão AC . . . . .	29
3.2.5	Sensor de tensão DC . . . . .	30
3.2.6	Sensor de corrente . . . . .	30
<b>3.3</b>	<b>Esboço teórico sobre os experimentos</b> . . . . .	<b>32</b>
3.3.1	Experimento de Oersted . . . . .	32
3.3.2	Motor elétrico simples . . . . .	34
3.3.3	Geradores elétricos . . . . .	35
3.3.4	Eletroímã . . . . .	37
3.3.5	Mini bobina de Tesla . . . . .	38
<b>3.4</b>	<b>Instrumentos de medição</b> . . . . .	<b>40</b>
3.4.1	Multímetro digital . . . . .	40
3.4.2	Multímetro analógico . . . . .	41
<b>3.5</b>	<b>Outros materiais</b> . . . . .	<b>41</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> . . . . .	<b>42</b>
<b>4.1</b>	<b>Montagem e testes dos sensores</b> . . . . .	<b>42</b>
4.1.1	Utilizando o módulo reed switch KY 021 . . . . .	43
4.1.2	Utilizando o sensor de Hall KY 003 . . . . .	47
4.1.3	Utilizando o sensor de Hall KY 024 . . . . .	51
4.1.4	Utilizando o sensor de tensão AC . . . . .	56
4.1.5	Utilizando o sensor de tensão DC . . . . .	57
4.1.6	Utilizando o sensor de corrente . . . . .	58
<b>4.2</b>	<b>Resultados experimentais dos protótipos didáticos</b> . . . . .	<b>59</b>
4.2.1	Experimento de Oersted . . . . .	59
4.2.2	Motor Simples . . . . .	66
4.2.3	Gerador eletromagnético . . . . .	73
4.2.4	Eletroímã . . . . .	77
4.2.5	Mini Bobina de Tesla . . . . .	89

<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO . . . . .</b>	<b>94</b>
<b>5.1</b>	<b>Trabalhos futuros . . . . .</b>	<b>94</b>
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>96</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>98</b>
	<b>ANEXO A – CÓDIGOS . . . . .</b>	<b>99</b>
	<b>ANEXO B – ROTEIRO SOBRE FUNCIONAMENTO E USABILIDADE DOS MATERIAIS . . . . .</b>	<b>103</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A educação científica no Brasil tem sido objeto de preocupação do Ministério da Educação (MEC) e da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicação (MCTIC), devido aos baixos indicadores de qualidade da educação no país. Dentre as soluções para reverter essa situação é indicada a utilização de tecnologias institucionais aplicadas a educação científica, pois a compreensão por meio do método aplicado à tecnologias pode trazer bons resultados para a formação do indivíduo, fazendo-o ser capaz de compreender eventos da natureza e inovar usando os recursos tecnológicos em alguns casos (BRASIL, 1999). Portanto, é importante a inclusão de meios facilitadores em sala de aula para contribuir na qualidade da aprendizagem dos conteúdos ministrados. Utilizando-se do ponto de vista teórico e científico, um bom ensino deve ser construtivista, promover a mudança conceitual e facilitar a aprendizagem significativa. (PONTES, 2006).

Nessa perspectiva, este trabalho aborda uma proposta didática para trabalhar de modo interativo a disciplina de Teoria Eletromagnética ministrada na Faculdade de Computação da Universidade Federal do Pará (UFPA), campus Castanhal. São apresentados elementos que associam os experimentos didáticos à tecnologia objetivando melhorar o processo de ensino e aprendizagem.

Esse trabalho, consiste na elaboração de kits didáticos que pretende auxiliar os docentes e discentes no processo de ensino e aprendizagem na disciplina de Teoria Eletromagnética. Os kits são associados a sensores e ao Arduíno Uno (IDE), interface de comunicação entre o sensor e os usuários.

Para construir os algoritmos é importante compreender os fenômenos físicos correspondes as grandezas apresentadas, objetivando aplicar fórmulas físicas associadas aos experimentos para obter os resultados da análises teóricas através de cálculos.

A pesquisa e elaboração dessa dissertação foram formuladas segundo os ideais de Novak e na teoria de aprendizagem significativa na visão de Marcos Antônio Moreira (MOREIRA, 1999). tem seus objetivos de incentivar e motivar o interesse dos estudantes no processo de aprendizagem nas aulas de Teoria Eletromagnética, contexto de aprendizagem significativa.

Conforme Moreira, a predisposição que o estudante tem para aprender e a aprendizagem significativa de novos conceitos, guardam entre si uma relação praticamente circular: que requer predisposição para assimilar e, ao mesmo tempo, gera uma experiência afetiva. (MOREIRA, 1999).

Este capítulo (capítulo 1) tratasse da introdução e dos tópicos a serem abordados nos demais capítulos, que serão detalhados nos próximos parágrafos.

No capítulo 2 será abordada a situação do ensino do curso de física no Brasil e a proposta do uso da tecnologia como subsídio para melhorar os processos de ensino e aprendizagem de física, destacando assim a importância do uso de experimentos no ensino de física. Será apresentado em detalhes cada experimento escolhido para a demonstração dos eventos em eletromagnetismo, levando em consideração o conteúdo teórico agregado e as demonstrações matemáticas das fórmulas utilizadas para apresentar os fenômenos eletromagnéticos. Também será abordado o uso da tecnologia na educação, os fundamentos teóricos sobre a disciplina de Teoria Eletromagnética, a importância dessa disciplina para a formação do discente e para a compreensão desses fenômenos para outras áreas do curso de Engenharia da Computação. Assim como também, será explanada a teoria da educação de Novak e a teoria de aprendizagem significativa de Marcos Antônio Moreira, as quais

tiveram grande importância para a metodologia aplicada nos experimentos.

No capítulo 3 será apresentada a plataforma com sistema embarcado utilizado para a leitura nos experimentos, a placa de Arduino Uno (hardware). Será apresentada a IDE (Integrated Development Environment ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado), software do Arduino Uno. Destacam-se os procedimentos metodológicos aplicados no desenvolvimento da pesquisa deste trabalho, assim como, também, os materiais utilizados para a confecção dos experimentos e da montagem do circuito na matriz de contato (protoboard).

No capítulo 4 serão apresentados os resultados e relatórios com base nas observações realizadas no processo experimental e será exibida a montagem dos circuitos na protoboard junto aos sensores e a placa de Arduino Uno. Será exibido o código e seu uso nos experimentos para se coletar os dados e exibi-los em forma de gráfico ou pela tela do LCD.

Por fim, no último capítulo, serão apresentadas as considerações finais e conclusões sobre a utilização do (KIT) Arduino nos experimentos, como metodologia didática desenvolvida, visando melhorar os processos de ensino e aprendizagem na disciplina de Teoria Eletromagnética.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 A aplicabilidade experimental no ensino da Física

Um experimento pode exemplificar uma situação real ou até um evento físico de maior grandeza, exemplo disso, um motor usado em usinas hidrelétricas, ou eletroímãs usados para carregar materiais metálicos muito pesados. O professor utilizando o método tecnológico para o ensino da disciplina de Teoria Eletromagnética pode de forma mais dinâmica tornar o ambiente em sala de aula mais interessante e incentivar a curiosidade dos alunos através dos experimentos apresentados. Dessa forma, o aprendizado se tornará mais significativo, sendo aplicados alguns princípios da teoria de ensino humanista no aprendizado.

Essa forma de prática pedagógica, usando meios experimentais, incentiva e envolve o aluno, o professor, o ambiente de aprendizagem e os recursos disponíveis, tornando o ambiente interessante e interativo. Através desse método busca-se o desenvolvimento da autonomia do aluno e a construção do conhecimento em eletromagnetismo, por meio da busca para a compreensão, por meio de situações e problemas apresentados nos experimentos. Infelizmente, ainda hoje muitos professores usam métodos que mantêm os alunos desinteressados e muitas vezes acomodados, sentindo-se incapazes de produzir algo científico e de compreender os fenômenos físicos. Esta realidade gera muito desconforto e desinteresse por parte dos alunos em aprender ciência.

Tendo em vista esses problemas mencionados torna-se necessário melhorar o ensino e aprendizagem da disciplina de Teoria Eletromagnética que acaba afetando muito em outras áreas do conhecimento no curso de Engenharia de Computação.

[...] Um estudante está numa situação de aprendizagem, a estimulação física dos seus olhos, ouvidos e outros sentidos são transformadas em certas “mensagens” neurais. Por sua vez, as mensagens neurais sofrem outras transformações no sistema nervoso, de tal forma que possam ser armazenadas e, mais tarde, lembradas. [...] (GAGNÉ, 1980, p.14)

A motivação dos alunos pode ser feita através de atividades experimentais que auxiliem o professor em determinados conteúdos. Segundo Gagné:

[...] Para promoção da aprendizagem, precisamos lidar, primeiramente, com a motivação por incentivo, um tipo de motivação na qual o indivíduo se esforça por alcançar alguma meta e é, de alguma forma, recompensado ao alcança-la. [...] (GAGNÉ, 1980, p.29)

Ao utilizar os experimentos associados ao ensino de física é possível obter o interesse e curiosidade dos alunos com os assuntos propostos, e com a utilização da tecnologia agregada ao curso de Engenharia de Computação, tal como o Arduíno ou com aplicação de um microcontrolador, tornar a disciplina mais intrigante por incentivar a obtenção de conhecimento de outras áreas do curso, tal como programação, projetos de engenharia, microcontrolador e microprocessadores.

## 2.2 Breve histórico do eletromagnetismo

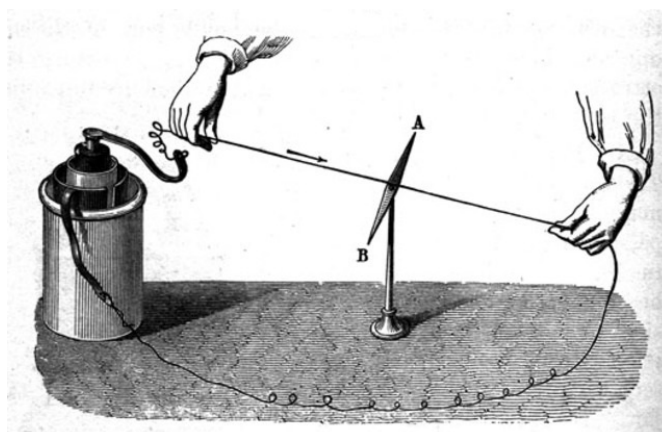
Tanto a eletricidade como o magnetismo são fenômenos que sempre estiveram presentes na humanidade. Desde tempos antigos, por volta de 625-558 a.C, Tales de Mileto descreveu os fenômenos elétricos e magnéticos. A descrição inclui a eletrização através do atrito com o âmbar e a atração magnética observada por ímãs naturais, como a magnetita (PASCOAL, 2013). A magnetita, é um minério que se encontra em estado natural magnetizado, ela é constituída de um tetróxido de triferro ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), encontrado na Magnésia. Os ímãs, por sua natureza, são materiais ferromagnéticos, umas das características desse materiais é a presença de um força de atração ou repulsão com outros materiais ferromagnéticos, como por exemplo o ferro, cobalto, neodímio, níquel e outros. Porém, não se pode esquecer que muitos autores se referem também ao uso de bússolas pelos chineses entre 475-221 a.C.

O artefato usado para indicar direção, a bússola chinesa, surgiu no período dos reinos combatentes, no início foi chamado de “Sinan”, que tinha como tradução o “Indicado do Sul”. A produção de ímãs artificiais, em vez dos ímãs naturais, possibilitou a construção de uma bússola mais sofisticada, atritando agulhas de ferro com magnetita. Na dinastia de Song, no século XI, a tecnologia das bússolas foi introduzida na Europa, época em que os Chineses entraram em contato com os Árabes (WIRTH, 2018).

Foram nos séculos XVIII e XIX que a eletricidade e o magnetismo se desenvolveram na Europa e nos EUA, o que levou a uma compreensão profunda dos fundamentos que envolviam o eletromagnetismo. O primeiro a estudar o fenômeno eletromagnético nessa época, foi William Gilbert (1600), o qual descreveu o uso da bússola para o mapeamento do campo magnético em seu livro “De Magnete”. Após isso, com a invenção da pilha voltaica feita por Alessandro Volta (1800) tornou-se possível o uso de corrente elétrica, de maneira controlada, o que possibilitou a descoberta de Hans Christian Oersted, percebendo assim a interação da corrente elétrica com o campo magnético de uma bússola. Dessa forma, ficou estabelecida a relação da eletricidade e do magnetismo (GILBERTSEGUIU, 2003).

A relação entre eletricidade e magnetismo foi objeto de muita curiosidade durante o século XIX. Nesse período, o físico dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851) realizou vários experimentos, sendo que um desses experimentos foi feito em sala de aula, no curso de eletricidade, galvanismo e magnetismo, da universidade de Copenhague. Oersted ao colocar uma agulha magnética perpendicularmente ao fio condutor de um circuito galvânico, percebeu uma pequena deflexão dessa agulha (BASSALO, 2007). Então, foi descoberto que havia forte influência entre magnetismo e eletricidade, que as duas sempre existiam no mesmo plano. Com isso, foram unificados a eletricidade e o magnetismo, surgindo assim o termo eletromagnetismo. No experimento de Oersted com uma bússola perpendicular a um fio de um circuito elétrico (Figura 2.1), Oersted percebeu um pequeno desvio na agulha magnética por causa de uma força presente no experimento gerada pelo circuito elétrico quando energizado. Assim, ele percebeu que a força se tratava de um campo magnético gerado pelo circuito elétrico, o qual influenciava a agulha magnética da bússola. Logo, o movimento das cargas elétricas no fio condutor do circuito gerava um campo magnético,  $\mathbf{B}$ , próximo ao fio, dessa forma influenciando a agulha.

Figura 2.1 – Experimento de Oersted.



Fonte: <https://www.timetoast.com/timelines/historia-de-la-electricidad-d6d026b0-5407-45ce-abe4-6543a6ccb6c6>, Acesso em janeiro, 2020

Os estudos de Oersted foram ampliados mais tarde por André Marie Ampere (1820), que verificou a interação magnética entre condutores percorridos por correntes. Entre 1791 à 1867 o físico inglês Michael Faraday elaborou o conceito de campo magnético, através das linhas que se formavam por limalhas de ferro em uma folha de papel na presença de um ímã. Após essa observação, Faraday concluiu que as linhas do campo magnético eram a interação magnética entre objetos magnetizados, a partir de certas distâncias. Os estudos de Faraday permitiu a James Clerk Maxwell (1865), a sintetizar todo conhecimento de eletricidade e magnetismo em quatro leis, conhecidas, hoje, como as equações fundamentais do eletromagnetismo, que mais tarde permitiram descrever a luz como uma onda eletromagnética, fato comprovado por Heinrich Hertz (1888).

O estudo do eletromagnetismo pode ser sintetizado nas quatro equações, chamadas de equações de Maxwell, originalmente conhecidas como Lei de Gauss, Faraday e Ampere. A teoria de Maxwell do eletromagnetismo é considerada a teoria mais sucinta e completa. As fórmulas resumem, com apenas quatro equações, uma quantidade impressionante de conhecimento acumulado ao longo da história, abrangendo os fenômenos elétricos e magnéticos que resultaram nos avanços científico e tecnológico que alteraram a forma de viver da humanidade. Contudo, adicionando a teoria de Einstein da relatividade ao eletromagnetismo de Maxwell tem-se uma teoria mais completa de como, no movimento de cargas, se relacionam as forças elétricas e magnéticas.

### 2.2.1 A Importância do estudo do eletromagnetismo

O estudo do eletromagnetismo tem grande importância para a ciência e para a engenharia, tendo como resultados a criação de novas tecnologias que tiveram grande impacto na humanidade desde que tais conceitos começaram a ser mais aplicados na vida cotidiana. Entre os exemplos de aplicações do eletromagnetismo na nossa vida atual temos, a geração de energia a partir de geradores eletromagnéticos em hidrelétricas e em outras formas de se produzir energia, elevadores, eletrodomésticos, automatização dos meios de produção, aplicações em transportes, como carros, ônibus e outros automóveis, nas telecomunicações, na segurança e em muitos outros setores. Logo, grande parte das tecnologias atuais provêm dos conceitos fundamentais do eletromagnetismo, ou foram produzidos por meios que os utilizam.

Para a disciplina de Teoria Eletromagnética, o estudo desses conceitos é muito importante para a formação do aluno, fazendo-o compreender as tecnologias atuais e como inovar e produzir a partir de tais conhecimentos, agregando assim um dos requisitos para a formação de engenheiros da computação, possibilitando o aluno aplicar tais conhecimentos adquiridos em outras disciplinas curriculares, como processamento digital de sinais, sinais e sistemas, circuitos elétricos, microprocessadores e microcontroladores, comunicações digitais, projetos de engenharia I, II e III, e em outras disciplinas curriculares e extracurriculares. Assim, o graduando precisa compreender alguns conceitos fundamentais para poder compreender algo mais complexo, como microcontroladores e hardwares de computadores.

### 2.3 A teoria da educação significativa

Joseph D. Novak, empresário e professor da universidade de Cornell nos Estados Unidos, coautor da segunda edição do livro da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel. Segundo seus ideais, a educação significativa envolve um conjunto de experiências (cognitiva e psico-motoras) que contribuem para a formação do aluno. Dessa forma, conforme o pensamento de Novak, a teoria segue três premissas baseada no convívio do ser humano: pensar, sentir e atuar ou fazer. Cada uma dessas premissas deve ser considerada para explicar por que o ser humano age. Cada ato educativo é uma troca de experiência entre pensamentos e sentimentos de educandos e professores (NOVAK, 1988).

Quando a aprendizagem é significativa o aprendiz se envolve no conhecimento e tem mais disposição para a aprendizagem. Um dos elementos de um bom aprendizado é a clareza nas explicações, explicações estáveis e diferenciadas, que envolve o aluno ao conteúdo. O aluno tendo predisposição a aprender um conteúdo, ou seja, tendo motivação e conhecimento prévios dos assuntos ministrados, bem como acesso a material significativo, possivelmente terá empenho e curiosidade sobre os conceitos mencionados nas aulas.

Segundo Moreira (1999), na teoria de Schwab qualquer fenômeno educativo envolve, de forma direta ou indireta, quatro elementos que ele chama de “lugares comuns”: Aprendiz (aprendizagem), professor (ensino), matéria de ensino (segundo Novak, corresponde a conhecimento) e matriz social (meio, contexto). E mais ainda, conforme Novak, um fenômeno educativo, de alguma maneira, o aluno aprende algo (adquire conhecimento) interagindo (trocando significados) com o professor, mediador do processo de ensino e aprendizagem.

Na perspectiva de Novak, o aprendiz estando em um ambiente de educação mecânica, acaba demonstrando desinteresse no aprendizado ou acaba não dando a devida importância para o conhecimento proposto, não demonstrando uma predisposição para o aprendizado.

Um dos grandes aplicadores da ideologia de aprendizagem significativa é o professor de física da Universidade do Rio Grande do Sul (UFRGS) Marco Antônio Moreira, especialista na educação significativa, desenvolvida por Ausubel. Segundo Moreira:

Aprendizagem significativa é aquela em que as idéias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não-arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe. Substantiva quer dizer não-literal, não ao pé-da-letra, e não-arbitrária significa que a interação não é com qualquer idéia prévia, mas sim com algum conhecimento especificamente relevante já existente na estrutura cognitiva do sujeito que aprende. (MOREIRA, 2012, p.6)

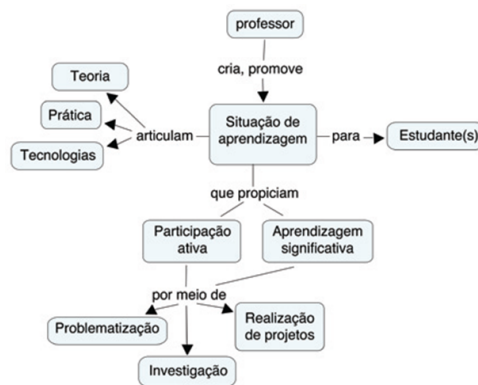
Na visão de Moreira o conhecimento deve ser repassado de forma a favorecer aos estudantes na busca por novos conteúdos de maneira crítica e significativa. Para que haja

o aprendizado significativo o professor deve antes de tudo organizar o material introdutório dos assuntos e repassar visando introduzir após isso o material potencialmente significativo.

Para Ausebel, os organizadores prévios têm como função servir de ponte entre os conhecimentos que o aprendiz já possui e o que ele deveria saber para que o novo material pudesse ser aprendido de maneira significativa. Os organizadores prévios são utilizados para facilitar a aprendizagem servindo como “pontes cognitivas”. Um organizador prévio é um recurso instrucional que pode ser um enunciado, uma pergunta, um problema, uma demonstração, um filme, uma leitura introdutória, uma simulação ou uma aula que precede um conjunto de outras aulas (MOREIRA, 2012).

Nesse sentido, o professor deve proporcionar o conteúdo requerido e demonstrar sua importância ao aplicar o material significativo, tornando o ambiente favorável para o aprendizado. Na Figura 2.2 é representado o mapa conceitual para resumir a relação da proposta didática com as bases teóricas sobre a teoria da aprendizagem significativa. Segundo as ideias humanistas, a educação é centralizada entre o aluno e professor, como mediador do conhecimento, o mesmo é responsável por torna a educação mais interessante visando desenvolver a capacidade cognitiva, social e afetiva do aluno, através do uso de tecnologia nas aulas ou pesquisas científicas, no caso desse trabalho visando o aprendizado da disciplina de eletromagnetismo.

Figura 2.2 – Mapa conceitual resumindo a relação da proposta didática com as bases pedagógicas.



Fonte: <https://www.timetoast.com/timelines/historia-de-la-electricidad-d6d026b0-5407-45ce-abe4-6543a6ccb6c6>, Acesso em janeiro, 2020

### 3 Metodologia

Este capítulo visa apresentar os materiais, ferramentas e componentes utilizados no desenvolvimento de protótipos dos protótipos didáticos que são propostos para serem usados em atividades práticas de eletromagnetismo. Uma das principais ferramentas utilizadas nesse trabalho é a plataforma de prototipagem eletrônica Arduino e ela será abordada de forma resumida. Serão fornecidos também detalhes técnicos acerca dos sensores utilizados bem como o papel de cada um deles na montagem dos protótipos. Os instrumentos utilizados para medir e aferir as grandezas físicas também serão mencionados.

#### 3.1 Utilização da plataforma Arduino no desenvolvimento dos protótipos

A placa de Arduino, no processo experimental em eletromagnetismo, visa intermediar os resultados medidos pelos sensores, permitindo assim, a leitura das grandezas elétricas e magnéticas.

É interessante o uso do Arduino em salas de aulas para familiarizar os alunos aos métodos e aos possíveis projetos a serem implementados com a plataforma. Além de incentivar a aplicação dessa tecnologia nas demais disciplinas, podendo ser usada em diversas áreas do conhecimento, para muitos propósitos, desde que haja criatividade e incentivo para a utilização.

Nos subtópicos a seguir, será feita uma breve apresentação da plataforma Arduino nos seus aspectos físicos e lógicos. Essa plataforma teve fundamental importância para a obtenção dos principais resultados encontrados durante a experimentação com os protótipos em eletromagnetismo.

##### 3.1.1 Plataforma Arduino

O Arduino é uma placa eletrônica de código aberto (Open-source) muito utilizada em projetos de engenharia, para construção de protótipos, com uma grande aplicabilidade em diversas áreas: como na música, em desenvolvimento de jogos, em automação residencial, na agricultura, na educação e outras áreas. O Arduino possibilita a utilização tanto de profissionais como de amadores, por ser uma placa de fácil acesso, barata e de fácil programação. Seu uso começou com um projeto de pesquisa de Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino e David Mellis no Interaction Design Institute (Instituto de Design de Interação) da cidade de Ivrea no início do ano 2000, destinada a estudantes sem experiências em eletrônica e programação (ARDUINO, 2021).

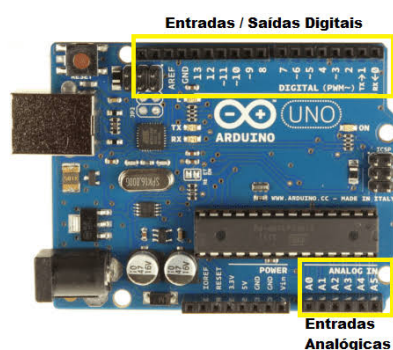
O Arduino é formado por duas partes: o hardware que é a placa eletrônica, e o software que é a IDE onde escrevemos (programamos) para que a placa faça o desejado em cada projeto. Uma das grandes vantagens do Arduino é a facilidade de sua utilização, o que permite que muitas pessoas que não são da área de tecnologia consigam aprender facilmente como utilizá-la da forma adequada, criando seus próprios projetos em um tempo relativamente curto.

O Arduino possui funcionalidades semelhantes a do computador, capaz de interpretar entradas e controlar as saídas, criando assim um sistema que irá executar essas funções automaticamente. Para isso, é necessário primeiro programá-lo, definindo assim o que a placa deverá fazer em cada momento, realizando a tomada de decisões para determinado propósito de acordo com a leitura de uma ou mais variáveis físicas. A programação ocorre

com auxílio da IDE (ambiente integrado de desenvolvimento), o software onde é escrito o código, desenvolvido em uma linguagem semelhante a C/C++.

Segundo McRoberts (2011), o Arduíno é um pequeno computador que pode ser programado para processar entradas e saídas digitais e analógicas entre os dispositivos e os diversos componentes externos conectados a ele. Na Figura 3.1 é apresentada uma placa do Arduíno Uno.

Figura 3.1 – Placa de Arduíno



Fonte: <https://www.embarcados.com.br/arduino-uno/>, Acesso em janeiro, 2020

### 3.1.2 IDE do Arduíno

O código será compilado e executado na plataforma de programação, na interface IDE que facilita o desenvolvimento e a gravação de códigos diretamente no microcontrolador. Também denominada IDE do Arduíno, disponível para os sistemas operacionais como o Windows, Mac e Linux, de forma gratuita, disponível no site do Arduíno (ARDUINO, 2019).

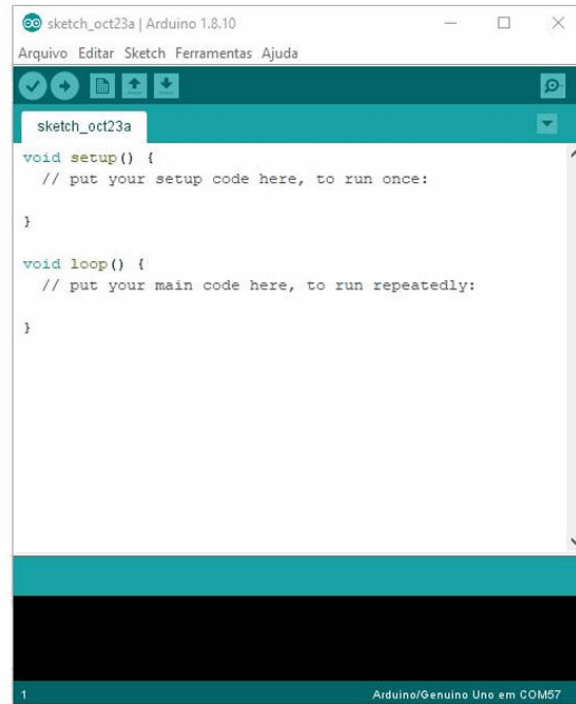
O software do Arduíno é compatível com quase todos os sistemas operacionais e a IDE possibilita a programação de todos os modelos de placas Arduíno.

Existem duas formas de programar pela IDE do Arduíno Uno, uma diretamente com o software no computador e outra através do navegador, plataforma recentemente desenvolvida pela empresa Arduíno.

A IDE do Arduíno possui um campo ‘Função Setup’, local onde ficam as principais variáveis de entrada e suas definições. E o campo ‘Função Loop’, onde o código irá se repetir para executar a ações programadas. Campos Representados na Figura 3.2 a seguir.

Também é possível incluir mais recursos, através de outras bibliotecas que podem ser baixadas e instaladas para o uso em projetos mais específicos, a IDE do Arduíno normalmente já vem com muitas bibliotecas disponíveis para o uso, basta somente habilitá-la no início do código para o uso desses recursos.

Figura 3.2 – Área de Desenvolvimento Arduíno

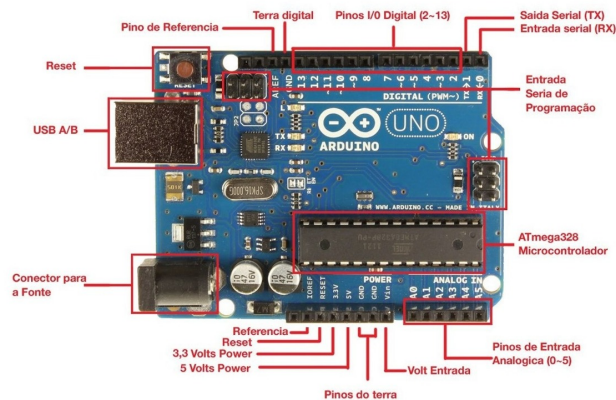


Fonte: <https://www.usinainfo.com.br/blog/arduino-ide-o-software-para-gravacao-de-codigos-no-arduino/>, Acesso em Outubro, 2022

### 3.1.3 Hardware do Arduíno

O Arduíno possui basicamente entradas que irão energizar a placa, sendo uma entrada USB (*Universal Serial Bus*, Barramento Serial Universal), de 5V, ou entrada de fonte de alimentação, conectores de alimentações que são IOREF, Reset, de 3,3 V, de 5 V, do GND e VIN, 14 pinos digitais de entrada / saída (dos quais 6 podem ser usados como saídas PWM, *Universal Serial Bus*, Barramento Serial Universal) e 6 pinos analógicos, de entrada e saída serial, microcontrolador ATmega328, de 32 kB (ATmega328P), da qual 0.5 kB são usadas pelo bootloader, 2 kB SRAM (*Static Random Access Memory*, Memória de Acesso Randômico Estático), 1 kB EEPROM (*Erasable Programmable Read-Only Memory*, Memória Somente de Leitura Programável Apagável) . A Figura 3.3 representa a placa Arduíno mais detalhadamente.

Figura 3.3 – Hardware do Arduino



Fonte: <https://deinfo.uepg.br/alunoso/2019/SO/ARDUINO/ARQUITETURA/index.html>, Acesso em janeiro, 2021

### 3.2 Sensores

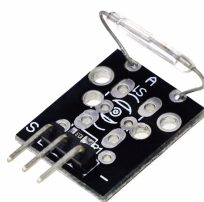
Visando obter a detecção das variáveis elétricas e magnéticas, foram utilizadas nos protótipos tecnologias de baixo custo, tais como, sensores de detecção do campo magnético, sensor de medição da variação magnética, sensores de tensão e de corrente, em associação com o Arduino Uno. O principal objetivo da aplicação de sensores nos experimentos é a obtenção de informações qualitativas e quantitativas como resultado da corrente induzida, da diferença de potencial no circuito e do campo eletromagnético gerado.

Os sensores utilizados foram; o módulo chave magnética reed switch KY-021, o sensor de hall de campo magnético KY-003, o sensor de hall de campo magnético KY-024, o sensor de tensão AC (*Alternating Current*, Corrente Alternada), o sensor de tensão DC (*Direct Current*, Corrente Direta) e o sensor de corrente. Também foram utilizados outros componentes, tais como; um LED (*Light Emitting Diode*, Diodo Emissor de Luz), um potenciômetro, vários jumpers e um LCD. Todos os componentes foram controlados pelo Arduino, gerenciando as entradas de informações obtidas pelos sensores e encaminhando-as para as saídas, podendo ser pelo LCD ou pela própria IDE do Arduino na forma de informações quantitativas e na forma de gráficos.

#### 3.2.1 Módulo chave magnética reed switch KY-021

Funciona como um interruptor de lâminas que muda de estado conforme o campo magnético ou eletromagnético se aproxima do sensor. Basicamente, o sensor (Figura 3.4) possui um bulbo de vidro, no interior do bulbo há duas lâminas flexíveis com contato especial nas extremidades, possuindo também um gás inerte na lâmina, evitando a oxidação dos contatos. O módulo chave magnética KY-021 é normalmente aberto e possui um funcionamento similar a um interruptor simples. Caso não haja aproximação de algum campo magnético, as lâminas se manterão separadas. As lâminas são constituídas de material ferromagnético e com a presença de campo magnético essas lâminas são atraídas e com isso o circuito é fechado.

Figura 3.4 – Módulo chave magnética reed switch KY 021



Fonte: <https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-modulo-chave-magnetica-reed-switch-ky-021/>

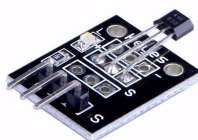
#### Especificações do módulo chave magnética KY021

- Contato: normalmente aberto
- Tensão de operação: 3 a 5VDC
- Dimensões: 15mm(L) X 6mm(A) X 19mm(C)
- Peso: 2g
- Saída digital
- Não Possui LED indicador para presença de tensão

#### 3.2.2 Sensor Hall de campo magnético KY-003

O objetivo desse sensor é a detecção do campo magnético, assim como o módulo chave magnética reed switch KY-021. O sensor Hall KY-003 utiliza o efeito hall para a detecção de campos magnéticos, Figura 3.5. O efeito hall foi descoberto pelo físico Edwin Helbert Hall e consiste em um sistema onde o condutor é submetido a uma diferença de potencial gerando um campo elétrico, onde flui uma corrente e o material condutor é posicionado de forma perpendicular a um campo magnético, a corrente sofre ação da força magnética, fazendo com que os elétrons sejam desviados para parte superior do condutor, acumulando cargas nas extremidades. Dessa forma, gerando uma diferença de potencial, ou seja, quando o condutor for influenciado pelo campo magnético terá sua corrente desviada, e uma tensão hall é gerada, essa tensão poderá ser aproveitada por um circuito para execução de outras aplicações. O sensor hall possui um circuito integrado 3141, internamente há um transistor NPN (Negativo-Positivo-Negativo) que funciona como chave.

Figura 3.5 – Sensor de Hall magnético KY-003

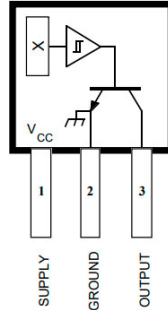


Fonte: <http://www.robohelp.com.br/hall-sensor-magnetico-modulo-ky003-arduino-frete-r-12-50>

Assim que a tensão de hall é estabelecida no sensor, alimentará a base do transistor, dessa forma, fechando a chave e enviando o nível lógico baixo para a saída do sensor. Se

não existir a presença do campo magnético, não aparecerá a tensão de hall, dessa forma, a chave permanecerá aberta como na Figura 3.6.

Figura 3.6 – Representação interna do transistor NPN



Fonte: <http://blog.baudaeletronica.com.br/sensor-hall-com-arduino/>

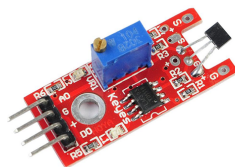
### Especificações do sensor hall KY-003

- Serie: 3144
- Marca: KEYES
- Modelo: KY-003
- Tensão de Operação: 4,5-24V DC
- Saída digital
- LED indicador para presença de tensão

### 3.2.3 Sensor Hall de campo magnético KY-024

Esse sensor, assim como o sensor KY-003, tem como função a detecção do campo magnético a partir do efeito hall. O sensor de hall de campo magnético KY-024 (Figura 3.7) sofre uma variação em suas saídas (analógica ou digital) sempre que houver a presença de campo magnético. Considerando a utilização do sensor junto à placa de Arduino, identificando a presença do campo magnético a saída analógica vai sofrer uma variação que é representada em 1024 níveis de amplitudes. Caso seja utilizada a saída digital, a leitura feita no Arduino será de 0, quando houver presença de campo magnético, e de 1, na ausência do campo magnético. Caso seja saída do tipo analógica, o valor será discretizado, podendo ser valores mais específicos entre os níveis de tensões de 0 a 5 V.

Figura 3.7 – Sensor Hall de Campo Magnético KY-024



Fonte: <https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-sensor-hall-de-campo-magnetico-ky-024/>

A intensidade do campo magnético será representada por um valor de tensão lido no pino analógico A0. Quanto menor a tensão lida no pino, maior a intensidade do campo magnético. A detecção do campo magnético será feita através do pino digital 8. Ambas as informações serão mostradas no monitor serial do ambiente de programação do Arduíno.

#### Especificações do sensor hall KY-024

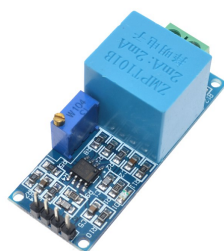
- Modelo: KY-024
- Sensor Hall: 49E
- Controlador: LM393
- Tensão de operação: 5VDC
- Saída digital e analógica
- LED indicador para presença de tensão
- LED indicador para saída digital
- Trimpot para ajuste da sensibilidade

#### 3.2.4 Sensor de tensão AC

O sensor de tensão AC ler valores de 0 até 250V, sendo um módulo que apresenta alta precisão nos resultados lidos. Possuindo como objetivo a detecção da tensão alternada em um circuito e da medição desse valor. Esse sensor é muito utilizado em projetos de automação residencial, pois ele informa se uma lâmpada pode estar acesa ou apagada, se um motor está ligado ou desligado, conforme o monitoramento. Esse sensor pode ser usado como voltímetro, sendo essa sua principal aplicação para os experimentos.

Para que o sensor seja usado de forma precisa, para medir tensão AC junto ao Arduíno, é necessário fazer a calibragem de forma de onda na saída a partir de um osciloscópio. O sensor pode ser configurado pela fábrica lendo parte da forma da onda, forma cortada ou da forma de onda no semiciclo positivo, tendendo a forma de onda quadrada, podendo comprometer a leitura feita pelo pino analógico do Arduíno. Com auxílio do osciloscópio, é possível ver a forma da onda através do trimpot que está no sensor, obtendo a forma mais aproximada da senoide. O sensor de tensão AC está representado na Figura 3.8 abaixo.

Figura 3.8 – Sensor de Tensão AC



Fonte: <https://www.autocorerobotica.com.br/modulo-sensor-de-tensao-ac-zmpt101b>

#### Especificações do sensor de tensão AC

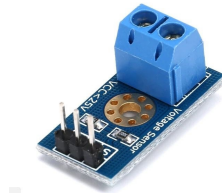
- Transformador: ZMPT101B
- Tipo de sensor: detector de tensão / voltímetro

- Tensão de alimentação do módulo: 5 a 30VDC
- Tensão de entrada: 0 a 250VAC
- Corrente de entrada nominal: 2mA
- Corrente de saída nominal: 2mA
- Proporção: 1000:1000
- Faixa linear: 0-1000V
- Linearidade: 0,2%
- Precisão de leitura:  $\pm 1\%$
- Temperatura de operação:  $-40^{\circ}$  a  $70^{\circ}$  celsius
- Trimpot para ajuste da sensibilidade

### 3.2.5 Sensor de tensão DC

O sensor de tensão DC tem como principal função fazer medição de tensões contínuas (VDC) na faixa de 0V a 25V. Funciona a partir de divisões de tensões, na entrada do módulo pode ser conectada uma tensão até cinco vezes maior que o VCC (Tensão de Corrente Contínua) da porta analógica. No Arduíno pode ser conectada até 25V( $5V*5$ ) e para entrada de 3,3V será suportado até 16,5V ( $3.3V*5$ ). A resolução do ADC (Conversor Analógico Digital) do Arduíno é de 10 bits, portanto, a resolução do sensor de tensão será de 0,00489V ( $5V / 1023$ ). Logo, a tensão mínima na entrada para que o sensor possa realizar a leitura é de 0,02445V. O sensor de tensão DC está representado na Figura 3.9 abaixo.

Figura 3.9 – Sensor de Tensão DC



Fonte: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1093010616-sensor-detector-de-tenso-dc-0-a-25v-arduino-nodemcu-esp8266-jM>

#### Especificações do sensor de tensão DC

- Tensão de entrada: 0 a 25V
- Faixa de detecção: 0,02445 - 25VDC
- Resolução analógica: 0,00489VDC
- Valor dos resistores:  $30k\Omega$  e  $7,5k\Omega$
- Proporção de divisão: 5:1
- Tolerância do resistor: 1
- Dimensões: 13mm(L) X 12mm(A) X 26mm(C)
- 2g

### 3.2.6 Sensor de corrente

O sensor de corrente (AC e DC) ACS712 tem capacidade para ler a corrente AC e DC de um sistema, representado pela Figura 3.10. Esse sensor também utiliza a leitura do efeito Hall que detecta o campo magnético que é gerado pela passagem de corrente

e no pino de saída, onde é identificado uma tensão proporcional a da entrada. Sendo os terminais isolados da saída do microcontrolador, o sensor é utilizado para a detecção da corrente AC, DC e medição dos valores, em ampére. Sendo possível, através desse sensor, monitorar o consumo de um equipamento elétrico, seguindo as especificações do sensor.

Figura 3.10 – Sensor de Corrente



Fonte: <https://www.masterwalkershop.com.br/sensor-de-corrente-ac-e-dc-ac712-30a>

Especificações do sensor de corrente

- Controlador: ACS712-30A
- Tensão de operação: 5VDC
- Faixa de medição: -30A a +30A
- Tempo de resposta:  $5\mu s$
- Saída analógica proporcional:  $66mV/A$
- Largura de banda: 80KHz

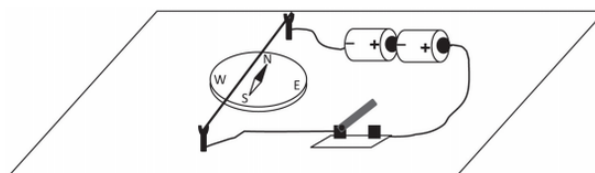
### 3.3 Esboço teórico sobre os experimentos

Nesta seção serão abordados os conteúdos teóricos específicos de cada experimento feito visando implementar os materiais teóricos a serem utilizados em sala de aula que terão uma relação direta com protótipos didáticos em eletromagnetismo. Os experimentos abordados são os seguintes: experimento de Oersted, motor simples, funcionamento de um gerador elétrico, eletroímã e uma míni-bobina de Tesla.

#### 3.3.1 Experimento de Oersted

Hans C. Oersted (1777–1851) provou através de um experimento que cargas elétricas em movimento em um circuito fechado podem gerar um campo magnético (Figura 3.11). Este é um dos principais experimentos que deu origem ao eletromagnetismo, antes desse fenômeno a eletricidade não apresentava relação ao magnetismo para a ciência (TIPLER; MOSCA, 2021).

Figura 3.11 – Experimento de Oersted

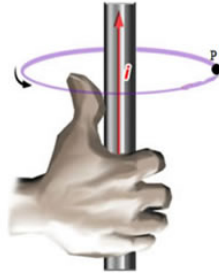


Fonte: <https://rachacuca.com.br/educacao/vestibular/fatec/2012-2-semester/prova/fisica/>

Para esse experimento foi feito um protótipo para apresentar o fenômeno eletromagnético, por meio da agulha da bússola pode-se perceber a presença de um campo magnético quando o circuito está sendo carregado ou energizado. Uma característica do campo magnético gerado no fio condutor é a presença de linhas de forças, que são circulares, dessa forma podemos colocar a bússola em diferentes pontos da extremidade do campo e o norte estará voltando sempre para a direção tangencial das linhas do campo.

Nesse contexto entra a aplicação da regra da mão direita para identificar a direção do campo magnético e das linhas de forças geradas. Deve-se apontar o dedo polegar na direção do condutor, para onde a corrente elétrica estiver correndo, e em seguida fechamos a mão. A direção e o sentido em que os dedos se fecham apontam a direção e o sentido do campo magnético. Na Figura 3.12 temos a representação de um fio condutor e a direção da corrente  $\mathbf{i}$  que passa no fio, o sentido da corrente está na direção do dedo polegar, fechando a mão obtemos a direção do campo magnético.

Figura 3.12 – Regra da mão direita



Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/a-regra-mao-direita.htm>

Hans Christian Oersted limitou-se somente aos resultados qualitativos do fenômeno, após a apresentação desse projeto outros cientistas foram incentivados a pesquisar sobre o assunto, dois físicos se destacaram por apresentar o fenômeno de forma matemática, descrevendo o comportamento do campo magnético no circuito, conhecida como lei de Biot-Savart, desenvolvida por Jean-Baptiste Biot e Félix Savart.

A intensidade do campo magnético  $d\mathbf{B}$  é gerada pelo elemento diferencial  $I d\mathbf{l}$ , que corresponde a corrente no circuito e o comprimento do fio condutor. O campo possui direção e sentidos fornecidos pelo produto vetorial de  $I d\mathbf{l}$  por  $\mathbf{a}$ , variando inversamente com o quadrado da distância e sendo independente do meio circunvizinho.  $\mu_0$  é a permeabilidade magnética no meio.

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{\ell} \times \mathbf{a}_{\hat{r}}}{r^2} (A/m) \quad (3.1)$$

Sendo  $I d\mathbf{l}$  o elemento de corrente para o ponto onde  $d\mathbf{B}$  deve ser calculado. Elementos de corrente não têm existência isolada, conforme a Equação (3.1). Todos os elementos que formam o filamento de corrente final contribuem para  $\mathbf{B}$  e devem ser considerados. A soma leva à forma integral da lei de Biot-Savart( Equação (3.2)):

$$\mathbf{B} = \oint \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{\ell} \times \mathbf{a}_{\hat{r}}}{r^2} (A/m) \quad (3.2)$$

Com o auxílio do Arduíno e outros sensores, algumas das grandezas físicas presentes no fenômeno foram detectadas e medidas. Para esse projeto foi utilizado o sensor de detecção do campo magnético e o sensor para medir os valores gerados no fio condutor, também foram medidos a tensão e a corrente no circuito. Como saída foi utilizado o LCD para mostrar a existência de campo eletromagnético e mostrar os valores do campo eletromagnético, da corrente e da tensão, também foi utilizado a IDE do Arduíno Uno para imprimir os resultados quantitativos e qualitativos dos experimentos.

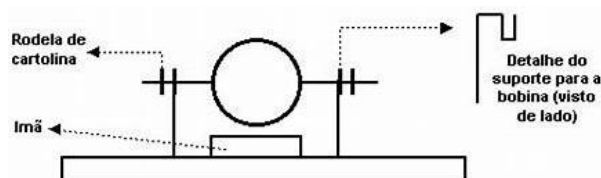
### 3.3.2 Motor elétrico simples

Esse experimento tem como objetivo detalhar os aspectos construtivos e funcionais de um motor elétrico, facilitando que a estrutura básica do motor seja visualizada detalhadamente em seu funcionamento, pois os componentes internos não são facilmente visíveis em motores mais complexos. O experimento trata-se de um motor simples que representa a estrutura e o funcionamento de um motor mais complexo. O motor elétrico simples tem como finalidade a transformação da energia elétrica em energia mecânica. O primeiro a construir esse experimento foi Michel Faraday, em 1813, que introduzia um magneto em uma bobina de fio de cobre, o que induziu o movimento da bobina, conforme a energia passava pelo circuito.

Os motores elétricos podem ser do tipo monofásico ou polifásico. O motor monofásico trabalha com uma fase, enquanto o polifásico trabalha com várias fases. Geralmente existem três tipos básicos de motores elétricos: motor comutador que possui um núcleo de ferro laminado formando um campo eletromagnético, geralmente usados nos aparelhos eletrodomésticos; motores de indução de construção mais simples, possuem potência fracionada; motores síncronos que possuem bobinas fixas e campo magnético rotativo, precisando ser dotados de um mecanismo externo de partida (MATTEDE, 2006).

O experimento consiste no motor simples de corrente contínua, o qual possui o mesmo funcionamento de aparelhos eletrodomésticos, a corrente aplicada provoca o giro de uma bobina. A bobina ao ser percorrida por uma corrente elétrica gera um campo eletromagnético, esse campo eletromagnético reage ao ímã na base, fazendo com que a bobina ganhe movimento devido à interação eletromagnética com o campo magnético do ímã. Para o experimento, a energia elétrica será transformada em energia mecânica, fazendo com que a bobina gire, representado pelo esquemático do experimento na Figura 3.13.

Figura 3.13 – Motor simples



Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20012/Ederson/experiencias/motor.html>

Os motores elétricos possuem grande importância para a vida moderna, pois muitos eletrodomésticos como ventiladores, batedeira, liquidificador, entre outros possuem o princípio de um motor elétrico. Uma conclusão certa do experimento é que todo motor elétrico emite campo eletromagnético. O princípio fundamental de um motor eletromagnético é baseado na força mecânica de todo fio em que está conduzindo corrente elétrica imersa em um campo magnético. Em um motor giratório, existe o rotor, elemento que gira em torno do seu próprio eixo e, portanto, produz o movimento rotacional. O rotor gira devido ao campo eletromagnético. Para esse experimento, se mede a corrente no circuito e a tensão aplicada, o campo magnético gerado pela eletricidade no fio condutor, e o campo gerado pelo ímã de neodímio.

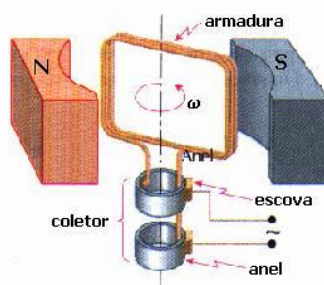
### 3.3.3 Geradores elétricos

O objetivo desse experimento é mostrar o funcionamento de um gerador eletromagnético, e como ocorre a conversão da energia mecânica em energia elétrica. Por conta do movimento o fluxo através das espiras variam ocasionando uma corrente induzida, em seguida uma corrente alternada, tendo um valor variável e seu sentido periodicamente. Para que a corrente siga sempre no mesmo sentido, os anéis foram substituídos por um anel dividido em duas partes, chamado comutador. Dessa forma, foi obtido uma corrente pulsante que tem sempre o mesmo sentido.

John W. Ecklin em 1974 patenteou um motor gerador magnético e elétrico, a energia de saída era maior que a fonte elétrica de alimentação que fazia o motor funcionar. Fazendo com que a energia que alimenta o motor fosse provida da própria máquina. Foram projetados inicialmente dois tipos diferentes de operações; os dois continham molas e um motor elétrico que variam o campo magnético e são responsável por bloquear os efeitos de atração entre os ímãs. Em 1997, Robert George Adans fez um motor magnético que ficou conhecido como motor Adans. Anos depois Howard Johnson criou um motor magnético, com uma série de ímãs permanentes dispostos no estator e outros com diferentes espaçamentos dispostos no rotor, o experimento foi bem-sucedido. Para o funcionamento desse motor era necessário girar o estator para uma determinada posição e logo o rotor dava início ao seu movimento rotativo. Infelizmente sua invenção foi vandalizada por ladrões, que roubaram os ímãs do experimento. Anos mais tarde, em 2010 o chinês Shen He Wang fez o motor magnético com capacidade de 5 Kw que conseguiu gerar energia elétrica, o projeto seria levado para exposição em Shanghai. Infelizmente o governo impediu a apresentação do potencial do equipamento, foi repassando apenas uma visão reduzida do aparelho, considerando a inviabilidade da utilização do equipamento para produção em grande escala. Atualmente o motor magnético é muito utilizado para a produção de energia elétrica, uma das principais fonte de geração de energia. Nesse sentido será abordado o funcionamento do motor e as fórmulas matemáticas que regem o fenômeno.

Para que um gerador tenha corrente contínua deve o mesmo ter um grande número de espiras, as quais vão girar com uma velocidade angular constante, entretanto cada espira gira em ângulos diferentes. O comutador é dividido em um número maior de partes, com isso, a corrente gerada em cada espira vária fazendo com que a corrente resultante seja praticamente constante.

Figura 3.14 – Gerador magnético



Fonte: <http://dodourado.blogspot.com/2013/05/alternador-e-dinamo.html>

O projeto experimental trata-se de um dínamo, ou seja, um dispositivo que transforma a energia mecânica em energia elétrica, podendo ser dínamo com corrente contínua ou dínamo com corrente alternada. Logo, o dínamo de corrente contínua fornece

corrente contínua que circula em um único sentido e o dínamo de corrente alternada (conhecido como alternador) gera uma corrente alternada que circula de um sentido para outro, alternadamente.

O funcionamento do dínamo consiste na indução eletromagnética, sendo o gerador a mais importante aplicação desse fenômeno, podendo esse gerar grande quantidade de energia, exemplo disso, o fornecimento de energia para iluminar cidades e indústrias. A diferença principal está em como a corrente é coletada para fora do quadro, que é feito por um dispositivo chamado coletor.

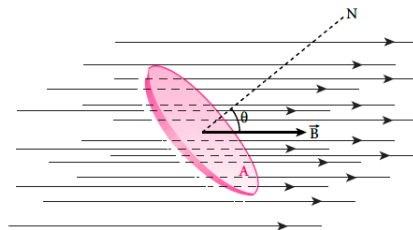
Em vez de dois anéis ele se compõe de dois semi-anéis. Cada semi-anel é ligado a uma ponta do quadro girando com o quadro. Os pedaços de carvão são fixos, ligados ao circuito externo. Quando os semi-anéis giram eles ficam apertados contra os pedaços de carvão (Figura 3.14). Em cada meio período, um semi-anel está em contato com um pedaço de carvão diferente. A posição dos carvões é ajustada de tal modo que, no instante em que a corrente muda de sentido no quadro, há troca de contato entre os carvões e os semi-anéis. Desse modo, fora do quadro, a corrente segue sempre no mesmo sentido, isto é, é contínua.

Um dos conceitos mais importante sobre o experimento é a definição de energia, em termos gerais, é a capacidade que um corpo tem de realizar trabalho, uma das características da energia é que ela sempre se conserva, ela não surge e nem some. Sendo sempre passível de transformações, ou seja, a energia muda de forma, podendo ser apresentar como energia elétrica, mecânica, térmica, química e nuclear.

A energia elétrica se tornou muito importante para a vida humana, a diferença de potencial elétrico entre dois pontos permite o estabelecimento de uma corrente elétrica entre ambos.

Para se entender como a energia é gerada, é necessário entender primeiro o conceito de fluxo magnético. Para isso Foi utilizado a imagem a abaixo para exemplificar.

Figura 3.15 – Fluxo magnético



Fonte: <https://www.imagnetshop.com/pt/aplicacoes-de-imas/o-que-e-fluxo-magnetico-e-a-densidade-do-fluxo-magnetico-b45.html>

Na Figura 3.15 as linhas de campo magnético (**B**) são representados nas linhas horizontais, o vetor em linha tracejada é a normal (**N**), que sai da superfície circular. Sendo  $\theta$  o ângulo formado entre as linhas de campo e o vetor normal.

Para calcular o fluxo magnético através de uma área **A** basta usar a Equação (3.3):

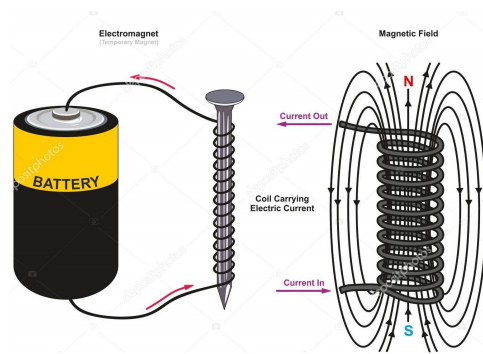
$$\phi_B = \int_S B dA \quad (3.3)$$

Para esse experimento foi utilizado, junto à placa de Arduíno, os sensores para medir a corrente gerada pelo motor e a tensão no sistema. Foi utilizado um LED para ligar quando o gerador tiver em funcionamento.

### 3.3.4 Eletroímã

É um dispositivo cujo centro é formado por um núcleo de ferro que é envolvido por uma bobina (Figura 3.16). Quando a bobina é energizada é criado um campo magnético, fazendo com que os ímãs elementares do ferro se orientem, o ferro fica no estado imantado, logo possuindo atração com outros materiais ferromagnéticos. Quando o fio é submetido a uma tensão, ele também é percorrido por uma corrente elétrica, fazendo com que surja um campo magnético na área, na espira através da lei de Biot-Savart. A intensidade do campo magnético gerado pelo eletroímã dependerá da intensidade da corrente elétrica aplicada e o número de voltas da espira. Os eletroímãs são muito utilizados em motores, campainhas, nos telefones, na indústria de construção naval e nos guindastes eletromagnéticos.

Figura 3.16 – Eletroímã

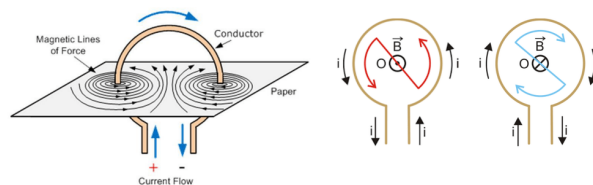


Fonte: <https://agrupaiao.pt/2017/02/22/levitacao/>

Motores elétricos, transformadores, eletroímãs e outros equipamentos eletrônicos são exemplos de materiais que utilizam uma bobina de fio enrolado, que será responsável por gerar um campo magnético para um determinado propósito. Para entender melhor como funciona uma bobina é necessário entender como funciona o campo eletromagnético em uma única espira, considerando o raio  $R$  da espira circular de centro  $O$ , em torno do condutor será gerado um campo eletromagnético.

Na Figura 3.17 é representado o comportamento da corrente elétrica e do campo eletromagnético através do fio condutor.

Figura 3.17 – Campo magnético em uma espira circular



Fonte: <https://studylibpt.com/doc/1807342/fluxo>

Pode-se notar o comportamento do vetor indução magnética no centro da espira, o qual possui as seguintes características: Para apenas uma espira, a intensidade do vetor indução magnética no centro do círculo depende da intensidade da corrente elétrica que flui no sistema e do raio da espira e do meio onde o sistema se encontra. A Equação (3.4) matemática que representa a intensidade do campo magnético no centro da espira é:

$$B = \frac{\mu_0 i}{2R} \quad (3.4)$$

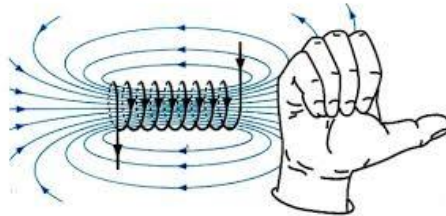
Caso sejam enroladas várias espiras em torno da mesma circunferência de raio  $\mathbf{R}$ , como na bobina no experimento do eletroímã, nesse caso a expressão será:

$$B = \frac{n\mu_0 i}{2R} \quad (3.5)$$

Para a Equação (3.5)  $\mathbf{B}$  representa a intensidade do campo magnético medido em Tesla,  $\mu$  é a permeabilidade magnética do meio,  $\mathbf{n}$  é o número de voltas da espira em volta do mesmo círculo,  $\mathbf{i}$  é a intensidade do corrente elétrica no circuito e  $\mathbf{R}$  é o raio da espira.

Quando a corrente elétrica percorre o solenoide, o resultado obtido na configuração de várias espiras depende da configuração das linhas de indução obtidas por cada espira, com o sistema submetido a uma tensão elétrica, o que equivale à configuração de indução de um ímã natural. O sentido das linhas do campo magnético no interior do solenoide podem ser verificados pela regra da mão direita (Figura 3.18) aplicada em uma de suas espiras, no interior do solenoide o campo magnético é praticamente uniforme e ao redor as linhas de indução saem do polo norte e entram no polo sul. Usando um material ferromagnético no interior do solenoide, as linhas de indução junto os ímãs naturais ficam ordenados pela intervenção do sistema eletromagnético gerado pelas espiras, fazendo com que o campo magnético resultante do eletroímã seja mais forte e mais eficiente para diversos propósitos.

Figura 3.18 – Sentido das linhas de indução no interior e exterior do solenoide



Fonte: <https://soanvan.net/lop-9/giai-vat-li-9-bai-30-bai-tap-van-dung-quy-tac-nam-tay-phai-va-quy-tac-ban-tay-trai.html>

Para esse experimento foi utilizada a placa de Arduíno Uno como nos outros experimentos. Para medir o campo magnético do eletroímã foi utilizado o sensor de medição do campo e o sensor para detectar a presença das linhas de indução magnética, também foi utilizado o sensor de tensão e corrente.

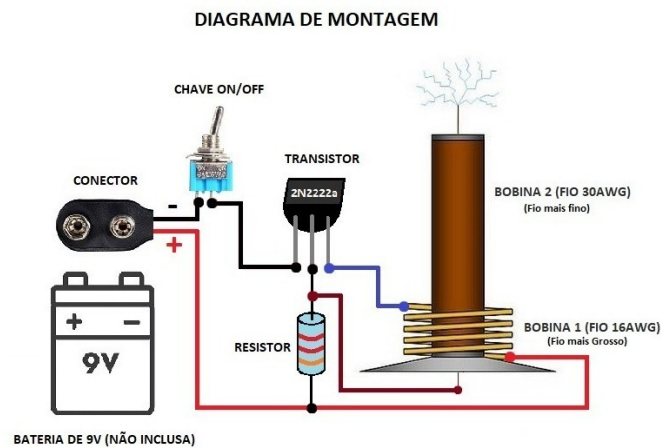
### 3.3.5 Mini bobina de Tesla

Inventor do experimento foi o ilustre Nikola Tesla (1856-1943) por volta de 1892. O objetivo de Tesla era enviar abundante corrente elétrica pelo ar, sem auxílio de fios condutores, sem perdas significativas da qualidade da energia ocasionada pelo efeito Joule. “A bobina de Tesla funciona como um transformador ressonante que produz altas voltagens a partir de correntes elétricas alternadas de altas frequências” Museu Interativo da Física (2020). O experimento consegue gerar altas tensões a partir de baixas correntes elétricas, possuindo alta frequência de corrente alternada. Tesla construiu um dispositivo, que possuía um conjunto de transformadores, capacitores e bobinas associadas, capaz de elevar uma tensão de 110 volts a uma tensão de 110.000 volts.

Para o experimento foi desenvolvida uma versão menor da bobina de Tesla, o objetivo é acender uma lâmpada fluorescente, devido aos enrolamentos de cobre na mini bobina de tesla é gerado um campo eletromagnético em volta de si, fazendo com que os elétrons sejam transferidos para a lâmpada fluorescente, que possui uma atmosfera de baixa pressão, em que existe vapor de mercúrio, material condutor, os elétrons livres no interior da lâmpada são estimulados e entram em movimento quando aproximado de um campo eletromagnético. No movimento desses elétrons, eles se chocam com a parede da lâmpada sendo assim absorvida pela camada de fósforo que forram a parede da lâmpada e o fósforo após absorver esses elétrons libera fóton, ou seja, energia em forma de luz.

Na Figura 3.19 é representado o esquemático para a montagem do experimento da mini bobina de Tesla e seus principais componentes eletrônicos.

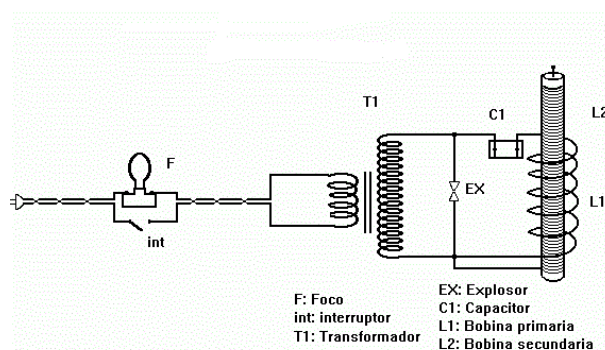
Figura 3.19 – Mini Bobina de Tesla



Fonte: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-926273449-kit-tesla-2n2222a-chave-resistor-conc9v-e-fios-de-cobre-JM>

O tamanho da centelha gerada pela bobina de Tesla é medida multiplicando a força aplicada em watts por um fator de 0,68, dessa forma é desvendado o tamanho da centelha conforme a potência usada na entrada, sendo assim uma força de alimentação de 1 kw pode gerar uma centelha de até 1,4 metros de comprimento.

Figura 3.20 – Diagrama esquemático da bobina de Tesla



Fonte: <https://www.sabereletrica.com.br/bobina-de-tesla-como-fazer/>

Para esse projeto foi utilizado um transformador de energia, capacitores primários de alta capacitância, um centelhador, uma bobina primária de baixa indutância, uma bobina secundária de baixa capacitância como mostrado na Figura 3.20 acima.

Para o experimento cada bobina funciona como um indutor, e para saber o valor obtido foi necessário calcular a indutância, Uma bobina possui o formato helicoidal, pode-se calcular a indutância pela fórmula

$$\frac{L}{l} = \mu n^2 A \quad (3.6)$$

$L$  representa a altura da bobina,  $n$  o número de espiras por comprimento,  $\mu$  é a permeabilidade magnética,  $A$  é a área da secção transversal da bobina (Fórmula 3.7).

O capacitor primário é utilizado para o armazenamento de energia que vem do transformador sendo transferida para o enrolamento primário do faiscador (trata-se de uma interrupção do circuito onde se tem dois metais condutores distanciados, quando o capacitor é energizado por completo rompe o dielétrico do ar entre os mesmo e a bobina primária). Pode-se calcular a capacitância utilizando a Fórmula 3.7, em que  $\epsilon$  representa a constante dielétrica do meio,  $A$  a área das placa e  $d$  a distância entre as placas.

$$C = \frac{\epsilon A}{d} \quad (3.7)$$

Para o experimento foi utilizado sensores de corrente e tensão elétrica para medirem os valores nos terminais do experimento. Podendo ser medido os valores no enrolamento 1 e no enrolamento 2.

### 3.4 Instrumentos de medição

Foram utilizadas ferramentas para detectar e medir o valor com precisão da tensão e da corrente nos circuitos, de valores em situações contínuas e alternadas.

#### 3.4.1 Multímetro digital

Na Figura 3.21 trata-se de um multímetro digital, usado para medir a corrente e a tensão dos protótipos experimentais.

Figura 3.21 – Multímetro digital



### 3.4.2 Multímetro analógico

Na Figura 3.22 trata-se de um multímetro analógico, usado para medir a corrente e a tensão dos protótipos experimentais. Foram utilizados os dois multímetros para os testes e para a emissão dos resultados.

Figura 3.22 – Multímetro analógico



Fonte: [https://sitroneleetro.com.br/index.php?route=product/productproduct\\_id=617](https://sitroneleetro.com.br/index.php?route=product/productproduct_id=617)

### 3.5 Outros materiais

- Protoboard
- Jumpers macho e fêmea
- Potenciômetro 10kW
- LCD 16x2
- LEDs
- Resistor 150Ω
- Base de madeira
- Pregos
- Parafusos
- Fio de cobre encapado
- Fio de cobre desencapado
- Ímãs de neodímio
- Motores Dc
- Engrenagens
- Transformador
- Transistor 2N2222a
- Bússola
- Fonte de alimentação de 12 Volt
- Chave On/Off
- Conectores boca de jacaré

## 4 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados e descritos protótipos didáticos que foram desenvolvidos para reproduzir experimentos que visam auxiliar no ensino da disciplina de Teoria Eletromagnética. Os experimentos que podem ser reproduzidos pelos protótipos são: experimento de Oersted, motor simples, gerador eletromagnético, eletroímãs e mini bobina de Tesla. A implementação desses experimentos será descrita de forma detalhada, serão também mostradas as ligações entre os componentes na protoboard, bem como os materiais utilizados para montagem dos protótipos experimentais.

A eficiência de um experimento recai, entre outras coisas, na qualidade de aquisição das grandezas físicas de interesse. Por isso, é de grande importância selecionar sensores apropriados para este fim. Neste capítulo, serão descritos os sensores utilizados e os testes realizados nos mesmos visando analisar a eficiência na aquisição das grandezas físicas de interesse.

Outro fator muito importante em um protótipo didático é a qualidade na apresentação das leituras das grandezas físicas. A forma mais simples, mas que garante a confiança nos resultados de leitura, é a utilização de instrumentos de medição. Neste trabalho foi utilizado o multímetro para medição de tensão e corrente. Porém, disponibilizam-se também outras formas de visualização dos resultados para que os alunos tenham uma qualidade maior no ensino-aprendizagem. Os valores de leituras das grandezas físicas obtidas em cada experimento são fornecidos também em tela de cristal líquido (LCD – Liquid Crystal Display). Esta funcionalidade foi desenvolvida através da integração da placa de prototipagem eletrônica de código aberto, Arduino Uno, nos protótipos. O multímetro é utilizado para certificar que os resultados lidos de corrente e tensão estão corretos.

Além disso, será apresentada a análise dos resultados de leituras das grandezas físicas presentes em cada experimento mediante gráficos e valores apresentados pelos sensores via ambiente de desenvolvimento integrado (IDE – Integrated Development Environment) do Arduino.

Este capítulo é composto por duas seções. Na seção 4.1 são apresentados os sensores e os resultados de testes com os mesmos para análise de seu desempenho em prover informações importantes nos experimentos. É mostrado de forma sucinta como cada sensor funciona e como foram usados nos experimentos para gerar resultados satisfatórios. É exibida a montagem dos circuitos com auxílio do software Fritzing.

A seção 4.2 trata de forma detalhada acerca dos protótipos e seus experimentos relacionados. São discutidos os resultados obtidos dos experimentos e seu impacto no ensino-aprendizagem da disciplina Teoria Eletromagnética.

### 4.1 Montagem e testes dos sensores

O principal objetivo dos testes desenvolvidos com os sensores foi esclarecer o funcionamento de cada módulo sensor e como ocorre a detecção das informações obtidas por estes. Os testes foram feitos com um ímã de neodímio, apenas para verificar a sensibilidade do sensor ao campo magnético gerado, também aplicou-se os sensores nos kits didáticos para verificar a sensibilidade da leitura do campo magnético gerado pelas bobinas, que são apresentados na seção 4.2 dos resultados. Também, é importante efetuar

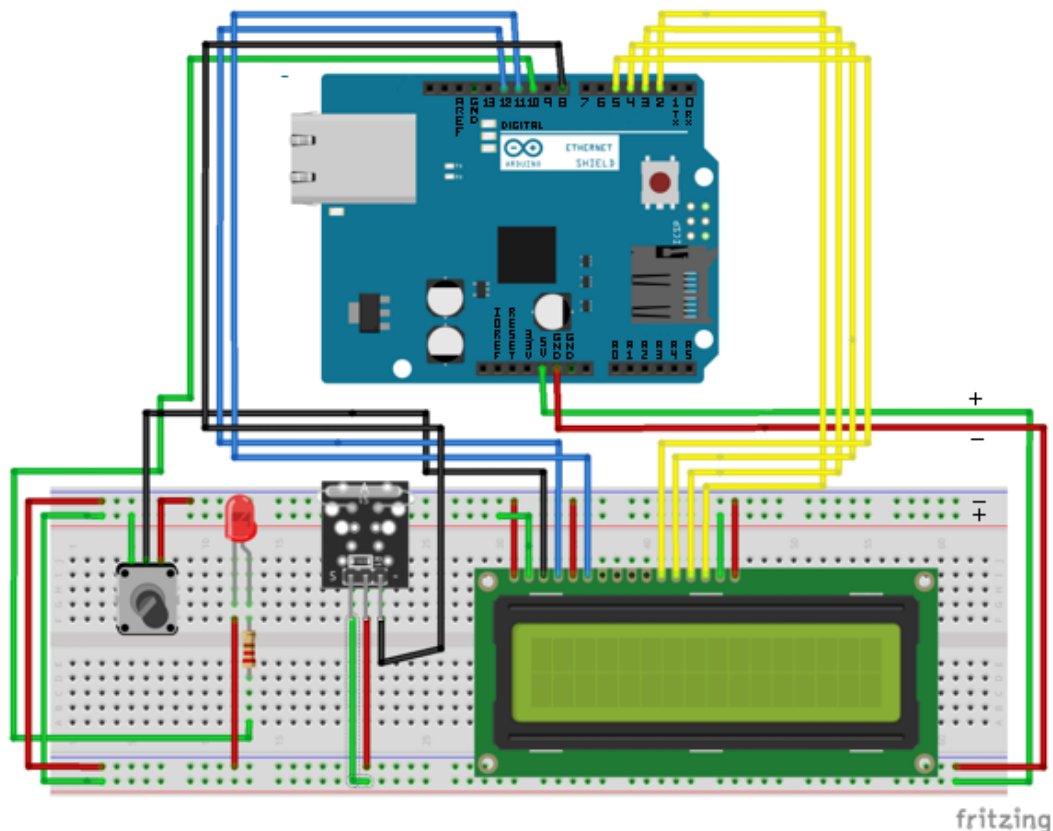
a calibração dos sensores de medições como tensão elétrica e corrente. Nesse caso, foram utilizados os multímetros analógico e digital.

Foram utilizados como componentes principais o módulo reed switch KY 021, o sensor de hall KY 003, o sensor de hall KY024, o sensor de tensão AC, o sensor de tensão DC e o sensor de corrente. Foram obtidos, através de leitura seriais, os resultados dos sensores (KY 021 e o KY003) orientados para a detecção do campo magnético nas seguintes situações: no estado sem o ímã, com o ímã e aproximando e afastando o ímã. Para o sensor KY 024, foram aplicados vários testes com o ímã de neodímio e nas bobinas dos kits didáticos. Além disso, foram feitos testes com o sensor de tensão AC, com o sensor de tensão DC e o sensor de corrente elétrica junto aos equipamentos de medição.

#### 4.1.1 Utilizando o módulo reed switch KY 021

No primeiro teste foi utilizado o módulo reed switch KY 021 e sua montagem como no Circuito 1, representados na Figura 4.1. No código 1, que está no Anexo A deste trabalho com o nome “Utilizando o módulo reed switch KY 021”, nas primeiras linhas, é carregada a biblioteca do display para que os dados sejam visualizados pela tela. Dessa forma, é estabelecida uma pré-configuração para que o LCD funcione normalmente. Para a montagem dos circuitos, foram usados sensores junto com o Arduino Uno utilizando o software Fritzing para organizar os esquemáticos com os jumpers junto aos demais componentes em cada circuito.

Figura 4.1 – Circuito 1 - Módulo reed switch KY 021



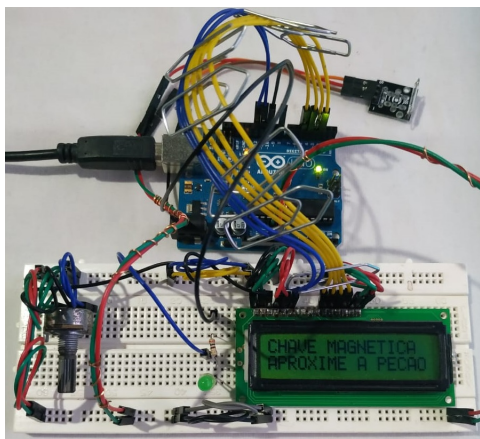
Segundo a Figura 4.1, foi utilizada a porta digital 8 como entrada de dados pelo módulo Reed Switch KY 021. Quando há a detecção do campo eletromagnético, o LED é acionado, caso contrário, o LED permanece apagado. O LCD tem fundamental importância na interação do usuário com o protótipo. Através do LCD, o usuário é informado que houve a detecção do campo eletromagnético. O potenciômetro tem como função apenas controlar o brilho do LCD.

Nesse teste foram utilizados ímãs de neodímios com os sensores, ao aproximar o ímã, o sensor utilizado muda de estado na presença do campo magnético. O sensor é constituído de um bulbo de vidro, que no seu interior possui duas lâminas, com contato especial nas extremidades. O sensor possui também no interior do bulbo um gás inerte que evita a oxidação dos contatos. Inicialmente, possuindo o estado em ‘aberto’, com a aproximação do ímã o sensor reage, fechando as lâminas e detectando a presença do campo magnético gerado pelo ímã. O LED então é programado para ser acionado a partir da porta digital 10 e isso é estabelecido no código, assim como o sensor é ativado na porta digital 8. A partir disso, o sensor é definido como pino digital de entrada de informações e o LED de saída, para ser acionado a partir da detecção do campo eletromagnético pelo sensor. O estado inicial do LED é apagado, assim como o estado inicial do sensor (sem presença de campo magnético). Após as configurações do LCD para apresentação dos dados, pode-se então, nesse instante, estabelecer que o LCD informe o estado do sensor. Caso haja a presença do campo magnético o sensor irá identificar e a informação será apresentada no LCD e o LED acenderá. Caso não haja a identificação da presença do campo eletromagnético, o sensor permanecerá no estado inicial e será apresentado no LCD que não há campo eletromagnético detectado, solicitando também para que haja a aproximação de um material que possui propriedades magnéticas.

Considerando a descrição da montagem do circuito para a detecção do campo magnético e da leitura feita pelo sensor, conforme o código escrito na IDE do Arduino Uno feito pelo autor, foi iniciado o teste com o sensor e um ímã de neodímio, nas seguintes situações: no estado sem o ímã, com o ímã e aproximando e afastando o ímã. Dessa forma, foram obtidos os gráficos que representam a variação analógica lida pelo sensor, que são indicados pelos 1024 níveis de amplitudes no eixo y, representando a variação de tensão de 0V a 5V lida conforme a leitura do sensor, o eixo x representa a velocidade com que o gráfico é gerado em bits/s.

A Figura 4.2 representa o momento em que o sensor aguarda pela presença de um campo magnético. Isso pode ser visualizado através do LCD, o LED de acionamento da presença de um campo permanece apagado até que haja a aproximação do ímã;

Figura 4.2 – O sensor aguarda a presença do ímã

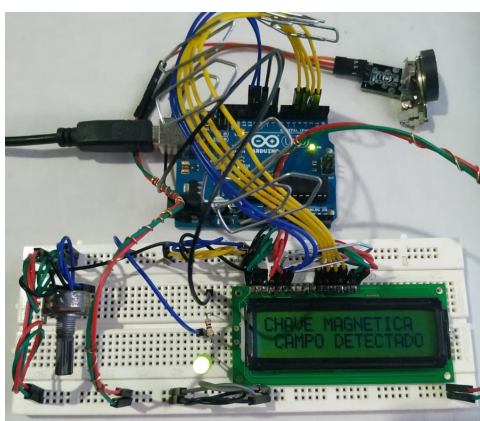


Fonte: Foto Projeto

Na Figura 4.3 podemos verificar que houve a aproximação do ímã, nesse momento o sensor identifica o campo magnético gerado pelo ímã de neodímio. Logo, o LED acende e o LCD informa que houve a detecção do campo magnético lido pelo sensor.

O teste com os sensores foi de nível qualitativo, limitando somente o uso do ímã de neodímio, pois o campo magnético gerado pelo ímã é maior que um campo eletromagnético gerado nos demais experimentos. Nesse caso, foram utilizados artifícios programáveis para a detecção do campo eletromagnético. Por ter menor variação na leitura do sensor, foi delimitada uma leitura na variação desse campo alterando o intervalo dos valores analógicos lidos pelo sensor, que será apresentado mais adiante nos demais experimentos.

Figura 4.3 – O sensor identifica a presença do ímã



Fonte: Foto Projeto

Foi utilizado o código 7, que está no anexo A, para se obter os resultados e a demonstração dos gráficos gerados pela IDE do Arduino. Dessa forma, foram obtidos os gráficos que representam a variação analógica lida pelo sensor, que são representadas pelos 1024 níveis de amplitudes, que no eixo y representa a variação de tensão de 0V a 5V lida conforme a leitura do sensor, o eixo x representa a velocidade com que o gráfico é gerado em bits/s.

Figura 4.4 – KY 021 - Na ausência do ímã

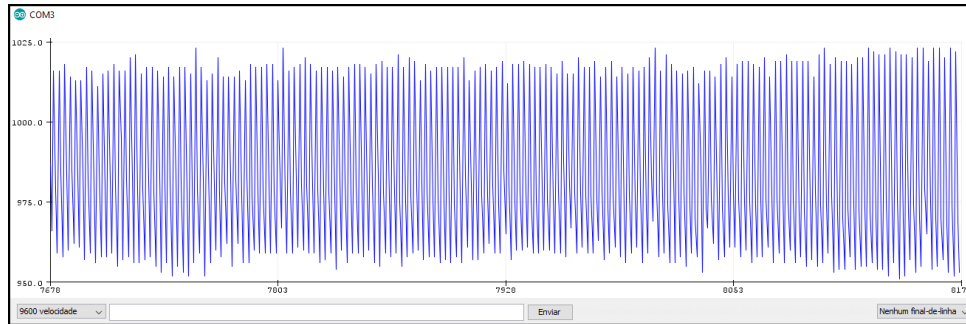


Figura 4.5 – KY 021 - Mantendo-se o ímã

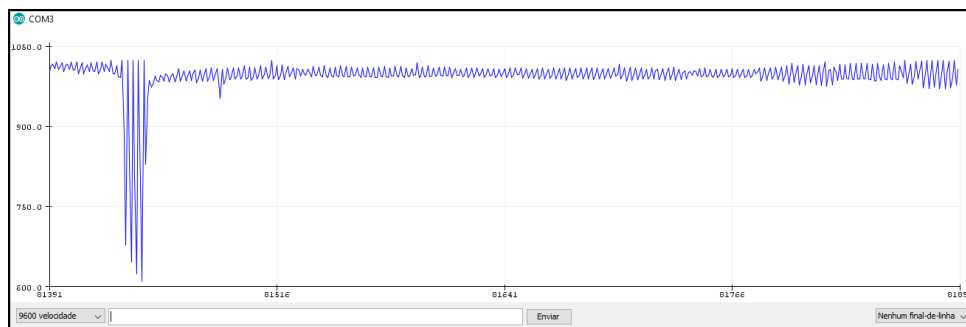
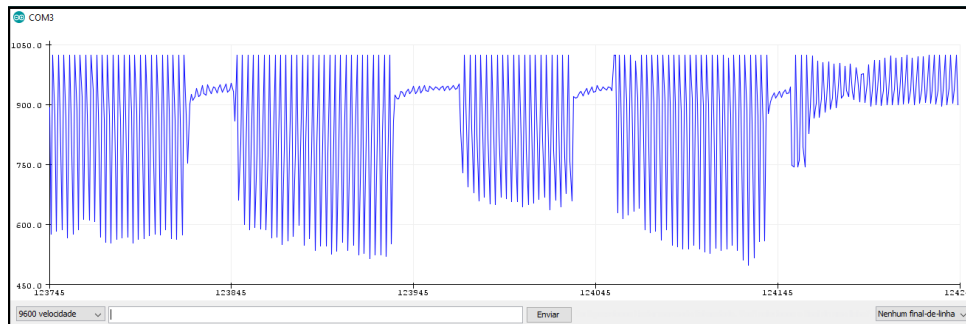


Figura 4.6 – KY 021 - Aproximando e afastando o ímã



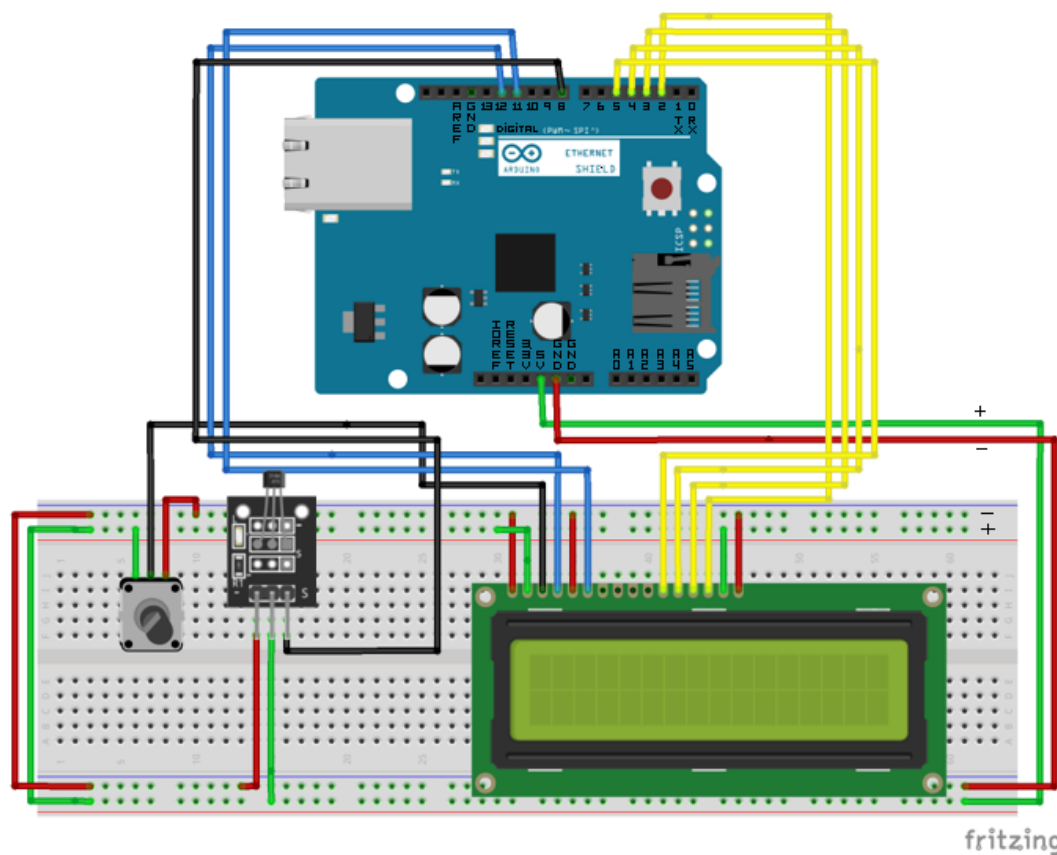
Fonte: Plotado pelo IDE do Arduino

Através dos gráficos pode-se concluir que o sensor sofre uma variação conforme o ímã se aproxima, se afasta ou se mantém, e que essa mudança de estado do sensor tem certa sensibilidade que é característica do sensor KY 021 que foi utilizado para a detecção de um campo eletromagnético em um fio condutor. Na Figura 4.4, o sensor se encontra em estado de espera, lendo apenas ruídos e informações distorcidas. Mantendo-se o ímã parado próximo ao sensor de leitura, na Figura 4.5 é percebido um direcionamento do sinal analógico lido pelo sensor. Esse sinal condiz com a variação de tensão obtida com a sensibilidade do sensor ao campo magnético. Por último, foram feitos os testes em movimentos de aproximação e afastamento do ímã de forma aleatória, gerando assim o gráfico exibido na Figura 4.6, que demonstra os momentos de leitura do campo e os momentos de distorções.

#### 4.1.2 Utilizando o sensor de Hall KY 003

Foram utilizados o sensor de hall e outros componentes para detecção do sinal eletromagnético, representados na Figura 4.7 (Circuito 2). Foi usado o código 2 que está no Anexo A deste trabalho.

Figura 4.7 – Circuito 2 - Sensor de Hall KY 003



Fonte: Software Fritzing - Próprio Autor

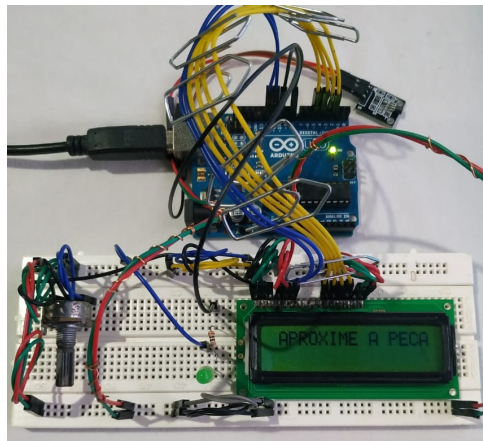
O sensor KY 003 tem como função a detecção do campo eletromagnético, assim como o sensor KY 021 usado anteriormente. Porém, o sensor KY 003 utiliza o efeito hall para a detecção do campo eletromagnético. No circuito, o sensor é ligado na porta digital 8, o qual recebe as informações externas detectadas pelo sensor. Assim como no exemplo anterior, esse sistema informará pelo LCD se houve ou não a detecção do campo eletromagnético.

O sensor de hall KY 003 possui uma tecnologia diferente para detectar o campo magnético comparado ao módulo KY 021. Enquanto o módulo KY 021 é acionado a partir do fechamento de lâminas internas que reagem na presença do campo eletromagnético, o sensor de hall KY 003 identifica o campo magnético a partir do desvio da corrente, gerando uma diferença de potencial com os acúmulos das cargas nas extremidades. Então, pode-se dizer que uma tensão de hall foi gerada e assim o sensor identifica a presença do campo presente. Pelo fato dos sensores possuírem tecnologias diferentes, foram feitos vários testes para verificar a sensibilidade dos sensores e qual deles responde mais rápido às modificações do estado do campo magnético. Estes testes serão apresentados posteriormente em forma de gráficos plotados pela IDE do Arduino Uno.

A partir do código 2, que está no anexo A deste trabalho, com o nome “Sensor de Hall de Campo Magnético KY-003”, é carregada a biblioteca do LCD para que os dados sejam mostrados depois pela tela. Dessa forma, é estabelecida uma pré-configuração para que o LCD funcione normalmente. O sensor é ativado na porta digital 8, e é definido como pino digital de entrada de informações. Após as configurações do LCD para apresentação dos dados, é estabelecido que o display informe o estado do sensor. Caso haja a presença do campo magnético, o sensor irá identificá-la e a informação será apresentada no LCD. Caso não haja a identificação de campo, o sensor permanecerá no estado inicial e será informado no LCD que não há campo magnético detectado, solicitando também que haja a aproximação de um material que possui propriedades eletromagnéticas. O código é similar ao do circuito 1.

Na Figura 4.8 pode-se verificar que o sensor aguarda a presença de um campo magnético.

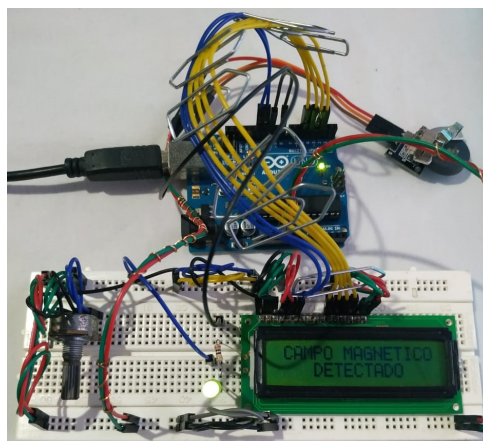
Figura 4.8 – O sensor aguarda a presença do ímã



Fonte: Foto Projeto

Na Figura 4.9 pode-se verificar que houve a aproximação do ímã de neodímio, logo, o sensor identifica a presença do campo magnético. Com isso, o LCD mostra que houve a detecção do campo magnético lido pelo sensor.

Figura 4.9 – O sensor identifica a presença do campo



Fonte: Foto Projeto

Com a utilização do mesmo código (código 7) usado anteriormente com o módulo KY 021, para a leitura serial obtida pelo sensor através do pino analógico A0, foi possível obter os gráficos exibidos nas figuras 4.10, 4.11 e 4.12.

Figura 4.10 – KY 003 - Na ausência do ímã

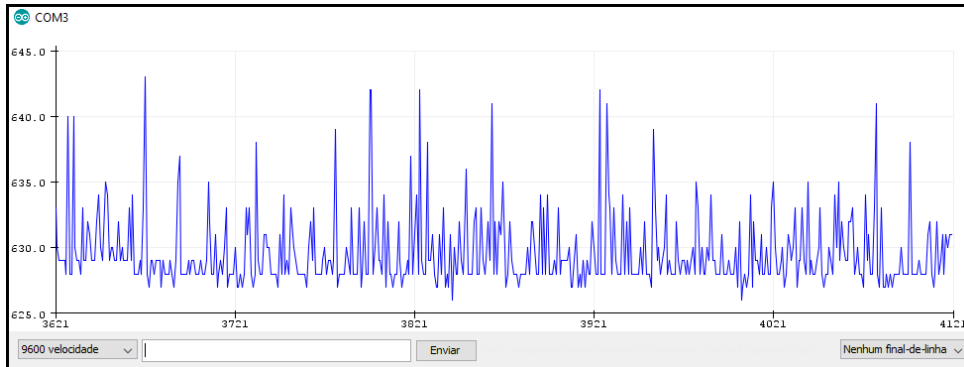


Figura 4.11 – KY 003 - Afastando o ímã

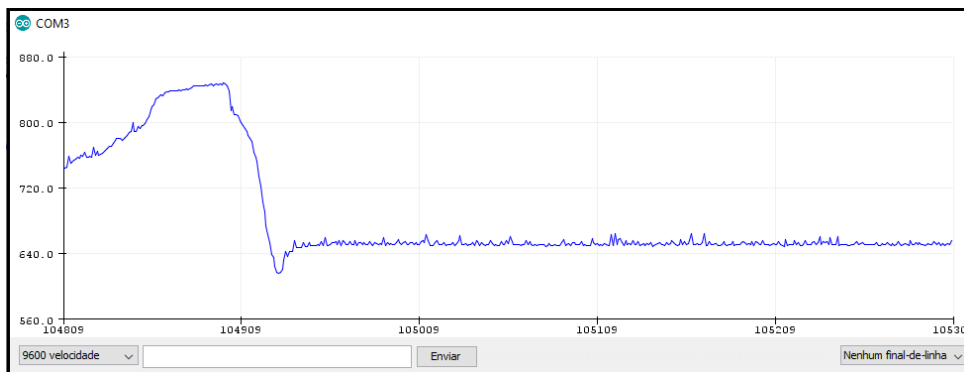
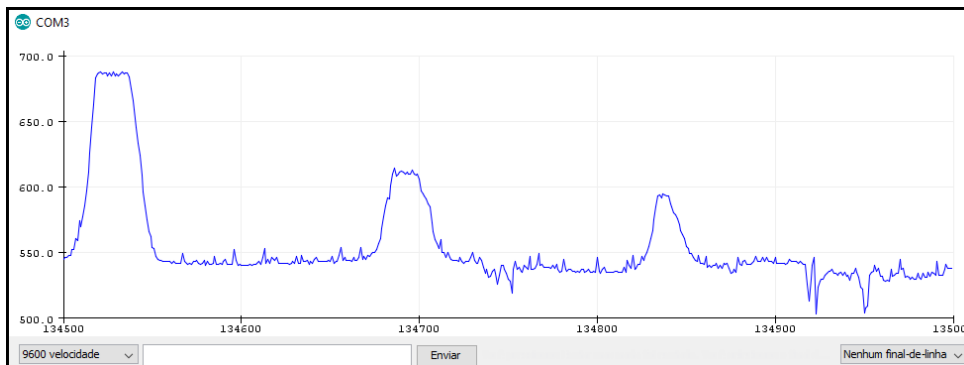


Figura 4.12 – KY 003 - Aproximando e afastando o ímã



Fonte: Plotado pelo IDE do Arduino

Analisando o comportamento dos gráficos nota-se que o sensor sofre uma variação conforme o ímã aproxima-se, afasta-se ou mantém-se. Essa mudança de estado do sensor tem certa sensibilidade que é característica do sensor KY 003 que foi utilizado para a detecção de um campo eletromagnético em um fio condutor. Na Figura 4.10, o sensor se encontra em estado de “aguardando”, lendo apenas inferências. Mantendo-se o ímã parado

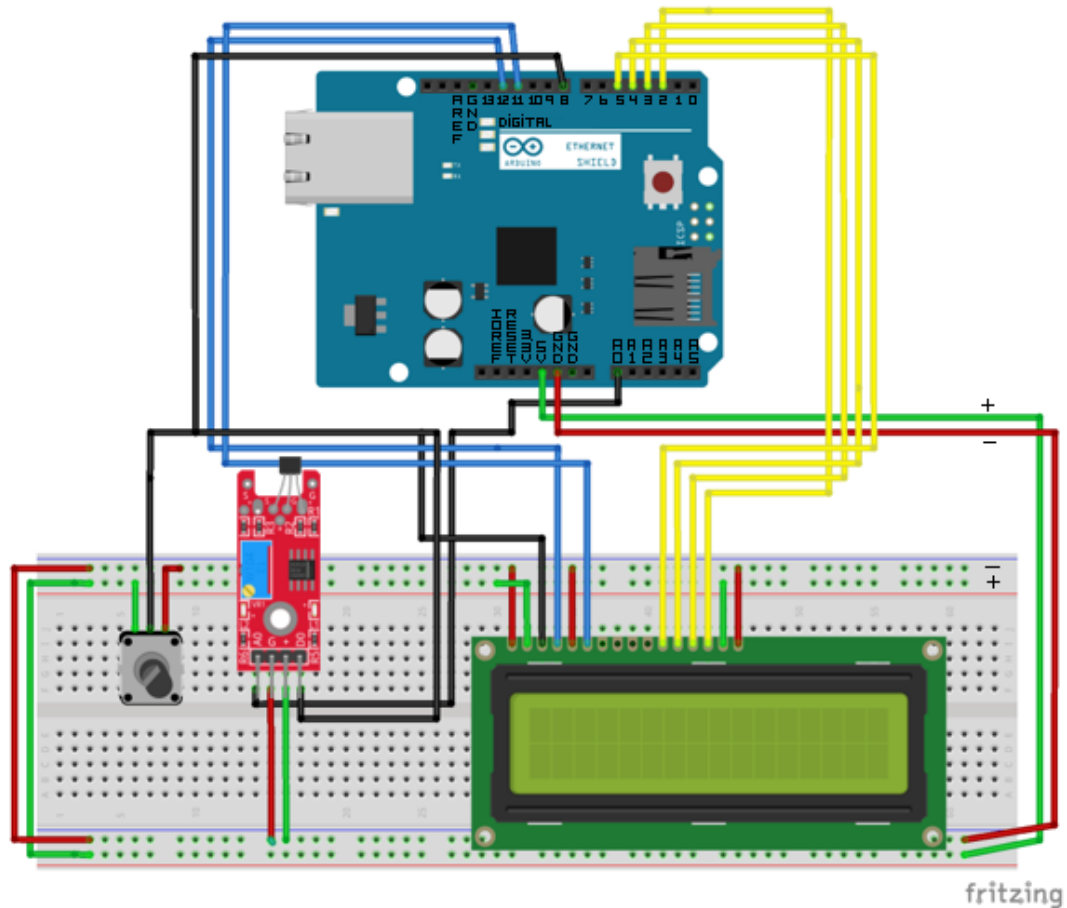
próximo ao sensor de leitura, percebe-se na Figura 4.11 que é obtida uma estabilidade, um direcionamento do sinal analógico lido pelo sensor. Esse sinal condiz com a variação de tensão obtida com a sensibilidade do sensor ao campo magnético. Também foram feitos testes com o ímã em movimento, nesse caso se aproximando e se afastando do sensor, conforme gráfico mostrado na Figura 4.12, que demonstra momentos de leitura do campo e momentos de variações. Porém, o sinal com o ímã em movimento é melhor definido com o sensor de hall KY 003 do que com o sensor KY 021. Com o ímã em movimento, utilizando o sensor KY 003, o sinal varia com menos ruído que com o sensor KY 021, que quando há movimento a leitura fica praticamente cheia de interferências.

Através dos resultados exibidos nos gráficos, do módulo KY 021 e do sensor de hall KY 003, pode-se verificar que a resposta do KY 003 foi mais sensível e respondeu melhor à variação do campo que o KY 021. Os dois sensores respondem bem ao identificar o campo, porém possuem diferenças nas tecnologias utilizadas para a detecção do campo, fazendo com que tenham respostas diferentes à sensibilidade. Por conta disso, o sensor ideal para a detecção do campo é o KY 003 que utiliza o efeito hall para apresentar a variação detectada pelo campo presente no local. Logo, será utilizado mais esse sensor, sendo que o Sensor KY 021 também poderá ser utilizado, mas os parâmetros de variação devem ser revistos para que o mesmo possa detectar o campo eletromagnético.

Foram feitos vários testes para que o sensor tivesse condições de detectar o campo eletromagnético, que é muito menor nos fios condutores utilizados nos experimentos, que em um campo gerado por um ímã de neodímio. Por meio dos testes, foi comprovado que é mais adequado utilizar a leitura analógica, já que essa varia em 1024 níveis de amplitudes. Para a detecção do campo eletromagnético, foi delimitado um valor de leitura analógico mais adequado para os fios condutores, dessa forma, quando os fios são energizados, o sensor tem condições de ler e informar a presença do campo.

### 4.1.3 Utilizando o sensor de Hall KY 024

Figura 4.13 – Circuito 3 - Sensor de Hall KY 024



Fonte: Software Fritzing - Próprio Autor

O sensor KY 024, mostrado na Figura 4.13, tem como objetivo medir a intensidade do campo magnético quando o objeto é aproximado ou afastado do sensor, o valor é medido pelo sensor através da porta analógica A0. Quanto menor a tensão lida no pino, maior será a intensidade do campo. A saída analógica vai sofrer uma variação que será representada através de 1024 níveis de amplitudes. Também foi utilizada a porta digital 8 para detecção do campo, assim como no sensor KY 021 e KY 003. As informações de medição pelo sensor são apresentadas no LCD.

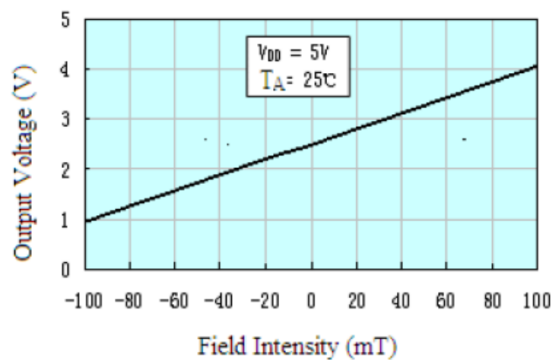
O sensor KY 024 também detecta o campo magnético a partir do desvio da corrente e da formação da tensão de hall nas extremidades, tendo como diferença a capacidade de medir o valor do campo a partir de uma variação no nível da tensão de hall.

No código 3, que está no anexo A deste trabalho, com o nome “Utilizando o sensor de Hall KY 024”, primeiramente é carregada a biblioteca do LCD para que os dados sejam apresentados pela tela. Sendo assim, é estabelecida uma pré-configuração para que o LCD funcione normalmente. Em seguida, é configurada a porta digital 8 para a detecção do campo magnético e a porta analógica A0 para medir o valor do campo magnético no local. A partir disso, o pino digital 8 e o pino analógico A0 são definidos como de entrada de informações que serão obtidas pelo sensor. Pode-se então estabelecer que o LCD informe o

estado do sensor, caso haja a presença do campo magnético será mostrado no display o valor do campo magnético gerado.

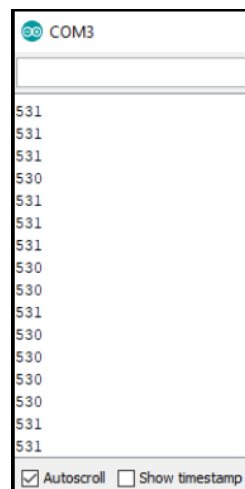
Assim como o KY 003, o sensor KY 024 também utiliza o efeito hall para detectar o campo magnético. Porém, esse sensor possui o pino de leitura digital e analógico; o pino digital apenas identifica o campo no valor 1, e no valor 0 informa a ausência do campo magnético. O pino analógico faz a leitura na faixa de 0 a 1023 níveis de sinais. Na Figura 4.14, a saída em volt informada pela variação do efeito hall (Tensão de Hall) na presença do campo tem comportamento linear comparada com os valores da intensidade do campo magnético no local. Logo, pode-se também medir o valor da intensidade do campo magnético em Tesla usando o sensor KY 024.

Figura 4.14 – Relação tensão e intensidade do campo magnético



A Figura 4.14 mostra que o sensor produz uma tensão elétrica de 1 a 4 V correspondente a uma intensidade de campo de -100 a 100 militesla. Para verificar se o sensor realmente pode medir a intensidade do campo magnético, foram analisadas as leituras seriais e os gráficos (Figura 4.19, Figura 4.20 e Figura 4.21) nas seguintes situações: na ausência do ímã, mantendo-se o ímã, aproximando e afastando o ímã.

Figura 4.15 – Leitura serial do KY 024 - Na ausência de campo eletromagnético

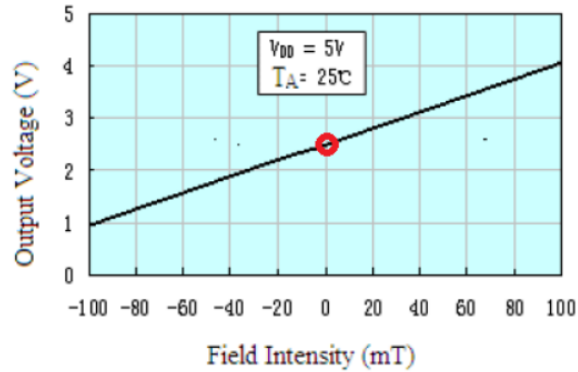


Fonte: IDE Arduíno

O valor indicado na leitura serial (Figura 4.15) corresponde a uma tensão de cerca de 2,6 Volts. Verificando novamente o gráfico de relação entre tensão e intensidade do

campo magnético, pode-se obter uma relação com o valor indicado, que é próximo de zero (Figura 4.16).

Figura 4.16 – Relação tensão e intensidade do campo magnético

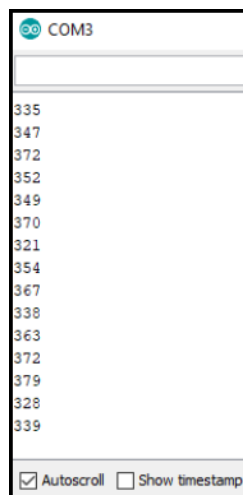


Foi utilizada a Equação (4.1) para obter o valor do campo magnético em um fio condutor. Esta equação foi introduzida no código para que o sensor possa medir e relacionar o valor da tensão de saída com o valor da intensidade do campo magnético.

$$B_{mTesla} = \frac{(V_{output} - 2,6)}{0,015} \quad (4.1)$$

Uma análise prática feita durante os experimentos, utilizando o sensor de hall KY 003 ou o sensor KY 024, quando os valores seriais são baixos, a intensidade do campo é grande e medem o polo norte magnético e quando os valores seriais são altos, medem o polo oposto. Para o sensor KY 024, o LED interno verde acende ao detectar o campo e o LED vermelho acende quando o polo magnético norte se aproxima do sensor, conforme os valores seriais mostrados na Figura 4.17.

Figura 4.17 – Valores seriais mínimos

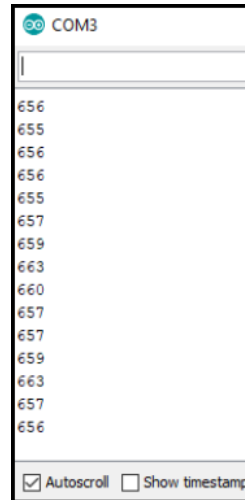


Fonte: IDE Arduíno

Para os valores seriais exibidos na Figura 4.18, o LED interno dos sensores de hall (KY 003 e KY024) não acendem. Porém, há presença do campo magnético que indica o polo oposto ou polo sul do campo gerado. Os valores estão representados na Figura

4.18, indicados pelos valores seriais, visando a apresentação dos níveis de amplitudes e a sensibilidade do sensor.

Figura 4.18 – Valores seriais máximos



Fonte: IDE Arduíno

Foi analisado o comportamento do sensor KY 024 com a presença do ímã de neodímio. O sensor respondeu de forma mais eficiente quando comparado com os demais sensores (KY 021 e KY 003), pois esse sensor possui um pino para medir os valores analógicos. Logo, os resultados foram mais precisos e o sensor KY 024 foi o mais adequado para informar os valores de leitura para a intensidade do campo magnético, considerando que os sensores KY 021 e KY 003 apenas identificam o campo.

Figura 4.19 – KY 024 - Na ausência do ímã

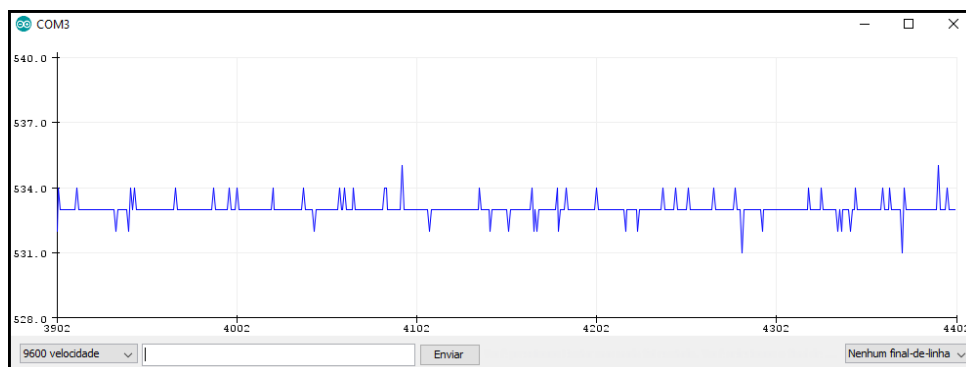


Figura 4.20 – KY 024 - Mantendo-se o ímã

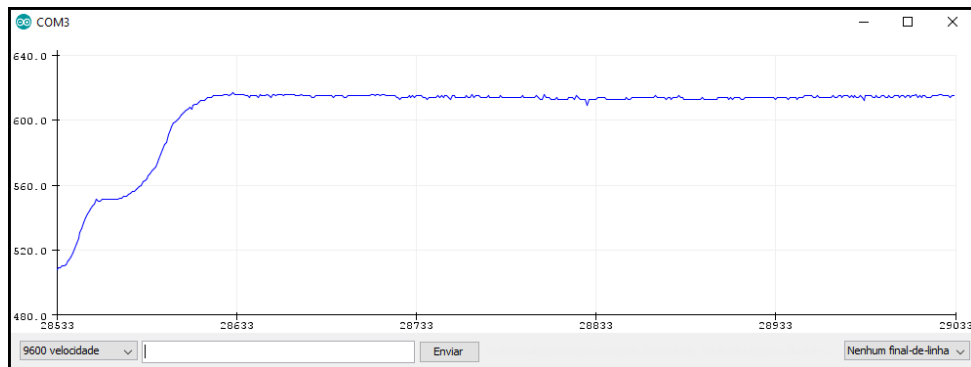
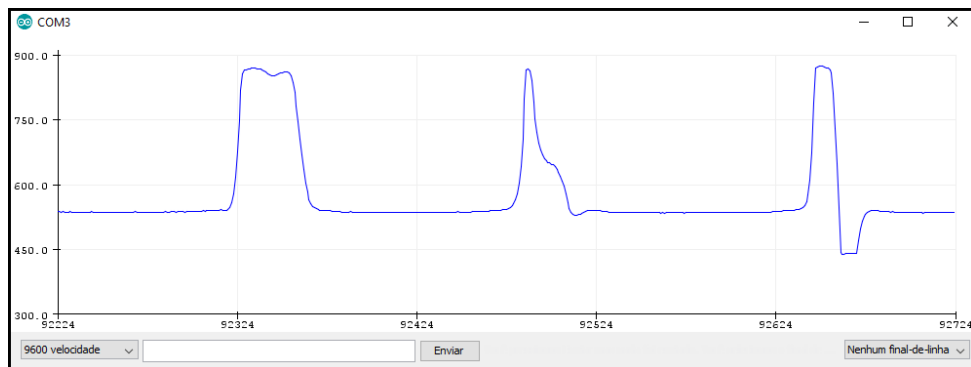


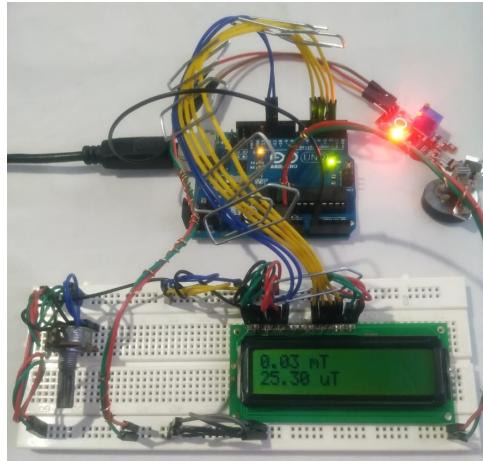
Figura 4.21 – KY 024 - Aproximando e afastando o ímã



Na Figura 4.19 o gráfico representa a ausência do campo eletromagnético próximo ao sensor, logo o gráfico se mantém constante, detectando poucos ruídos. Para a Figura 4.20, houve leitura do campo eletromagnético, nesse caso houve a aproximação de um ímã e o valor de 533 bits/s passou a ser 650 bits/s em valores de leitura sensoriais. Na Figura 4.21, os valores alternaram conforme fosse afastado e aproximado de forma frequente o ímã do sensor, gerando um gráfico com picos que representam momento de leitura do campo magnético, e declínios que representam o afastamento do ímã.

Além da detecção do campo eletromagnético pelo sensor de hall KY 024, houve a medição de um valor próximo ao valor real da intensidade do campo magnético. Esse valor, conforme a Figura 4.22, foi de 25,30 microtesla. O valor positivo indica a presença do polo norte no local da medição.

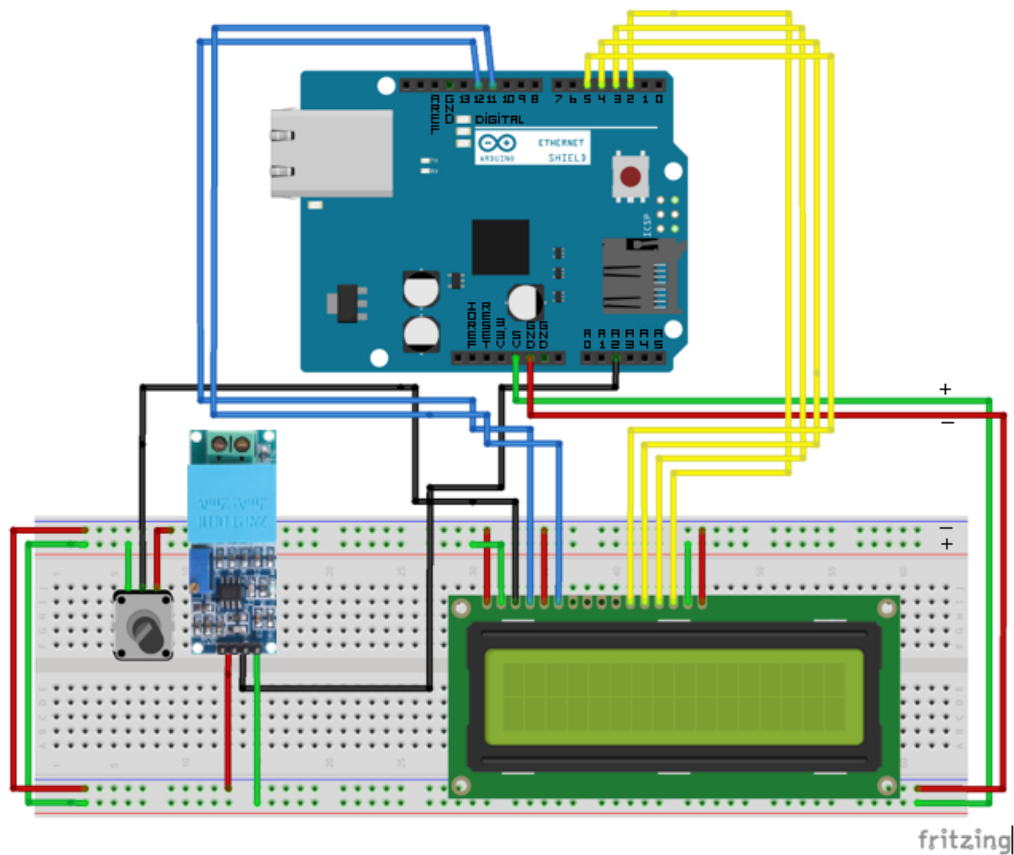
Figura 4.22 – O sensor aguarda a presença do ímã



Fonte: Foto Projeto

#### 4.1.4 Utilizando o sensor de tensão AC

Figura 4.23 – Circuito 4 - Sensor de tensão AC



Fonte: Software Fritzing - Próprio Autor

Para esse circuito foi usado o sensor de tensão AC ZMPT101B, que está conectado na porta analógica A2, conforme a Figura 4.23 acima, cujos dados foram apresentados no

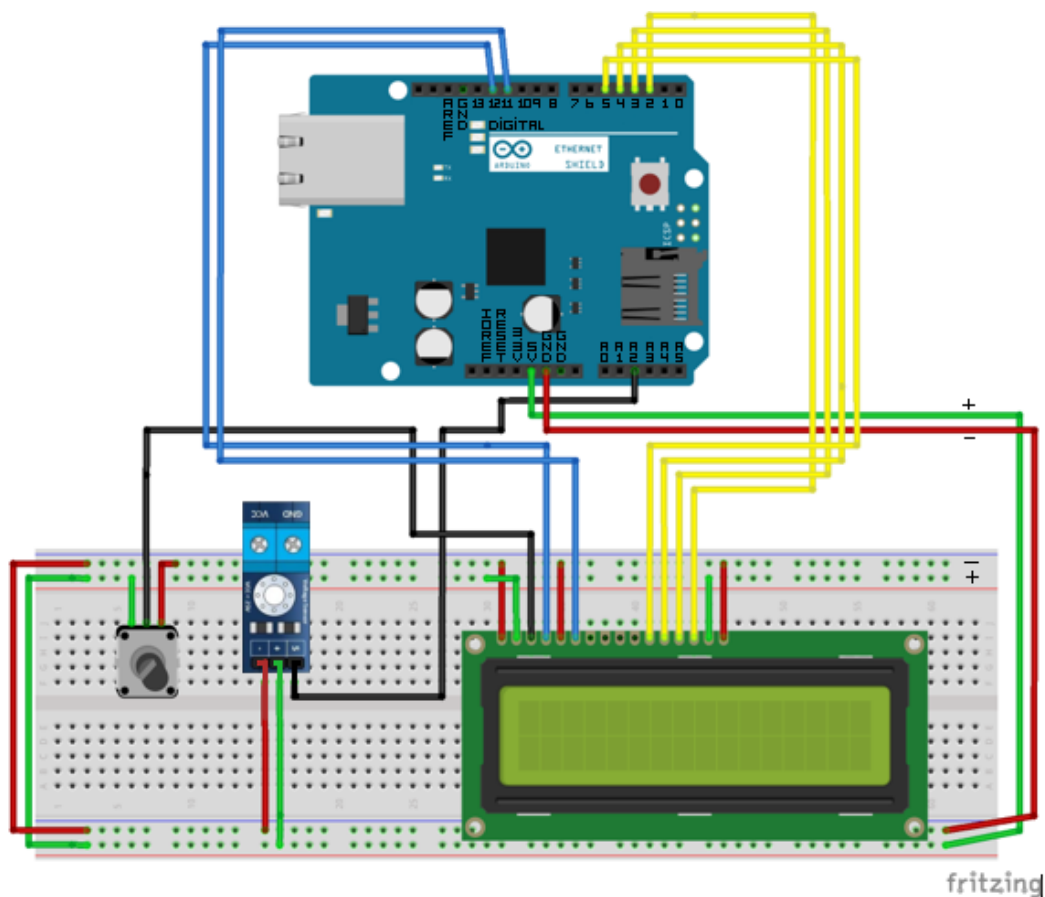
LCD. O sensor foi testado com o auxílio de um multímetro. Dessa forma, sendo calibrado para obter resultados mais precisos.

O sensor de tensão AC tem como capacidade de leitura de 0 até 250 V, sendo um módulo que apresenta alta precisão na leitura de tensão. O principal objetivo do dispositivo é medir o valor de tensão no local, sendo necessário calibrá-lo na forma da onda de saída por meio de um osciloscópio ou com o auxílio de um multímetro para obter valores precisos de tensão.

A partir do código 4, que está no anexo A deste trabalho, com o nome “Utilizando o sensor de tensão AC”, foram carregadas as bibliotecas necessárias para utilização do sensor; biblioteca Filters.h e biblioteca do LCD. Foi definida uma frequência de operação de 60 Hz e um valor médio do sinal na frequência de 50 Hz. Após isso, foi configurada a inicialização do LCD e foi configurado o pino A2 como pino de detecção das informações de leitura, sendo que os resultados de tensão foram informados na tela do display.

#### 4.1.5 Utilizando o sensor de tensão DC

Figura 4.24 – Circuito 5 - Sensor de tensão DC



Fonte: Software Fritzing - Próprio Autor

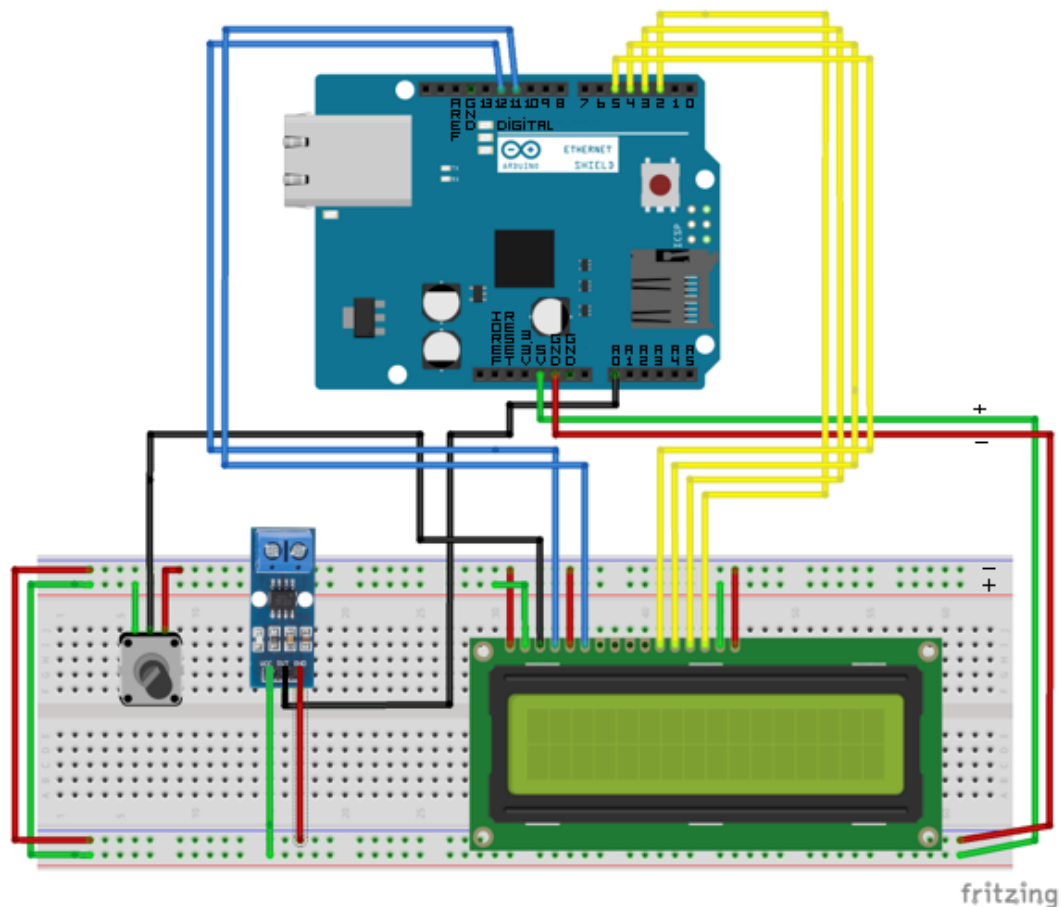
No circuito exibido na Figura 4.24, foi utilizado o sensor de tensão DC, no pino analógico A2, com o objetivo de ler tensões contínuas e de informar os valores de tensões no LCD. Foi utilizado o multímetro para verificação da precisão do módulo. O sensor possui dois resistores para a divisão de tensões, um de 30 k $\Omega$  outro de 7,5 k $\Omega$ , que auxiliam

na saída da tensão final a ser informada pela tela do display. O sensor possui alta precisão, lendo valores de 0 a 25 Volts.

No código é definido o pino A2 como entrada de informações a serem lidas pelo sensor. Em seguida é definida uma variável para armazenar os valores de entrada. Ao executar o código, é lido o pino de entrada e a leitura serial é iniciada, sendo plotados os valores lidos pelo sensor em tempo real.

#### 4.1.6 Utilizando o sensor de corrente

Figura 4.25 – Circuito 6 - Sensor de corrente



Fonte: Software Fritzing - Próprio Autor

Para esse circuito (Figura 4.25) foi utilizado o sensor de corrente AC e DC ACS712, conectando-o na porta analógica A2, cujos dados foram apresentados no LCD e verificados junto a um multímetro. O sensor de corrente consegue ler correntes AC e DC, sendo o objetivo desse sensor o de detectar e medir a corrente elétrica em um sistema qualquer. Este sensor também foi usado junto a um multímetro, para obter melhores resultados.

A partir do código 6, que está no anexo A deste trabalho, com o nome “Utilizando o sensor de corrente”, primeiramente as bibliotecas são carregadas para a leitura da corrente. Em seguida, é estabelecida uma pré-configuração para que o LCD funcione normalmente. Também é definido um valor de calibração, que é o valor lido serialmente pelo sensor -510, que foi verificado através de um multímetro. Após isso, é definida a porta analógica A2

como entrada de dados. Foi criada uma instância para monitorar os valores obtidos, o código então inicia a leitura serial e ajusta os valores de calibração.

## 4.2 Resultados experimentais dos protótipos didáticos

Este tópico tem como foco os resultados obtidos com manuseio do Arduino junto aos protótipos didáticos, visando obter as variáveis corrente e tensão e, em alguns experimentos, a intensidade do campo eletromagnético. Esses resultados foram mostrados pelo LCD e pela IDE do Arduino Uno e a corrente e a tensão foram confirmados com a utilização de um multímetro.

### 4.2.1 Experimento de Oersted

Através desse experimento é possível observar o comportamento do campo magnético em um fio condutor quando o mesmo está sendo energizado. Utilizando a bússola, nota-se a orientação do campo magnético criado pelos movimentos dos elétrons dentro do fio condutor, a bússola informa o polo norte geoespacial através de sua sensibilidade ao campo magnético da terra. Esse mesmo objeto reage na presença do campo magnético em fios elétricos e pode ser usado para informar a orientação do campo magnético. Dessa forma, é possível identificar o comportamento das linhas de indução e o sentido das mesmas.

Na Figura 4.26, os materiais utilizados para esse experimento foram: uma base de madeira e um recipiente de plástico enrolado com cobre na forma de espiras para aumentar a intensidade do campo no local, facilitando que a bússola reaja como esperado, conforme mostrado na Figura 4.26. A bússola foi posicionada até identificar a orientação do campo magnético. O objeto consiste em uma agulha pequena de material ferromagnético, muito leve e sensível ao campo magnético. Foi utilizada também uma fonte de 12 Volts. Mais detalhes acerca da montagem, funcionamento, usabilidade e teste pode ser encontrado no Anexo B.

Foram efetuados vários testes para medir os valores de tensão e corrente durante o funcionamento do experimento, sendo identificados e medidos os valores referentes ao campo magnético que serão apresentados nas próximas imagens.

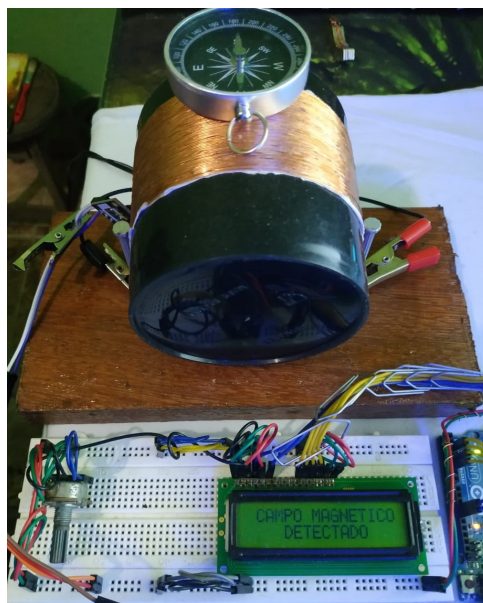
Figura 4.26 – Experimento de Oersted



Fonte: Foto Projeto

Na Figura 4.27, foi utilizado o sensor KY 003, que possibilita identificar a presença do campo magnético no local. O sensor foi reajustado para identificar pequenas variações sensórias detectadas pela leitura analógica próximo aos fios condutores. O sensor identificou o campo conforme as linhas de códigos salvos no Arduíno. Dessa forma, mostrando o resultado no LCD, informando assim que o campo foi detectado.

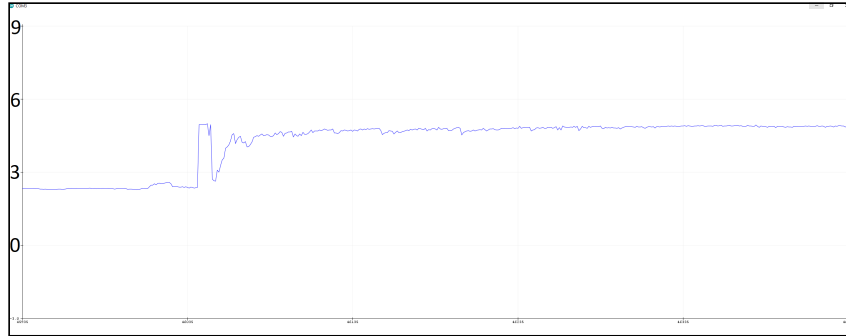
Figura 4.27 – Experimento de Oersted - Detecção do campo eletromagnético



Fonte: Foto Projeto

Na Figura 4.28, foi medido o valor de tensão de entrada do sensor, que varia de 0V a 5V. Esse valor inicialmente era de aproximadamente 2,5 V, quando o sensor detecta o campo magnético, a tensão do sensor dispara para próximo de 5 V.

Figura 4.28 – Experimento de Oersted - Instante de detecção do campo eletromagnético



Fonte: Plotado pela IDE do Arduíno

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{\ell} \times \mathbf{a}_{\hat{r}}}{r^2} (A/m) \quad (4.2)$$

Ou

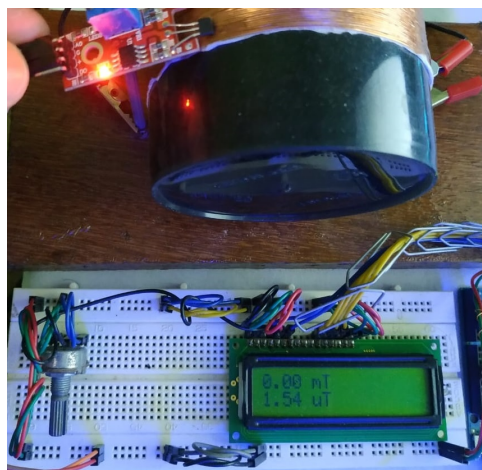
$$B = \oint \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{\ell} \times \mathbf{a}_{\hat{r}}}{r^2} (A/m) \quad (4.3)$$

Na Equação (4.2),  $d\mathbf{B}$  representa a intensidade do campo magnético e esta é gerada pelo elemento diferencial  $I d\mathbf{l}$ , que é a corrente no circuito e o comprimento do fio condutor, respectivamente. O campo magnético possui direção e sentido indicados por  $\mathbf{a}$ , que varia inversamente com o quadrado da distância  $\mathbf{r}$ ,  $\mu$  é a permeabilidade magnética do meio.

Na Equação (4.3),  $I d\mathbf{l}$  representa o elemento de corrente para o ponto  $\mathbf{B}$ . Esse elemento não tem existência isolada, levando a formação da integral da lei de Biot-Savart.

Ao usar o sensor KY 024 com o Arduíno, é possível medir a intensidade do campo magnético no local da bobina (Figura 4.30). O módulo foi reajustado para ficar sensível ao campo gerado por um fio condutor quando energizado. Na Figura 4.29, a intensidade do campo magnético é de 1,54 microtesla e também pode ser calculada através da equação de Biot-Savart.

Figura 4.29 – Experimento de Oersted - Medição do campo magnético



Fonte: Foto Projeto

Para carregar a bobina foi usada uma fonte de corrente contínua de 12V e 2A. Logo, a bobina funcionará como um dispositivo passivo, capaz de armazenar energia em seu campo magnético e que descarrega no circuito sempre que necessário. A bobina possui várias espiras cilíndricas de fio condutor, conforme pode ser visualizada na Figura 4.30, já na Figura 4.31, é representado o símbolo esquemático de uma bobina.

Figura 4.30 – Estrutura básica de uma bobina

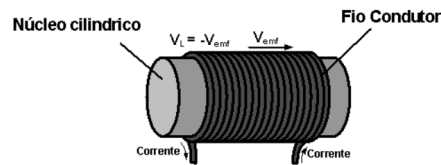


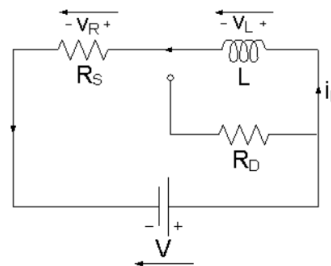
Figura 4.31 – Símbolo esquemático de uma bobina



Dois processos ocorrem no circuito; “carga” e “descarga”, isso ocorre em condições específicas, quando a bobina está sendo energizada por uma fonte de corrente contínua.

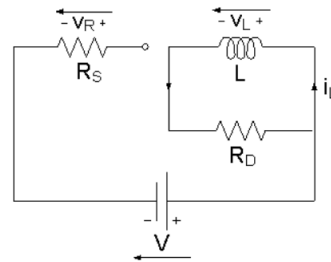
Na Figura 4.32, a bobina está ligada a uma fonte de alimentação **CC**. Quando a fonte é ligada, a corrente percorre o circuito produzindo uma força eletromotriz auto induzida,  $V_{emf}$  que por consequência, se opõe à variação da corrente. A força eletromotriz provoca o aparecimento da tensão nos terminais da bobina,  $V_L = -V_{emf}$ . A tensão  $-V_{emf}$  reduz a variação da corrente, logo, reduzindo também  $V_L$ . Quando a corrente estabiliza, a bobina não cria mais “oposições” e  $V_L$  fica com o valor em zero, a fase de carga logo termina.

Figura 4.32 – Bobina no regime de carga



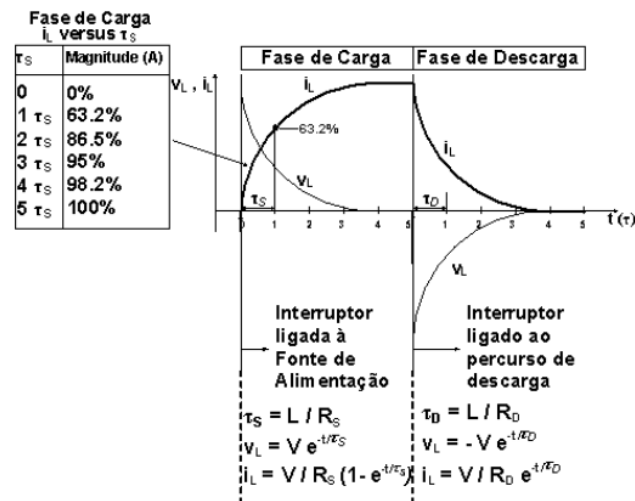
Quando a fase de carga termina, a corrente  $i_L$ , que flui na bobina, torna-se estável,  $i_L = V/R$ , logo, deixa de sentir a força eletromotriz auto induzida gerada  $f_{vem}$  e  $V_L$  toma o valor zero. Nesse instante, a bobina age como um fio normal de resistência zero. A corrente  $i_L$ , que atravessa a bobina, não pode alterar abruptamente (Figura 4.33).

Figura 4.33 – Bobina no regime de descarga



Caso a bobina esteja desligada da fonte de alimentação,  $V_L$  inverte a sua polaridade e cai instantaneamente de zero a um valor negativo, porém  $i_L$  mantém a direção e a magnitude. A energia armazenada na bobina descarrega-se através da resistência  $R_D$ ,  $V_L$  aumenta gradualmente para zero e  $i_L$  cai gradualmente para zero.

Os valores de  $R_S$  e  $R_D$  influenciam na velocidade de carga e descarga da bobina, respectivamente. Logo, conforme os gráficos a seguir, na Figura 4.34, quanto maior for a resistência, mais rápido é o armazenamento de energia e a descarga de energia da bobina e vice-versa.

Figura 4.34 – A tensão  $V_L$  e a corrente  $i_L$  durante as fases de carga e descarga (decaimento/enfraquecimento)

Para o experimento de Oersted, ao medir a corrente, o valor registrado foi de 0,545 A, como exibido Figura 4.35. Porém, o valor da corrente medida variou devido a presença da força eletromotriz auto induzida gerada pela bobina quando carregada.

Figura 4.35 – Experimento de Oersted - Medindo a corrente



Fonte: Foto Projeto

O comportamento da corrente na bobina é apresentado através da tabela a seguir, fornecida pela IDE do Arduíno, onde possui diversos valores lidos sensorialmente pela porta analógica A0. Isso ocorre devido à oposição criada pela força eletromotriz na bobina.

Figura 4.36 – Valores sensoriais de corrente

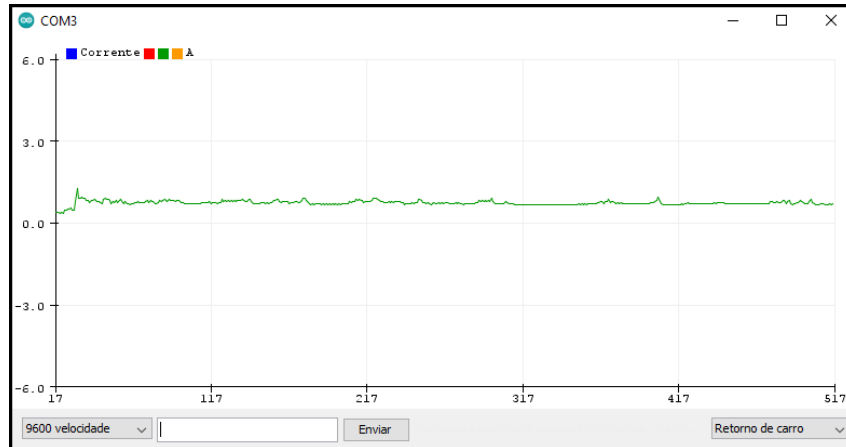
COM3	
23:15:37.958	-> Corrente : 0.416 A
23:15:39.196	-> Corrente : 0.342 A
23:15:40.434	-> Corrente : 0.420 A
23:15:41.710	-> Corrente : 0.299 A
23:15:42.946	-> Corrente : 0.419 A
23:15:44.188	-> Corrente : 0.298 A
23:15:45.462	-> Corrente : 0.418 A
23:15:46.700	-> Corrente : 0.299 A
23:15:47.944	-> Corrente : 0.419 A
23:15:49.188	-> Corrente : 0.300 A
23:15:50.464	-> Corrente : 0.421 A
23:15:51.704	-> Corrente : 0.299 A
23:15:52.949	-> Corrente : 0.420 A
23:15:54.195	-> Corrente : 0.301 A
23:15:55.471	-> Corrente : 0.419 A
23:15:56.712	-> Corrente : 0.300 A
23:15:57.954	-> Corrente : 0.419 A
23:15:59.195	-> Corrente : 0.300 A

Fonte: IDE Arduíno

Ao usar o sensor de corrente, nota-se que os valores variavam entre 299 mA a 419 mA, considerando o momento de descarga da bobina. A Figura 4.36 mostra os valores de corrente medidos no instante de carga da bobina, onde a corrente tenta estabilizar, fazendo com que a bobina crie “oposições” e fazendo a tensão chegar a zero ou próximo de zero.

Na Figura 4.37 os valores lidos são mostrados na forma de gráfico. A corrente tenta estabilizar no processo de carga e descarga da bobina. Os valores variaram conforme a tabela exibida na Figura 4.37.

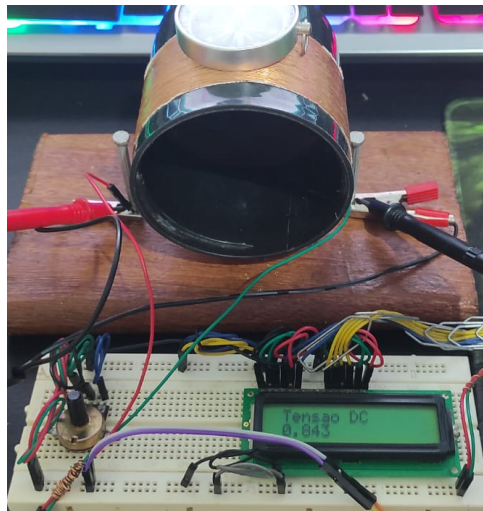
Figura 4.37 – Experimento de Oersted - Leitura gráfica da corrente



Fonte: IDE Arduíno

Na Figura 4.38, foi utilizado o sensor de tensão para medi-la no experimento de Oersted em funcionamento, o valor detectado foi de 0,843 V. O valor medido ficou a maior parte do tempo próximo de 0 Volt, alcançando valores maiores de tensão em determinado tempo, conforme a Figura 4.40. Isso ocorre devido ao efeito de carga e descarga do dispositivo.

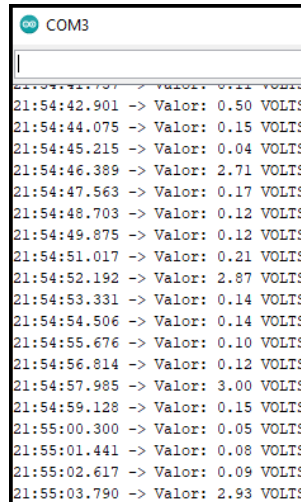
Figura 4.38 – Experimento de Oersted - Medição da tensão



Fonte: Foto Projeto

A tabela abaixo, Figura 4.39, também fornecida pela leitura serial, mostra os instantes onde ocorre a carga e a descarga na bobina. Os valores próximo de zero representam que a bobina estava sendo descarregada e os maiores representam o estado de carga do circuito.

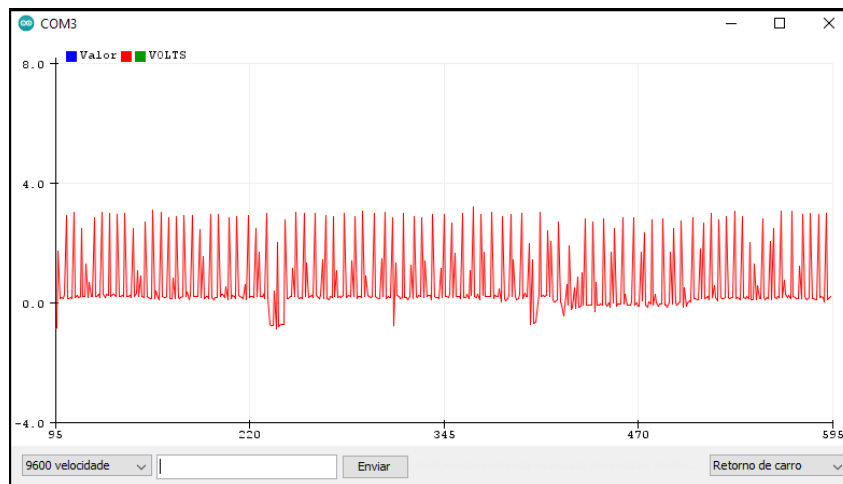
Figura 4.39 – Valores sensoriais de tensão



Fonte: IDE Arduino

Na Figura 4.40 são mostrados os valores de tensão, na forma de gráfico. O comportamento da tensão demonstrou o processo de carga e descarga que ocorreu de forma ininterrupta durante o funcionamento da bobina que estava ligada em uma fonte de tensão contínua de 12 V. Os valores variaram conforme mostrado na Figura 4.39.

Figura 4.40 – Experimento de Oersted - Leitura gráfica da tensão



Fonte: IDE Arduino

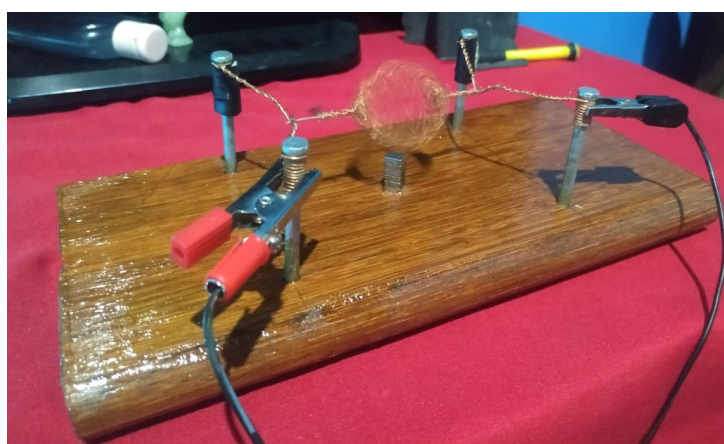
#### 4.2.2 Motor Simples

O experimento do motor simples tem como objetivo orientar o aluno sobre o funcionamento de um motor, os tipos de motores existentes, quais as variáveis presentes no experimento, como elas podem influenciar nos resultados dependendo dos fatores externos, tais como: desgaste dos terminais da bobina, o ar e o material utilizado. Outro item a ser analisado é como ocorre a transformação de energia elétrica em energia mecânica para que haja a movimentação da bobina.

Os materiais utilizados foram: uma base de madeira, pregos de ferro, fios de cobre para fazer o circuito, a bobina principal e fitas isolantes. Foi utilizada uma fonte de 12

Volts e 5A e ímãs de neodímio que irão repelir o campo eletromagnético gerado no circuito quando o mesmo estiver drenando energia, fazendo com que a bobina gire. Foi analisada a presença do campo eletromagnético e o valor representado para a intensidade desse campo. Além disso, foram medidas a corrente e tensão no circuito. Mais detalhes acerca da montagem, funcionamento, usabilidade e teste pode ser encontrado no Anexo B. O experimento consiste na representação de um motor, que transforma energia elétrica em energia mecânica, isso ocorre pois, ao alimentar os terminais do circuito, a espira gira repelindo o campo magnético do ímã de neodímio próximo a bobina, que irá gerar um campo eletromagnético o qual vai interagir com o campo do neodímio. A Figura 4.41 abaixo demonstra o experimento.

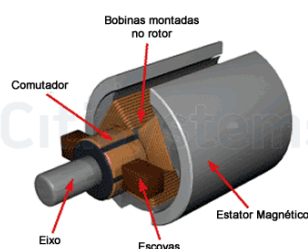
Figura 4.41 – Experimento do motor simples



Fonte: Foto Projeto

A maioria dos motores trabalham pela interação eletromagnética, mas existem motores eletromecânicos, que trabalham com forças eletrostáticas. O princípio do funcionamento de um motor eletromagnético consiste em sua estrutura básica, sendo possível transformar a energia que flui pelo motor em movimento mecânico. A força descrita pela lei de Lorenz é perpendicular ao fio e ao campo magnético, o rotor é o elemento giratório do motor, o rotor gira porque os fios e o campo magnético são arranjados de modo que um torque seja desenvolvido pela linha central do rotor. Também existem os motores do tipo lineares, que possuem uma parte estacionária chamada estator, um motor giratório que possui ímãs ou eletroímãs no interior onde constitui o corpo do rotor. As bobinas de cobre são enroladas e dispostas em volta do material ferromagnético que constitui o estator. Abaixo, na Figura 4.42 é representada a estrutura básica de um motor.

Figura 4.42 – Estrutura de um motor eletromagnético



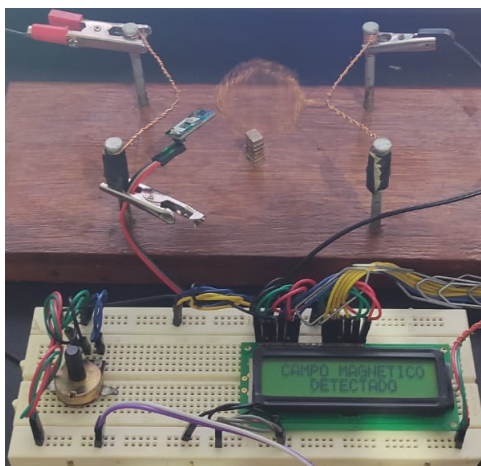
A bobina é alimentada ao ligar na fonte de energia, e um campo magnético é gerado em torno do rotor, o lado esquerdo em torno do rotor é empurrado para fora do ímã esquerdo e atraído para a direita, o que causa a rotação. O rotor continua a girar. Ao alinhar horizontalmente, o torque torna-se zero. Neste instante o comutador inverte a direção da corrente através da bobina, invertendo dessa forma o campo eletromagnético também.

Existem vários tipos de motores eletromagnéticos, pode-se então dividir estes em dois grupos: os de corrente contínua (CC) e os de corrente alternada (CA). Os de corrente contínua podem possuir ou não ímãs permanentes. O motor de corrente alternada pode ser motor assíncrono ou síncrono. Sendo os motores assíncronos divididos em polifásicos e monofásicos.

O experimento representa o funcionamento de um motor, de forma simples, porém sendo capaz de demonstrar o funcionamento de um motor real.

Para detectar a presença do campo eletromagnético gerado pela bobina giratória, foi utilizado o sensor de hall KY 003 com os parâmetros deixando-o sensível ao campo eletromagnético. Através dessa análise, é possível detectar o campo na espira e nos fios do circuito (Figura 4.43). Um fator importante a ser analisado é que o sensor de hall pode detectar a polaridade lida pelo campo eletromagnético, nesse caso o lado que estava identificando o campo foi o que estava entrando o nível lógico alto, logo o lado norte do campo. Através dessa informação, pode-se descobrir o sentido da corrente elétrica. Caso os fios da tensão fossem trocados entre si, isso inverteria as grandezas analisadas, como corrente elétrica e sentido do campo eletromagnético.

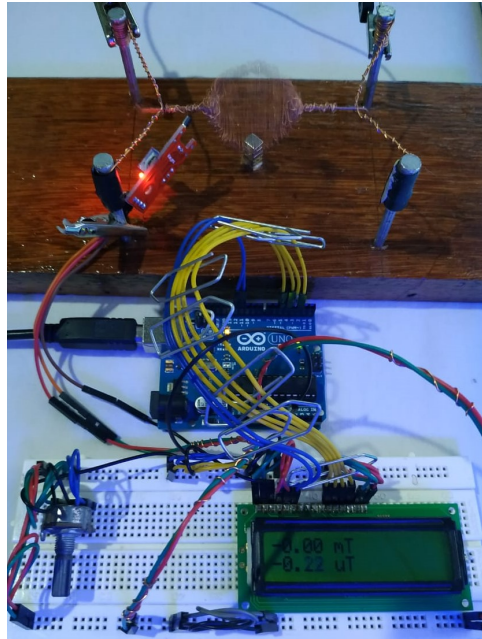
Figura 4.43 – Motor simples - Detecção do campo eletromagnético



Fonte: Foto Projeto

Na Figura 4.44 foi usado o sensor de hall KY 024 que, além de identificar o campo eletromagnético, mediu os valores do campo em microtesla, através da relação obtida pela leitura da tensão de hall e a intensidade do campo eletromagnético, conforme foi explicado anteriormente nos primeiros testes com o sensor de hall. O valor trata-se de um campo muito pequeno gerado por um fio condutor, de espessura em torno de 0,50 mm, que é a espessura do fio de cobre utilizado no experimento. Para se eliminar as interferências no local, deve-se primeiro posicionar o sensor de hall no local com o circuito desligado, caso ele identifique algum valor, pode-se subtrair o valor lido quando o circuito estiver ligado, para obter um valor mais próximo do campo de interesse a ser lido.

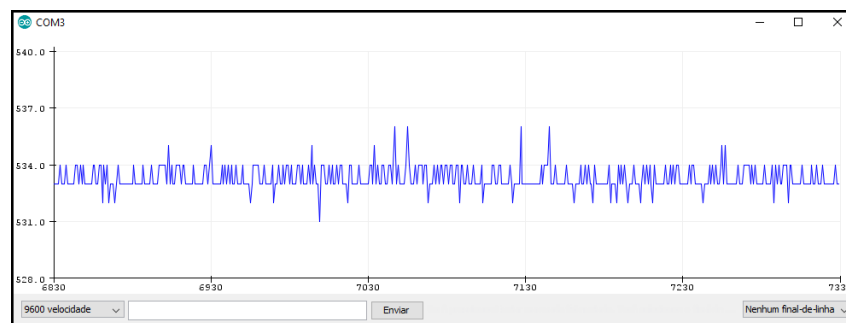
Figura 4.44 – Motor simples - Utilizando o sensor KY 024



Fonte: Foto Projeto

Na Figura 4.45 é apresentado o comportamento da leitura do sensor. Nesse caso, são lidos apenas ruídos e sinais eletromagnéticos indefinidos e fracos, o sensor está longe da fonte emissora do campo eletromagnético do experimento do motor simples.

Figura 4.45 – Motor simples - Instante sem variação do campo magnético

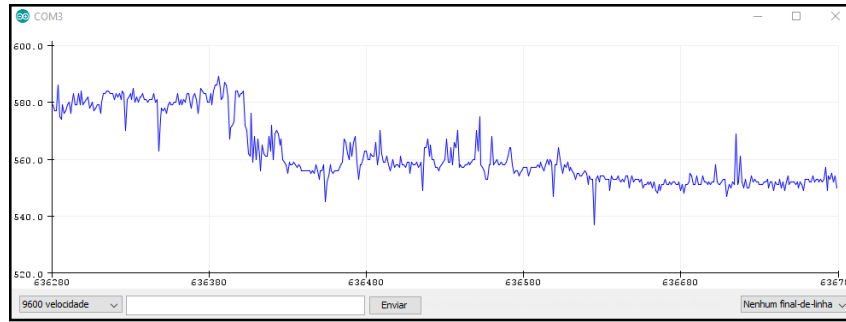


Fonte: Plotado pelo IDE do Arduino

Na Figura 4.46 é exibido o gráfico com os valores do campo magnético emitido pelo experimento do motor simples. Ao rotacionar a bobina, é gerado um campo magnético que varia por conta de vários fatores externos e internos do experimento. Os valores foram exibidos no gráfico através da leitura serial que varia entre os 1024 níveis de amplitudes devido aos 10 bits utilizados na conversão analógico-digital.

A leitura feita sem a presença do campo magnético do experimento mediu os níveis de sinais, que foram de 533 a 534, como indicado na Figura 4.45, tendo umas variações ocasionada por ruídos externos. No instante da leitura do campo magnético (Figura 4.46), o valor serial lido foi em torno de 580, variando bastante, mas indicando que houve mudança lida pelo sensor.

Figura 4.46 – Motor simples - Instante com a variação do campo magnético

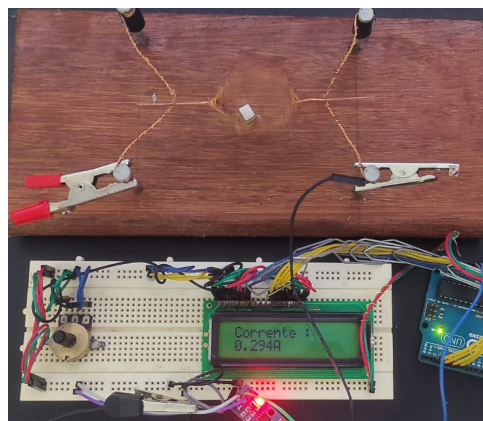


Fonte: Plotado pelo IDE do Arduíno

Ao analisar o gráfico é possível identificar a variação do campo magnético conforme a leitura serial no pino analógico, verificando a variação desse campo em certo intervalo de tempo. A Figura 4.46 apresenta o valor lido quando o circuito está ligado, sendo comprovado após muitos testes que há uma variação no campo magnético. Logo, o campo não é estável e constante. Isso ocorre por haver bastante variação na corrente e na tensão por conta da bobina que gira de forma aleatória nos terminais, ora passando mais corrente ou ora passando menos corrente. Portanto, mesmo que o circuito esteja sendo carregado por uma fonte de tensão contínua, o valor do consumo da bobina pode variar por conta do movimento gerado e das perdas no local por atrito.

A Figura 4.47 trata da medição da corrente elétrica nos terminais da bobina. Enquanto ela gira, os valores obtidos variam por conta do movimento da bobina e das perdas geradas pelo sistema.

Figura 4.47 – Motor simples - Valores da corrente pelo LCD

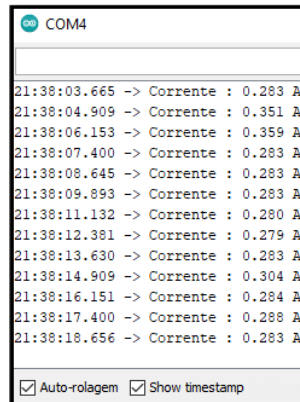


Fonte: Foto Projeto

Na Figura 4.48, são exibidos os valores detectados pelo sensor de corrente. Pode-se verificar o comportamento da corrente elétrica quando o sistema é acionado. Os valores informados mudam conforme a leitura serial no pino analógico.

Na Figura 4.48, são apresentados os instantes onde a bobina está girando com movimento variável, a corrente varia conforme a representação da tabela de valores, alcançando o valor de até 0,359 A. Os instantes em que a corrente sobe indica que a bobina estava girando com mais velocidade, devido seu efeito com o campo magnético do ímã de neodímio.

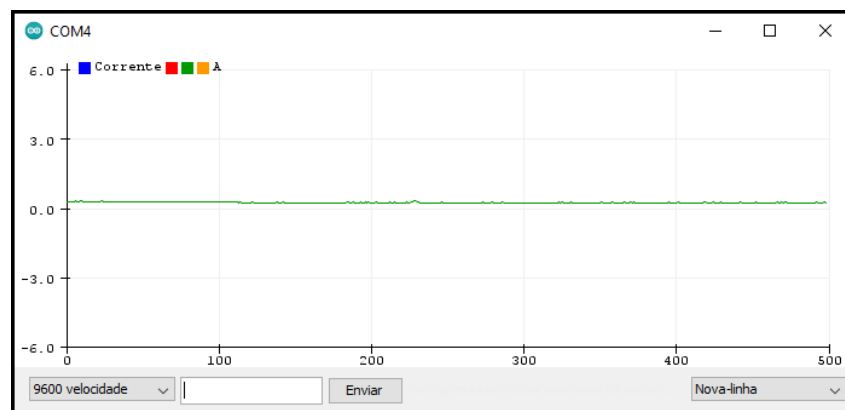
Figura 4.48 – Motor simples - Valores de corrente lidos serialmente



Fonte: IDE Arduíno

Na Figura 4.49, os valores de corrente são exibidos durante o funcionamento do experimento, variando a leitura em todo processo. Isso ocorre devido ao efeito de carga e descarga presentes em bobinas ligadas à tensão contínua. A corrente varia no experimento entre 0,359 A e 0,279 A.

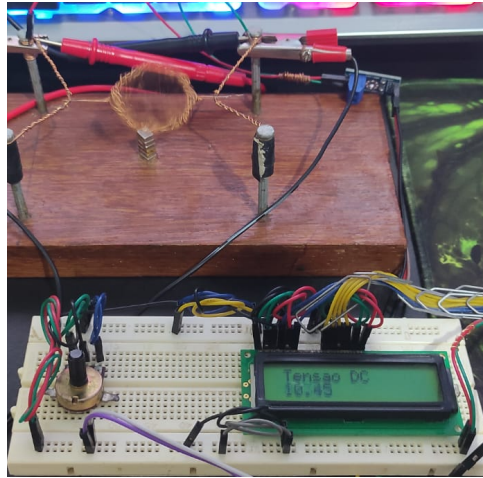
Figura 4.49 – Motor simples - Instante com a presença de corrente



Fonte: Plotado pelo IDE do Arduíno

Na Figura 4.50, foram lidos os valores sensoriais de tensão utilizando o sensor de tensão DC nos terminais da bobina, que variou devido ao efeito do sistema e dos momentos de carga e descarga dos dispositivos, apresentados no comportamento da corrente visto anteriormente. A tensão variou conforme o movimento da bobina, foram indicados vários valores desde 0 V até o valor da fonte de tensão contínua de 12 V. O valor indicado no LCD foi de 10,45 V, esse valor foi lido quando a bobina girava com bastante velocidade.

Figura 4.50 – Motor simples - Valores de tensão



Fonte: Plotado pelo IDE do Arduino

Na Figura 4.51, são apresentados valores de tensão obtidos durante o funcionamento do motor simples. Os valores foram de 11,99 V quando a bobina girava com maior velocidade e de 0 V quando a bobina se encontrava parada e sem passagem de corrente.

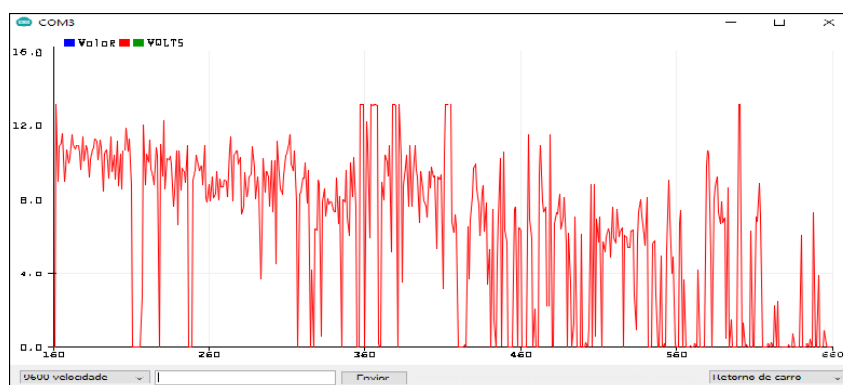
Figura 4.51 – Motor simples - Valores de tensão lidos serialmente

Timestamp	Valor
22:17:13.421	Valor: 11.99 VOLTS
22:17:14.566	Valor: 0.37 VOLTS
22:17:15.736	Valor: 9.65 VOLTS
22:17:16.908	Valor: 6.00 VOLTS
22:17:18.051	Valor: 6.75 VOLTS
22:17:19.223	Valor: 7.45 VOLTS
22:17:20.393	Valor: 5.99 VOLTS
22:17:21.565	Valor: 6.84 VOLTS
22:17:22.705	Valor: 0.00 VOLTS
22:17:23.875	Valor: 5.07 VOLTS
22:17:25.012	Valor: 0.00 VOLTS
22:17:26.151	Valor: 1.07 VOLTS
22:17:27.293	Valor: 0.00 VOLTS
22:17:28.462	Valor: 10.84 VOLTS

Fonte: Foto Projeto

A Figura 4.52, representa os valores lidos na forma de gráfico, mostrando o comportamento da tensão durante o funcionamento da bobina, quando a bobina girava com bastante velocidade, os valores variavam entre 9 V a 12 V, os valores mais baixos indicam que a bobina estava reduzindo a velocidade até parar em 0V.

Figura 4.52 – Motor simples - Instante com a presença de tensão



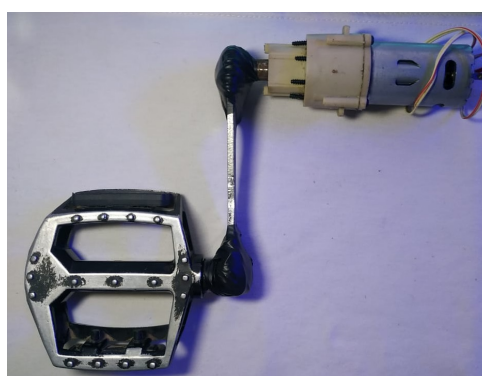
Fonte: Plotado pelo IDE do Arduino

### 4.2.3 Gerador eletromagnético

O objetivo desse experimento é demonstrar ao aluno o funcionamento de um gerador a partir dos conhecimentos obtidos com o experimento do motor simples e como pode-se utilizá-lo para conversão de energia mecânica em energia elétrica. Também exemplifica como funciona o comportamento da corrente e da tensão alternada no gerador, apresentando também a importância dessa tecnologia para sociedade.

Foi reutilizado um motor de furadeira para gerar energia, sendo readaptado com uma haste de metal e um pedal de bicicleta, conforme mostrado na Figura 4.53, que pode ser girado facilmente para gerar uma DDP (Diferença de Potencial) e uma corrente que estaremos analisando nas próximas figuras. Também foi utilizado um LED para que se possa ver a intensidade da luz conforme a energia é gerada. Mais detalhes acerca da montagem, funcionamento, usabilidade e teste pode ser encontrado no Anexo B.

Figura 4.53 – Gerador eletromagnético



Fonte: Foto Projeto

Nesse experimento foram obtidos valores de 480 mA a 2045 mA. Os valores variam bastante entre o intervalo, pois trata-se de uma corrente alternada que foi gerada pelo motor. Os valores foram lidos pelo sensor de corrente, pela porta analógica no pino A0. Esses resultados foram obtidos através da execução do código 6 que está no anexo A.

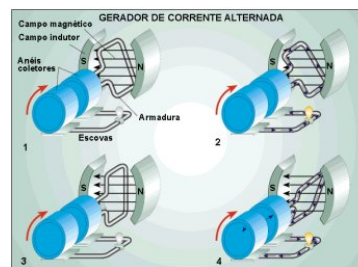
O gerador utilizado transforma a energia mecânica em elétrica por conta do movimento que induz uma corrente no circuito por indução eletromagnética, podendo ser expressa pela Equação (4.4) da indução eletromagnética de Faraday.

$$\phi_S = \iint_S \vec{B} \cdot \hat{n} dS \quad (4.4)$$

A Figura 4.54 a seguir, representa o funcionamento de um gerador eletromagnético. Os anéis mostrados na figura é a região onde ocorre a indução, logo a variação do fluxo magnético é gerada pelo movimento mecânico externo.

O corpo do motor de um gerador de corrente alternada liga-se nos anéis condutores, em que se apoiam escovas de carbono. O corpo do motor gira e a corrente circula no sentido anti-horário, nesse momento a lâmpada se acende. Quando a bobina gira paralela ao campo magnético, não há geração de corrente. Em poucos segundos o corpo do motor volta a girar paralelamente ao campo magnético, e a corrente inverte seu sentido.

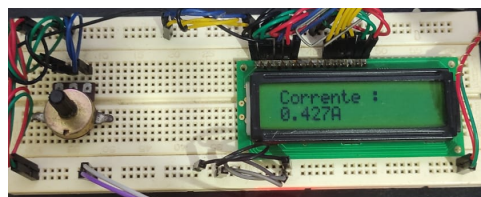
Figura 4.54 – Gerador de corrente alternada



Fonte: <https://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2F40A0E2ABD99123CF0325740C00496689>

Na Figura 4.55 foram obtidos vários valores de corrente por meio da leitura do sensor de corrente alternada gerada pelo motor do experimento, os valores mudam conforme o motor é girado, dependendo da velocidade com que se gira o motor, quanto mais rápido mais energia é gerada, quanto mais devagar menos energia é gerada no sistema.

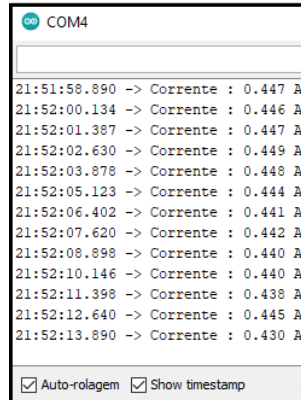
Figura 4.55 – Gerador - Leitura da corrente no gerador eletromagnético



Fonte: Foto Projeto

Foram feitas várias leituras seriais e impressas pelas IDE do Arduíno Uno para registrar várias leituras em diferentes tempos conforme o gerador é utilizado, como mostrado na Figura 4.56. Os valores detectados foram de 0,430 A a 0,449 A, o valor muda conforme a velocidade e a força aplicada no gerador, fazendo com que a energia mecânica se converta em energia elétrica.

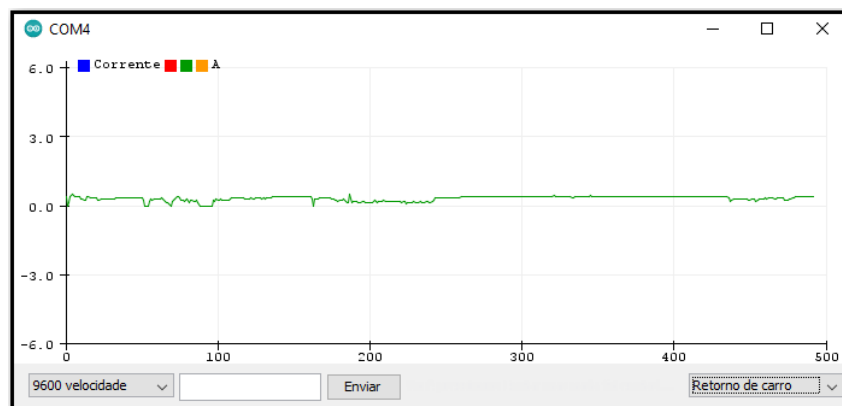
Figura 4.56 – Gerador - Leitura serial da corrente



Fonte: IDE Arduíno

A Figura 4.57 apresenta a variação da corrente no pino de leitura do sensor. Os valores no pino analógico representam as correntes que mudam conforme varia o fluxo magnético no gerador eletromagnético. O trecho selecionado foi durante o funcionamento do gerador, os valores foram bem próximos de 0, alcançando um pouco acima de 0,5 A conforme se girava o eixo do gerador.

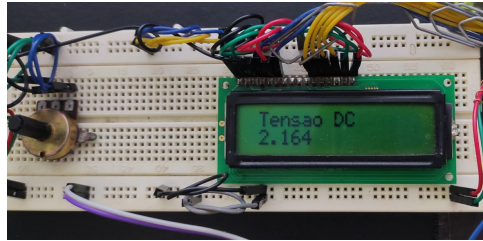
Figura 4.57 – Gerador - Instante da leitura da corrente no sistema



Fonte: Plotado pelo IDE do Arduíno

Na Figura 4.58 foi utilizado o código 5, que está exibido no Anexo A, que avalia com detalhes a tensão DC gerada pelo sistema, o valor lido foi de 2,164 Volts. O código leva em conta os fatores necessários para se obter uma tensão, como a frequência que possui o valor de 60 Hz que é o valor convencional utilizado na rede elétrica. A média do valor da frequência é 50 Hz utilizada como parâmetro para os cálculos da corrente. Também, para se utilizar o sensor com maior precisão, foi necessário calibrar a leitura através dos valores testados junto ao multímetro, e foi levado em consideração a quantidade de ciclos por período, que foi 1000. Foi possível obter pela leitura do sensor o valor mais próximo lido no multímetro e com melhor precisão.

Figura 4.58 – Gerador - Leitura de tensão no gerador eletromagnético



Fonte: Foto Projeto

Alguns dos valores lidos pelo sensor foram verificados com um multímetro (Figura 4.59), por tratar-se de um sistema que gera energia alternada, os valores foram bem divergentes.

Figura 4.59 – Leitura de tensão no gerador eletromagnético



Fonte: Foto Projeto

Na Figura 4.60 são mostrados alguns dos valores na leitura serial do Arduino. Os valores foram entre 1.08 Volts a 2.18 Volts. Os valores mudam conforme o gerador é girado, quanto mais rápido maior o fluxo eletromagnético e maior é a energia gerada.

Figura 4.60 – Leitura de tensão no gerador eletromagnético

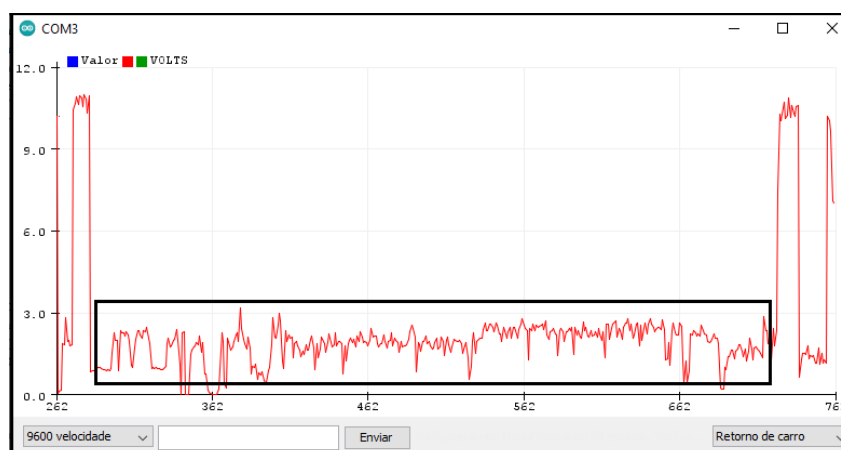
```

COM3
21:50:37.028 -> Valor: 1.75 VOLTS
21:50:38.205 -> Valor: 1.83 VOLTS
21:50:39.377 -> Valor: 1.70 VOLTS
21:50:40.555 -> Valor: 1.77 VOLTS
21:50:41.725 -> Valor: 2.18 VOLTS
21:50:42.866 -> Valor: 2.04 VOLTS
21:50:44.041 -> Valor: 1.52 VOLTS
21:50:45.217 -> Valor: 1.54 VOLTS
21:50:46.389 -> Valor: 1.28 VOLTS
21:50:47.561 -> Valor: 1.60 VOLTS
21:50:48.704 -> Valor: 1.40 VOLTS
21:50:49.879 -> Valor: 1.75 VOLTS
21:50:51.057 -> Valor: 1.71 VOLTS
21:50:52.228 -> Valor: 1.41 VOLTS
21:50:53.404 -> Valor: 1.08 VOLTS
21:50:54.544 -> Valor: 1.48 VOLTS
  
```

Fonte: IDE Arduino

Também houve uma análise gráfica emitida pela IDE do Arduino, que mostra a variação da leitura serial do sensor num certo intervalo de tempo, o valor da variação foi pequena nesse caso conforme mostrado na Figura 4.61.

Figura 4.61 – Gerador - Instante com tensão no sistema



Fonte: Plotado pelo IDE do Arduino

Os valores mostrados no gráfico da Figura 4.61 representam a leitura da tensão DC lida pelo sensor de tensão. Durante o funcionamento do experimento, os valores seriais variam entre 1,08 Volts e 2,18 Volts. Esse intervalo representa a margem de variação da leitura da tensão, que na tabela (Figura 4.60) pode-se verificar que a mudança foi mínima.

Esse experimento tem o intuito de apresentar como um gerador funciona e as variáveis presentes, tal como os fatores internos e externos que afetam os resultados. Porém, é importante, para fins didáticos, informar a importância e a aplicabilidade desses experimentos para o curso e para a vida profissional.

#### 4.2.4 Eletroímã

O objetivo desse experimento é identificar a presença do campo eletromagnético com auxílio de sensores e quantificar esses valores de intensidade eletromagnética, de forma didática e prática e demonstrar o sentido do campo eletromagnético e conseqüentemente o sentido da corrente elétrica. Também é importante, para fins didáticos, apresentar as aplicabilidades desse kit e a importância para a sociedade. Foi utilizado como material uma base de madeira, um prego e, para se fazer a bobina, foram utilizados fios de cobre. A Figura 4.62 contém dois experimentos com eletroímã: o primeiro funciona como um ímã eletromagnético, que opera quando o sistema está sendo energizado, o segundo é uma campainha eletromagnética que é acionada quando há corrente no dispositivo. Mais detalhes acerca da montagem, funcionamento, usabilidade e teste pode ser encontrado no Anexo B.

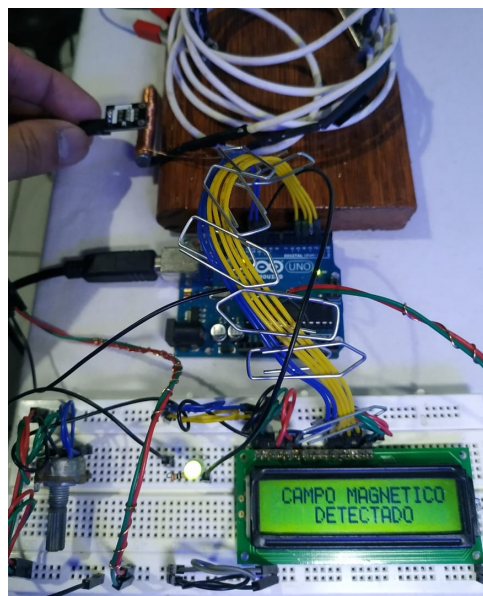
Figura 4.62 – Eletroímãs



Fonte: fotos projeto

Utilizando o sensor de hall KY 003 foi possível detectar o campo eletromagnético na bobina, que dessa vez gerou um campo maior que o de um ímã comum, logo não houve dificuldade pelo sensor de detectar esse campo (Figura 4.63). Isso foi possível pois o material ferromagnético (prego), enrolado por várias espiras de material condutor, quando energizado, orienta os ímãs elementares do material de metal e cria polos magnéticos nesse material, funcionando assim como um ímã enquanto as bobinas são alimentadas.

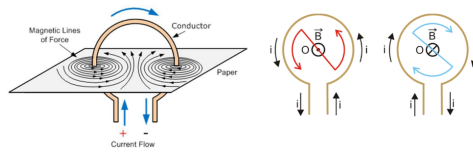
Figura 4.63 – Eletroímã 1 - Detecção do campo eletromagnético



Fonte: Foto Projeto

O sensor de hall KY 024 tem como função informar o polo magnético, o qual está direcionando e sendo medido pelo sensor, por acender o LED vermelho. O sensor informa o polo norte magnético, logo com essa informação é possível identificar o sentido da corrente. Assim, é possível notar o comportamento da corrente e o sentido do campo eletromagnético, sendo possível deduzir os sentidos do campo graças a regra da mão direita. A Figura 4.64 representa o sentido da corrente e do campo eletromagnético conforme a regra da mão direita.

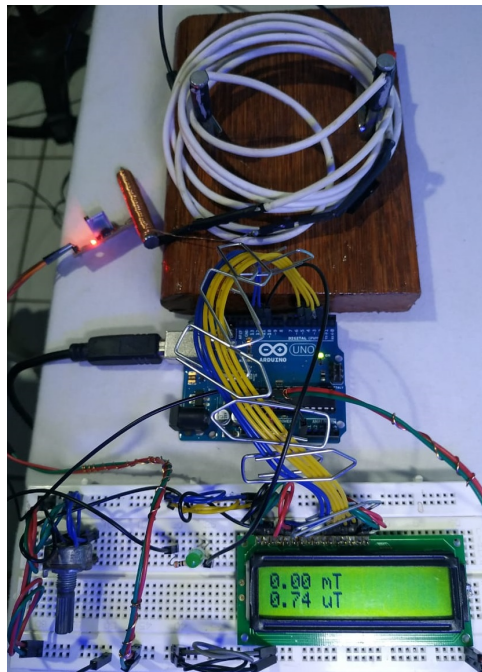
Figura 4.64 – Campo magnético em uma espira circular



Fonte: <https://studylibpt.com/doc/1807342/fluxo>

Utilizando o sensor de hall KY 024, foi possível medir o valor gerado por esse campo. Aproximando-se o sensor, o valor medido no meio da bobina, numa distância de 2 mm, foi de 0,74 millitesla (Figura 4.65). O valor aumenta ao se aproximar da extremidade magnética norte e diminui ao se aproximar do polo sul.

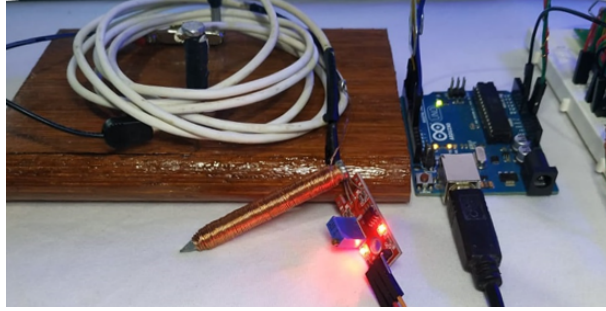
Figura 4.65 – Eletroímã 1 - Valor medido do campo eletromagnético



Fonte: Foto Projeto

A Figura 4.66 mostra o LED interno do sensor de hall KY 024 acendendo (luz vermelha esquerda) ao se detectar o campo magnético do prego. Esse LED acende para campos com a força magnética de um ímã comum ou de um ímã de neodímio. No caso do eletroímã a força gerada nesse polo equivale a de um ímã, logo o sensor acende com a presença desse campo. Pode-se deduzir que o polo magnético nesse local que está o sensor é o polo norte, onde o sensor identifica os maiores valores de intensidade eletromagnética. Sabendo os polos magnéticos gerados no prego, é possível deduzir o sentido da corrente elétrica no fio, através da regra da mão direita.

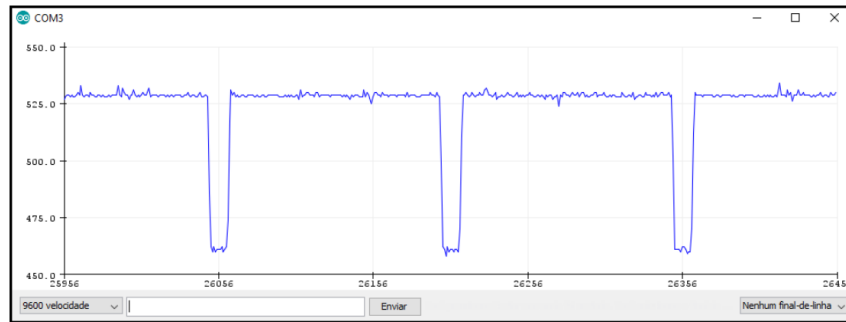
Figura 4.66 – Eletroímã 1 - LED do sensor ao identificar o campo



Fonte: Foto Projeto

Na figura 4.67 são exibidos os valores seriais lidos pelo sensor de hall, que se mantêm constantes com algumas quedas momentâneas representando o instante de descarga da bobina em questão.

Figura 4.67 – Eletroímã 1 - Valores de intensidade do campo eletromagnético



A intensidade do campo eletromagnético na espira pode ser medida também se utilizada a Equação (4.5);

$$B = \frac{\mu_0 i}{2R} \quad (4.5)$$

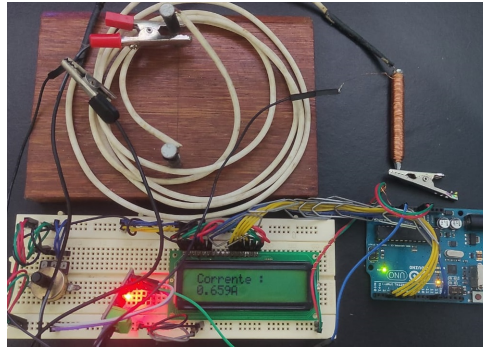
Para várias espiras em torno da mesma circunferência de raio  $\mathbf{R}$ , como na bobina no experimento do eletroímã, a expressão será:

$$B = \frac{n\mu_0 i}{2R} \quad (4.6)$$

Na Equação (4.6),  $\mathbf{B}$  representa a intensidade do campo magnético medido em Tesla,  $\mu$  é a permeabilidade magnética do meio,  $\mathbf{n}$  é o número de voltas da espira do mesmo círculo,  $\mathbf{i}$  é a intensidade da corrente elétrica no circuito e  $\mathbf{R}$  é o raio da espira.

Na Figura 4.68 foi medida a corrente elétrica do eletroímã. O valor medido foi de 0,659 A que indica o valor pico do sistema de carga e descarga da bobina que ocorre constantemente. Os valores, conforme a Figura 4.69, variam num comportamento repetitivo que representa os momentos de carga e descarga vistos anteriormente no experimento de Oersted. Esse processo é comum de acontecer em bobinas ligadas a fontes de corrente contínua.

Figura 4.68 – Eletroímã 1 - Valor de corrente



Fonte: Foto Projeto

Utilizando a IDE do Arduino, foram medidos os valores de corrente com o decorrer do tempo. Na Figura 4.69, são mostrados os valores correspondentes à leitura serial da corrente no eletroímã, esses valores mudam num intervalo de 0,707 A a 0,663 A.

Figura 4.69 – Eletroímã 1 - Leitura serial de corrente

```

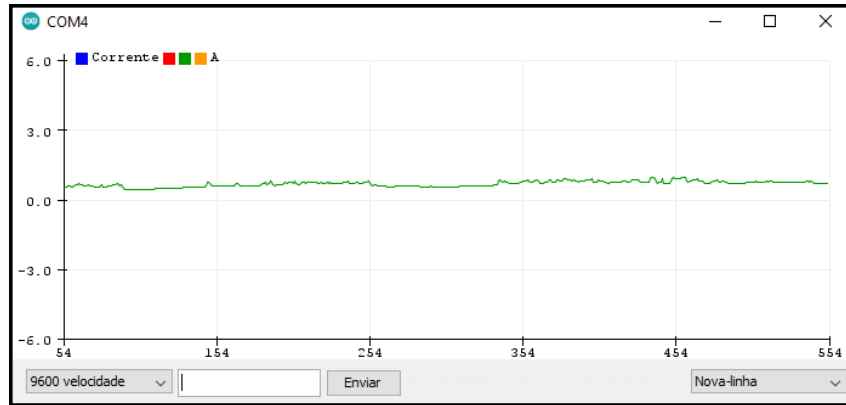
COM4
23:26:05.053 -> Corrente : 0.665 A
23:26:06.275 -> Corrente : 0.667 A
23:26:07.530 -> Corrente : 0.670 A
23:26:08.778 -> Corrente : 0.672 A
23:26:10.032 -> Corrente : 0.673 A
23:26:11.296 -> Corrente : 0.670 A
23:26:12.548 -> Corrente : 0.679 A
23:26:13.789 -> Corrente : 0.689 A
23:26:15.041 -> Corrente : 0.701 A
23:26:16.292 -> Corrente : 0.707 A
23:26:17.540 -> Corrente : 0.663 A
23:26:18.793 -> Corrente : 0.656 A
23:26:20.012 -> Corrente : 0.655 A
 Auto-rolagem  Show timestamp

```

Fonte: IDE Arduino

Também foi plotado um gráfico, exibido na Figura 4.70, mostrando os valores de corrente correspondente ao experimento. Os valores variam por conta do momento de carga e descarga do eletroímã.

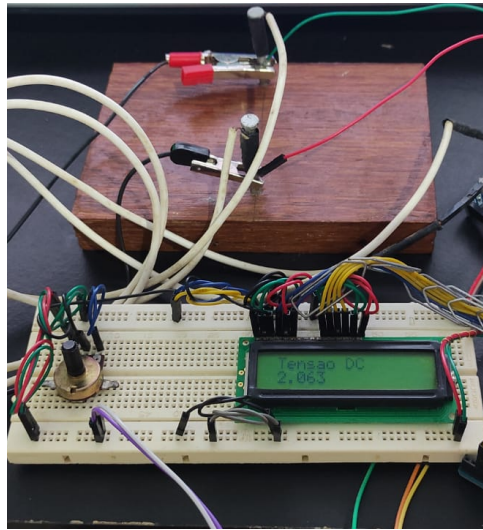
Figura 4.70 – Eletroímã 1 - Valores de corrente



Fonte: Plotado pelo IDE do Arduino

A Figura 4.71 representa o instante de medição da tensão no circuito do eletroímã, medindo um dos maiores valores alcançado no processo de carga da bobina, após esse valor a tensão cai bruscamente para próximo de 0V.

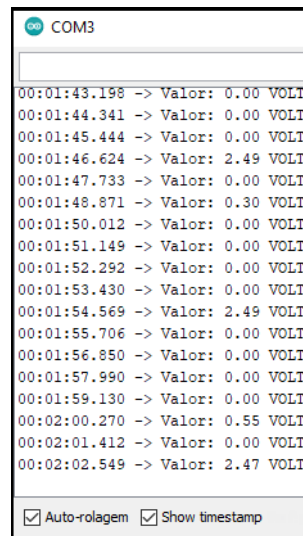
Figura 4.71 – Eletroímã 1 - Valor de tensão



Fonte: Foto Projeto

Ao analisar a tensão é possível identificar características do funcionamento de uma bobina (Figura 4.72), que quando alimentada por uma fonte de tensão CC, a tensão interna da bobina tende a zero por conta do momento de descarga da bobina.

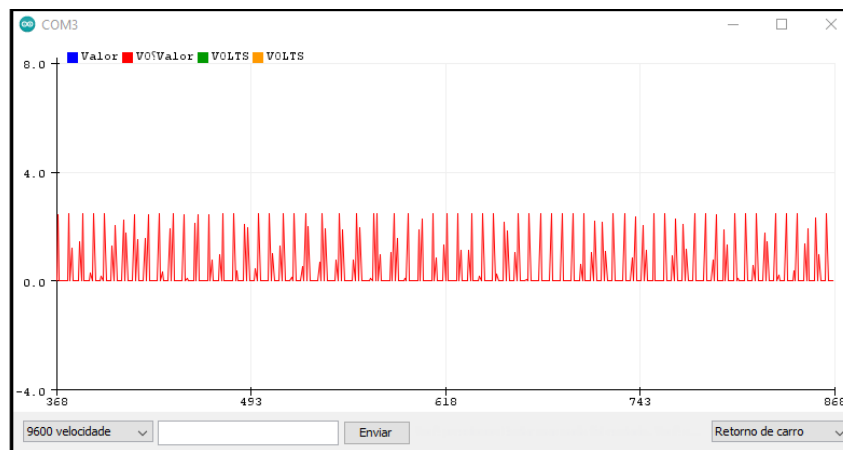
Figura 4.72 – Eletroímã 1 - Valor de tensão



Fonte: IDE Arduíno

Na Figura 4.73, são mostrados em forma de gráfico, os valores de tensão medidos no eletroímã durante alguns minutos. Os valores sempre atingem o pico em 2,49 V ou próximo a esse valor e depois cai para 0 V, durante todo o tempo a bobina fica descarregando e carregando num processo constante.

Figura 4.73 – Eletroímã 1 - Valores de tensão



Fonte: Plotado pelo IDE do Arduíno

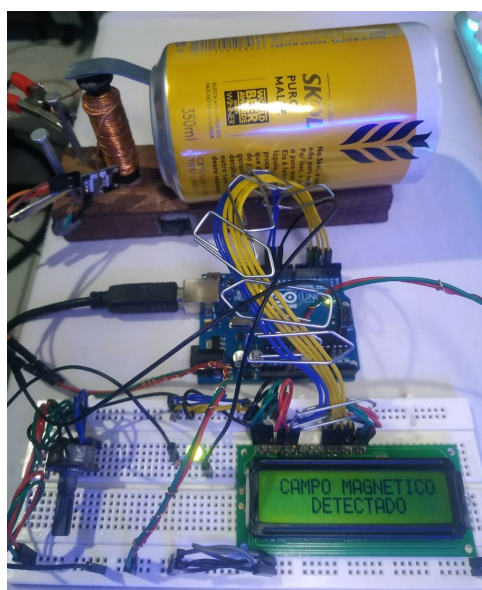
O próximo experimento trata-se de uma campanha eletromagnética, cuja função é alertar quando o circuito estiver sendo energizado, para isso, há a presença de um botão on/off que liga e desliga o circuito. Esse experimento, assim como o anterior, possui campo eletromagnético gerado por uma bobina, que possui o momento de “carga” e “descarga”. Por causa dessa característica, a palheta próximo a um dos terminais do parafuso francês, o qual a bobina está envolvida, no momento de carga atrai com mais força a palheta e no momento de descarga solta a palheta, criando assim um sinal sonoro que caracteriza o acionamento da campanha. Também nesse experimento foi analisada a corrente e a tensão do circuito durante todo funcionamento, tudo com auxílio de sensores, para leitura

e interpretação junto ao Arduíno, visando assim, uma melhor análise didática e prática do experimento.

Para a construção do protótipo, foi utilizada uma base de madeira, um parafuso francês, fio de cobre encapado, uma placa de metal, pregos, o botão on/off e uma lata de cerveja para fazer a amplificação do som da palheta no parafuso francês quando a bobina está ligada.

Na Figura 4.74 é identificado o campo eletromagnético emitido pela bobina. Através do sensor KY 003 foi possível detectar a presença do campo eletromagnético.

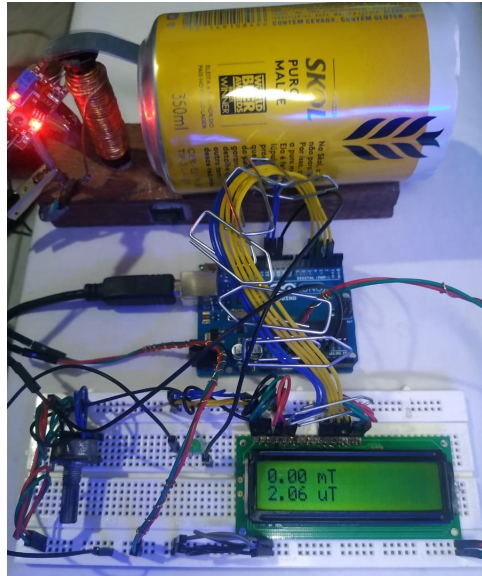
Figura 4.74 – Eletroímã 2 - Detecção do campo eletromagnético



Fonte: Foto Projeto

Esse experimento possui propriedades similares ao anterior. A diferença entre os dois, além da aplicabilidade, é a quantidade de espiras ao redor do centro ferromagnético, que para a campanha eletromagnética, deve ser superior para que o campo seja mais ‘pulsante’, e o efeito de “carga” e “descarga” seja bem mais intenso, fazendo com que a palheta bata no parafuso emitindo som. Para esse experimento foram utilizadas 400 espiras, possuindo um diâmetro maior comparado a do experimento 1 com o eletroímã. Na Figura 4.75 é medida a intensidade do campo magnético na bobina, medindo 2,06 millitesla. É possível identificar o polo do campo pelo sensor utilizado (KY 024), e por essa informação é possível identificar o sentido da corrente elétrica no circuito.

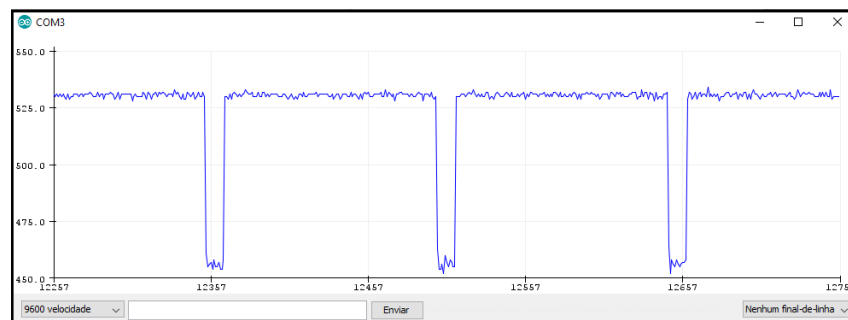
Figura 4.75 – Eletroímã 2 - Medição do campo eletromagnético



Fonte: Foto Projeto

A Figura 4.76 demonstra o comportamento do campo eletromagnético do eletroímã da campainha, que permanece forte na maioria do tempo e possui quedas expressivas do valor de intensidade eletromagnética. Isso ocorre conforme o momento de carga e descarga da bobina, fazendo com que haja a força necessária para puxar a plaqueta de ferro e bater no parafuso francês emitindo som, cumprindo assim o propósito do protótipo. Os valores de intensidade eletromagnética, mostrados na Figura 4.76, são valores lidos pelo sensor e convertido em sinais digitais.

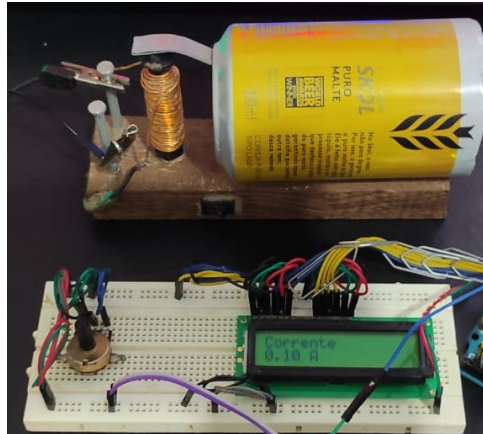
Figura 4.76 – Eletroímã 2 - Valores sensoriais de intensidade do campo



Fonte: Plotado pelo IDE do Arduíno

Ao analisar posteriormente a corrente do circuito, no momento do funcionamento da campainha magnética, o valor da corrente foi 0,10 A. Esse valor variou conforme o comportamento da bobina, no momento de carga e descarga, conforme mostrado na Figura 4.77, que apresenta o valor da corrente no momento do funcionamento do circuito. O valor na Figura 4.77 representa o instante em que a foto foi tirada, porém o valor varia conforme mostrado na tabela na Figura 4.78.

Figura 4.77 – Eletroímã - Valor da corrente



Fonte: Foto Projeto

A tabela a seguir demonstra os valores de corrente no circuito, os valores variam conforme o comportamento da bobina (Figura 4.78).

Figura 4.78 – Eletroímã - Leitura serial da corrente

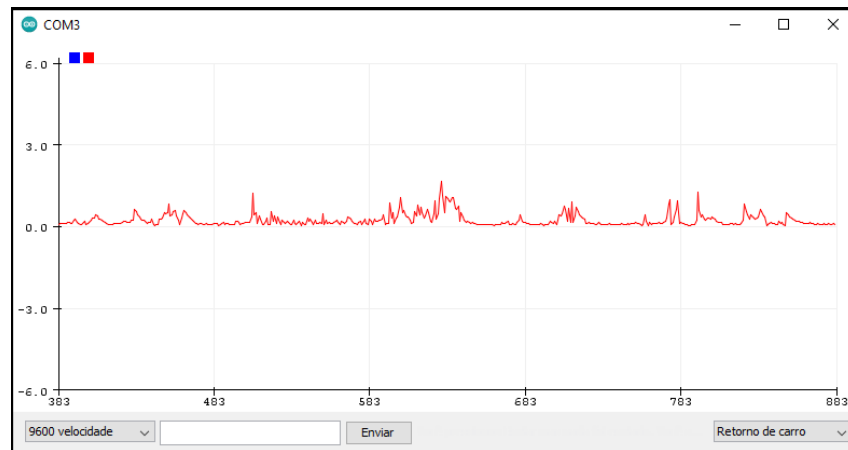
COM3	
21:28:10.453 ->	:Corrente 1.19
21:28:11.655 ->	:Corrente 0.90
21:28:12.830 ->	:Corrente 0.73
21:28:13.965 ->	:Corrente 0.64
21:28:15.169 ->	:Corrente 0.57
21:28:16.347 ->	:Corrente 0.47
21:28:17.553 ->	:Corrente 0.39
21:28:18.691 ->	:Corrente 0.33
21:28:19.827 ->	:Corrente 0.31
21:28:21.062 ->	:Corrente 0.27
21:28:22.203 ->	:Corrente 0.25
21:28:23.414 ->	:Corrente 0.20
21:28:24.616 ->	:Corrente 0.17
21:28:25.822 ->	:Corrente 0.13
21:28:27.061 ->	:Corrente 0.12
21:28:28.197 ->	:Corrente 0.14
21:28:29.400 ->	:Corrente 0.11
21:28:30.539 ->	:Corrente 0.10
21:28:31.645 ->	:Corrente 0.12

Auto-rolagem  Show timestamp

Fonte: IDE Arduíno

A seguir, no gráfico plotado pela IDE do Arduíno (Figura 4.79), é visível o comportamento da corrente elétrica, possuindo diversos valores, alternando esse comportamento conforme os instantes de carga e descarga da bobina.

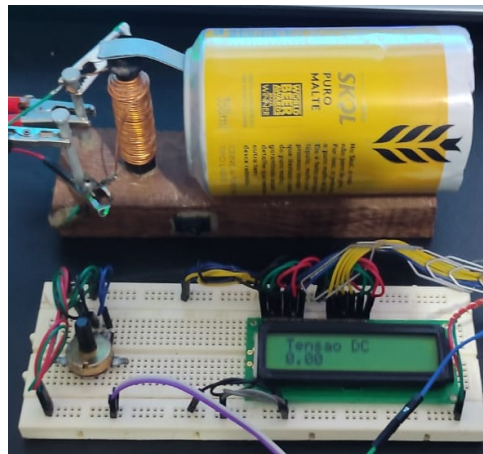
Figura 4.79 – Eletroímã - Valores de corrente



Ao realizar a medição da tensão no experimento da campanha eletromagnética, o valor medido foi de 0V e depois ficou próximo de 0,71V, conforme as Figuras 4.80 e 4.81. Esse processo foi se repetindo várias vezes, enquanto o dispositivo estava ligado à fonte de alimentação. Esse comportamento da tensão representa os momentos de descarga e de carga da bobina eletromagnética ligada à fonte de alimentação contínua.

Na Figura 4.80, foi medida a tensão no instante em que estava em 0V, instante de descarga da bobina.

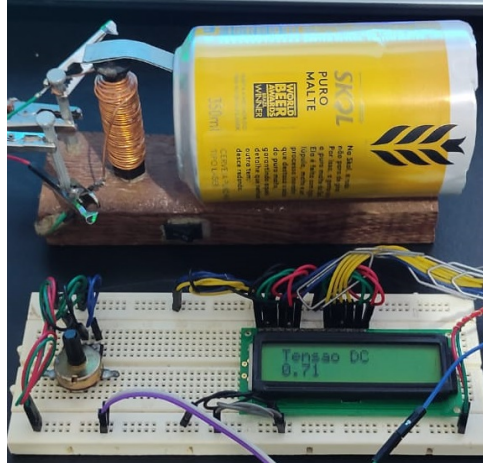
Figura 4.80 – Eletroímã - Valor de tensão



Fonte: Foto Projeto

Na Figura 4.81 foi medida a tensão no instante em que estava em 0,71V, instante de carga da bobina.

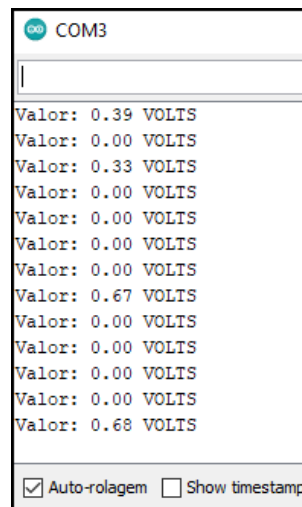
Figura 4.81 – Eletroímã - Valor de tensão



Fonte: Foto Projeto

Na Figura 4.82, são mostrados os valores lidos de 1 em 1 segundo, demonstrando pelos valores o comportamento da bobina e o estado de carregamento e descarregamento.

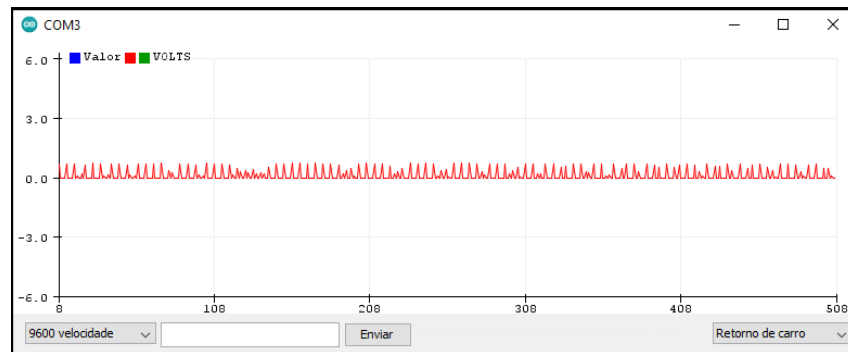
Figura 4.82 – Eletroímã - Leitura serial de tensão



Fonte: IDE Arduino

A Figura 4.83 representa os valores medidos de carga e descarga da bobina, os valores em 0V representam o instante de descarregamento da bobina, e os valores dos picos acima de 0V, representam os instantes de carga da bobina.

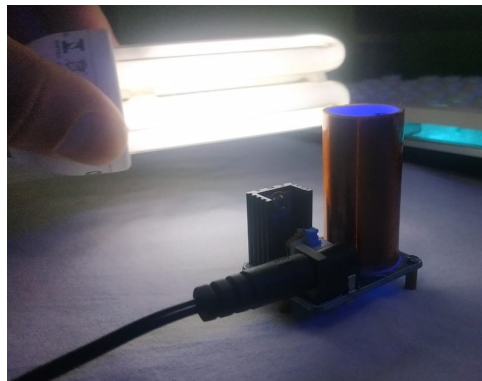
Figura 4.83 – Eletroímã - Valores de tensão



#### 4.2.5 Mini Bobina de Tesla

Nesse experimento foi elaborada uma mini-bobina de Tesla, que consiste num transformador capaz de gerar altas tensões ionizando o ar e gerando faíscas elétricas capazes de acender uma lâmpada fluorescente. O objetivo do protótipo consiste na demonstração de um evento físico descoberto por Nicolás Tesla. Foi analisado o comportamento do campo eletromagnético e medido pelo sensor KY 024, também foram medidas a tensão e a corrente no dispositivo. Foram utilizados para montagem do circuito: cobre esmaltado enrolado num pedaço de cano de forma bem uniforme, interruptor on/off, transistor AN 2222A, resistor de 22 k $\Omega$ , uma fonte de 9 V, uma lâmpada fluorescente e uma placa eletrônica para montagem do circuito. A Figura 4.84 representa o experimento e seu funcionamento. Mais detalhes acerca da montagem, funcionamento, usabilidade e teste pode ser encontrado no Anexo B.

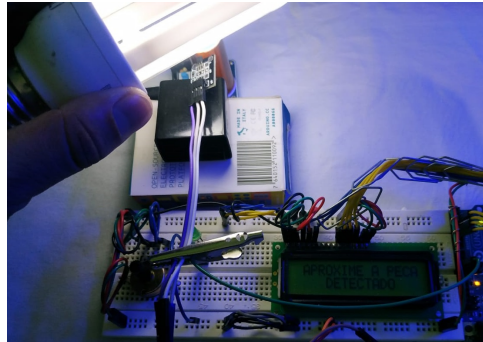
Figura 4.84 – Minibobina de Tesla



Fonte: Foto Projeto

Na Figura 4.85 é usado o sensor de hall KY 003 para detectar o campo eletromagnético gerado pelo experimento durante seu funcionamento. Nessa figura, a lâmpada fluorescente está acessa por conta do efeito gerado pela mini bobina de Tesla. O LED de acionamento acende sempre que o campo é detectado pelo sensor e o display informa que há presença de campo eletromagnético no local.

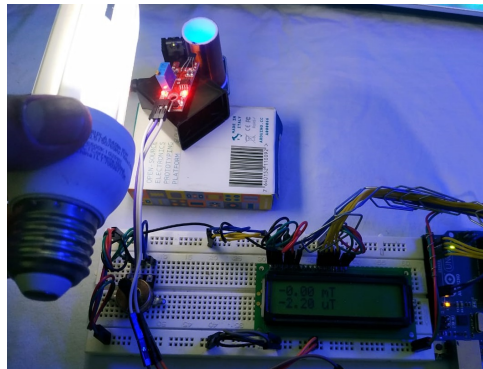
Figura 4.85 – Minibobina de Tesla - Campo eletromagnético detectado



Fonte: Foto Projeto

O campo eletromagnético foi medido numa distância de cerca de 2 mm do transformador principal, responsável pelo efeito físico do experimento, como mostrado na Figura 4.86. O valor medido foi de -2,20 microtesla, o valor negativo indica o polo magnético que, para o experimento, foi identificado como polo sul magnético. Este campo foi detectado pelo sensor de hall KY 024 que possui um LED interno que acende na presença do campo eletromagnético. Os valores mudam conforme a distância varia entre o sensor e a bobina.

Figura 4.86 – Minibobina de Tesla - Medição do campo eletromagnético



Fonte: Foto Projeto

Na Figura 4.87 foi utilizada a IDE do Arduíno Uno, para retornar vários valores de leitura do campo eletromagnético, medidos pelo sensor de hall KY 024. Percebe-se que os valores mudam, pois trata-se do campo gerado por uma bobina que pode variar por conta do efeito gerado de carga e descargas de bobinas. O valor do campo medido varia entre -4.54 microtesla a -2.12 microtesla.

Figura 4.87 – Minibobina de Tesla - Valores de intensidade de campo eletromagnético

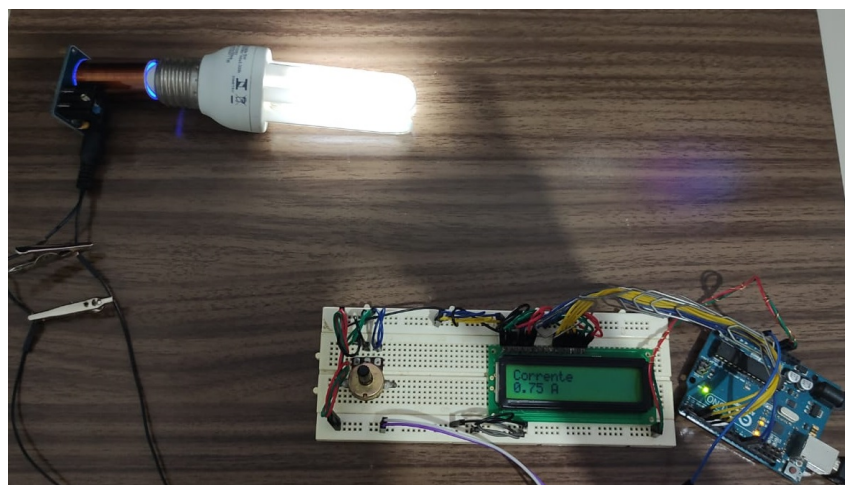
The screenshot shows a serial monitor window titled 'COM3' displaying a list of magnetic field intensity measurements. Each line consists of a timestamp, a directional arrow, and a numerical value. The values range from approximately -2.49 to -3.59. At the bottom of the window, there are checkboxes for 'Auto-rolagem' (unchecked) and 'Show timestamp' (checked), and a 'Nova' button.

Timestamp	Direction	Value
21:22:17.572	->	:Campo eletromagnético -2.49
21:22:18.084	->	:Campo eletromagnético -3.96
21:22:18.592	->	:Campo eletromagnético -4.47
21:22:19.097	->	:Campo eletromagnético -2.71
21:22:19.603	->	:Campo eletromagnético -3.81
21:22:20.108	->	:Campo eletromagnético -3.74
21:22:20.614	->	:Campo eletromagnético -3.81
21:22:21.120	->	:Campo eletromagnético -4.76
21:22:21.628	->	:Campo eletromagnético -3.22
21:22:22.139	->	:Campo eletromagnético -4.47
21:22:22.651	->	:Campo eletromagnético -3.66
21:22:23.156	->	:Campo eletromagnético -4.54
21:22:23.664	->	:Campo eletromagnético -2.86
21:22:24.171	->	:Campo eletromagnético -3.22
21:22:24.678	->	:Campo eletromagnético -2.71
21:22:25.184	->	:Campo eletromagnético -2.42
21:22:25.691	->	:Campo eletromagnético -3.22
21:22:26.197	->	:Campo eletromagnético -2.27
21:22:26.707	->	:Campo eletromagnético -4.47
21:22:27.219	->	:Campo eletromagnético -2.56
21:22:27.723	->	:Campo eletromagnético -1.90
21:22:28.230	->	:Campo eletromagnético -2.56
21:22:28.737	->	:Campo eletromagnético -3.08
21:22:29.248	->	:Campo eletromagnético -3.22
21:22:29.753	->	:Campo eletromagnético -3.15
21:22:30.258	->	:Campo eletromagnético -3.15
21:22:30.766	->	:Campo eletromagnético -1.98
21:22:31.275	->	:Campo eletromagnético -2.12
21:22:31.779	->	:Campo eletromagnético -3.81
21:22:32.291	->	:Campo eletromagnético -2.12
21:22:32.796	->	:Campo eletromagnético -3.59

Fonte: IDE Arduíno

Na Figura 4.88 foi medida a corrente pelo sensor de corrente junto ao circuito com Arduíno. A foto mostra o momento em que a lâmpada acende sem auxílio de fios condutores, acende por conta do ambiente ionizado pela bobina. Nesse instante, o flúor reage com os íons ativos acendendo a lâmpada. O valor medido de corrente foi de 0,75 A, que também varia por se tratar de uma corrente medida numa bobina ligada a uma tensão de corrente contínua que pode gerar o efeito na bobina de carregar ou descarregar, que gera uma força eletromotriz resultante, que influencia na mudança dos valores lidos a seguir (Figura 4.89).

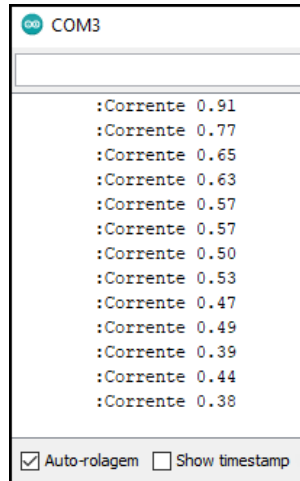
Figura 4.88 – Minibobina de Tesla - Medição da corrente



Fonte: Foto Projeto

Na Figura 4.89, em que há vários valores lidos pelo sensor e apresentados por meio da IDE do Arduíno Uno, esses valores variam bastante para poder ionizar o ar. Os valores lidos variaram entre 0,38 A a 0,91 A.

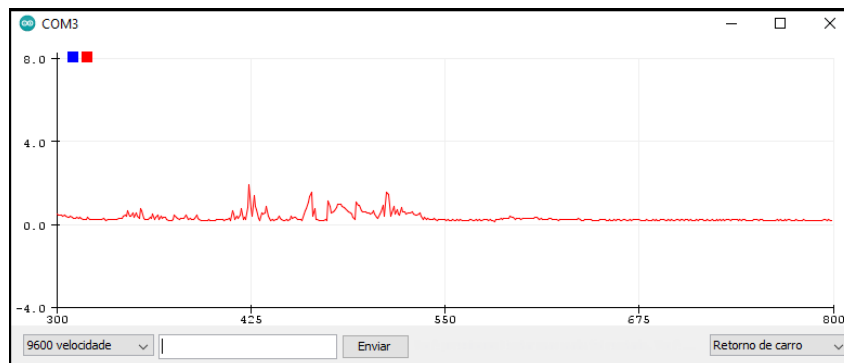
Figura 4.89 – Minibobina de Tesla - Valores medidos da corrente



Fonte: IDE Arduíno

Também foi gerado um gráfico para uma análise do comportamento do experimento, como mostrado na Figura 4.90. Os valores permaneceram a maior parte do tempo no intervalo indicado na Figura 4.89. Porém, algumas vezes os valores subiram próximos a 2A, instantes de carga da bobina.

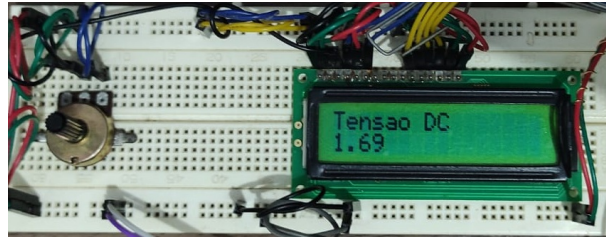
Figura 4.90 – Minibobina de Tesla - Gráfico indicando os valores de correntes



Fonte: IDE Arduíno

Para a Figura 4.91 foi utilizado o sensor de tensão nos terminais do experimento, enquanto a bobina estava funcionando. O valor medido foi de 1,69 V, variando em indicadores próximos a esse para as leituras consecutivas. Nesse experimento, a tensão variou menos, o comportamento foi diferente das outras bobinas por conta do resistor usado e do transistor.

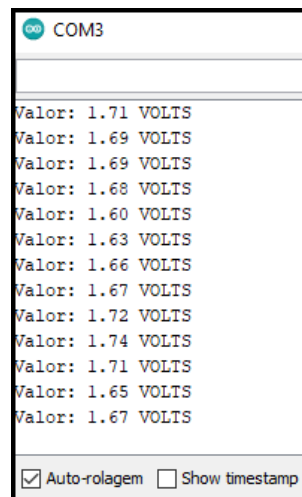
Figura 4.91 – Minibobina de Tesla - Medição da tensão



Fonte: Foto Projeto

Na Figura 4.92 são representados, por meio da IDE do Arduino Uno, os valores de tensão medidos no experimento que variaram por conta do comportamento da mini bobina de Tesla. Os valores variam menos, comparados aos demais experimentos, devido a presença do resistor e do transistor. O intuito do circuito é gerar um campo eletromagnético pulsante e com bastantes elétrons livres ao redor.

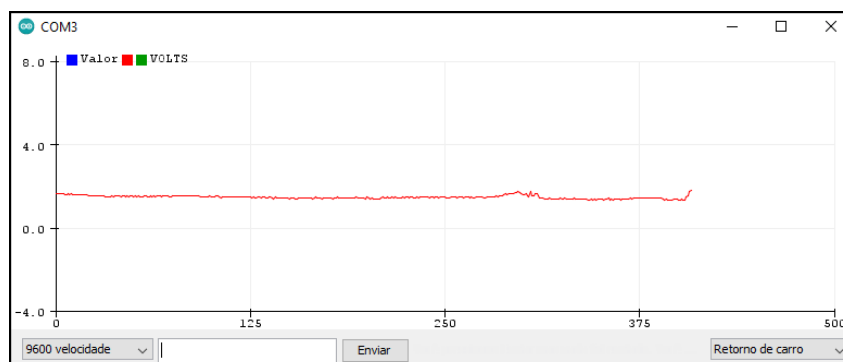
Figura 4.92 – Minibobina de Tesla - Valores de tensão



Fonte: IDE Arduino

A Figura 4.93 representa o comportamento da tensão durante a maior parte do tempo, indicando valores próximos de 2V.

Figura 4.93 – Minibobina de Tesla - Valores de tensão



Fonte: IDE Arduino

## 5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram desenvolvidos protótipos de 5 protótipos didáticos, usando material de baixo custo em conjunto com a placa eletrônica Arduíno Uno, com o objetivo de auxiliar no ensino e aprendizagem da disciplina Teoria Eletromagnética para alunos de graduação do curso de Engenharia de Computação da Universidade Federal do Pará (UFPA), campus de Castanhal. Os protótipos didáticos desenvolvidos foram os seguintes: o experimento de Oersted, um motor simples, um gerador eletromagnético, eletroímãs, e uma mini bobina de Tesla. A metodologia usada foi inspirada pelos atores como Joseph Novak e Marcos Antônio Moreira que contribuíram com o desenvolvimento da aprendizagem significativa, pois essa abordagem metodológica, com utilização de ferramentas tecnológicas provou ser eficaz em várias áreas em que foi aplicada. Assim, esse método serviu de inspiração para disseminação do conhecimento de eletromagnetismo por meio da aprendizagem significativa, pretendendo despertar a curiosidade e motivação para programar, usar e analisar os dados coletados pelos sensores durante os experimentos. Os resultados apresentados neste trabalho mostram que os protótipos didáticos desenvolvidos são eficientes em facilitar o aprendizado dos discentes em relação aos assuntos abordados na disciplina Teoria Eletromagnética. Os protótipos possibilitam que os alunos visualizem fenômenos eletromagnéticos que são bastante abstratos. Os valores das grandezas eletromagnéticas podem ser visualizados, não apenas através de multímetro, mas também por meio de LCD. Os sensores utilizados foram calibrados com auxílio de um multímetro, tornando assim os valores das medições, apresentados no LCD, confiáveis. O desenvolvimento desses protótipos didáticos visa também suprir uma lacuna no que diz respeito a disponibilização de equipamentos e instrumentos para aulas práticas em laboratório, tendo em vista que, no atual momento, os recursos são escassos para investimentos em laboratórios. Estes protótipos foram construídos utilizando materiais baratos, que podem ser encontrados facilmente. Dessa forma, este trabalho cumpre um importante papel em contribuir para a disponibilização de 5 protótipos didáticos de eletromagnetismo para a UFPA, evitando assim, que a universidade utilize de recursos financeiros já tão escassos para comprar kits comerciais que são bem caros. Este trabalho visa também servir de incentivo e inspiração para que outros trabalhos de desenvolvimento de kits didáticos sejam desenvolvidos.

### 5.1 Trabalhos futuros

- Aperfeiçoamento dos protótipos didáticos com a utilização de microcontroladores, sem a utilização da plataforma Arduíno e com a inserção dos circuitos eletrônicos em placa de circuito de impresso (PCB, printed circuit board). O uso de PCB torna o protótipo mais compacto e com maior confiabilidade.
- A utilização de mais sensores para aumentar a quantidade de informações analisadas e relacionadas, tais como o sensor de velocidade e de temperatura. Assim, será possível fazer análise de outras grandezas físicas obtidas como os novos sensores em associação com os valores dos parâmetros que já estão disponibilizados nesse trabalho. Dessa forma, será possível obter uma relação entre diferentes grandezas, como por exemplo, usar o sensor de velocidade para fazer uma relação entre velocidade de rotação e energia emitida de um gerador, ou utilizar um sensor de temperatura para medir a potência dissipada por um eletroímã. É necessário também incluir nesse

trabalho um sensor para medir intensidade de campo magnético para calibrar as medições desse campo.

## REFERÊNCIAS

- ARDUINO. Arduino. <<https://www.usinainfo.com.br/blog/arduino-ide-o-software-para-gravacao-de-codigos-no-arduino/>>, acesso em 04/03/2021, 2019. Citado na página 24.
- ARDUINO. Arduino. <<http://www.arduino.cc>>, acesso em 04/03/2021, 2021. Citado na página 23.
- BASSALO, J. M. F. **Eletrodinâmica clássica**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2007. Citado na página 19.
- BRASIL. Parâmetro curriculares nacionais para o ensino médio. **Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica**, disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>>, acesso em 02/11/2021, Brasília, DF, 1999. Citado na página 16.
- GAGNÉ, R. M. **Princípios essenciais da aprendizagem para o ensino**. Porto Alegre: Globo, 1980. Citado na página 18.
- GILBERTSEGUIU. A história do eletromagnetismo. 2003. Citado na página 19.
- KNÖRIG, A.; WETTACH, R.; COHEN, J. Fritzing: a tool for advancing electronic prototyping for designers. p. 351–358, 2009. Nenhuma citação no texto.
- MATTEDE, H. <https://www.mundodaeletrica.com.br/tipos-de-motores-eletricos-quais-sao/>. **Tipos de Motores Elétricos**, acesso em 13/07/2022, 2006. Citado na página 34.
- MCROBERTS, M. **Beginning Arduino**. unknown city: Apress, 2011. Citado na página 24.
- MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: Editora pedagógica e universitária São Paulo, 1999. v. 2. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 21.
- MOREIRA, M. A. Organizadores prévios e aprendizagem significativa, 2012. <<http://www.if.ufrgs.br/~moreira/ORGANIZADORESport.pdf>>, v. 26, p. 12, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.
- MUSEU INTERATIVO DA FÍSICA. Experimento bobina de tesla. <<http://www.minf.ufpa.br/>>, acesso em 05/06/2021, 2020. Citado na página 38.
- NOVAK, J. **Aprendiendo a aprender**. Lisboa: Martínez roca Barcelona, 1988. Citado na página 21.
- PASCOAL, A. Origem e evolução do eletromagnetismo. **Universidade Federal de Campina Grande**, 2013. Citado na página 19.
- PONTES, J. A. d. S. P. Teoria da aprendizagem significativa de david ausubel: perguntas e respostas. **Série-Estudos-Periódico do Programa de Pós-Graduação em Educação da UCDB**, 2006. Citado na página 16.
- TESLA, N. Revista galileu. <https://www.facebook.com/revistagalileu/posts/10152549071721649/>, 2014. Citado na página 5.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Física para la ciencia y la tecnología. Volumen 2: Electricidad y magnetismo/Luz**. [S.l.]: Reverté, 2021. v. 2. Citado na página 32.

WIRTH, A. J. L. Eletromagnetismo (do básico ao avançado). 2018. Citado na página 19.

## **Anexos**

## ANEXO A – Códigos

### Código 1: Utilizando o módulo reed switch KY 021

```

1 #include <LiquidCrystal.h>           //Biblioteca do LCD
2 int ler;                             //Var. ler do tipo inteira
3 LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2); //Indicador dos pinos utilizados
4 const int pinoLed = 10;              //Pino digital Para o LED
5 const int pinoSensor = 8;           //Pino digital para o sensor
6 void setup() {                       //Setup
7   pinMode(pinoSensor, INPUT);        //Defini o pino como input
8   pinMode(pinoLed, OUTPUT);          //Defini o pino como output
9   digitalWrite(pinoLed, LOW);        //inicia LED desligado
10  pinMode(8, INPUT);                  //Pino 8 definindo como de input
11  lcd.begin(16, 2);                   //Ajusta da Primeira linha do LCD
12  lcd.setCursor(2,0);                 //Ajusta da segunda linha do LCD
13  lcd.print("CHAVE MAGNETICA");      } //Definir a frase do diplay
14 void loop(){                         //Loop
15  if(digitalRead(pinoSensor) == LOW){ //Se leitura = Low, faz
16    digitalWrite(pinoLed, HIGH);     //Acende o LED
17    lcd.clear();                       //Limpa o LCD
18    lcd.setCursor(2,0);                 //Ajusta da Primeira linha do LCD
19    lcd.print("CHAVE MAGNETICA");      //Defini a frase do diplay
20    lcd.setCursor(1, 1);               //Ajusta da segunda linha do LCD
21    lcd.print("CAMPO DETECTADO");     //Defini a frase do diplay
22    delay(2000);                       //Delay de 2 segundos
23  }else{                               //Se nao, faz
24    digitalWrite(pinoLed, LOW);       //Desliga o LED
25    lcd.setCursor(0, 1);               //Ajusta da Primeira linha do LCD
26    lcd.print("APROXIME A PECA");    } //Defini a frase do diplay
27 }

```

### Código 2: Sensor de Hall KY-003

```

1 #include <LiquidCrystal.h>           //Biblioteca do LCD
2 int ler;                             //Var. ler do tipo inteira
3 LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2); //Indicador dos pinos utilizados
4 const int pinoSensor = 8;           //Pino digital para o sensor
5 void setup() {                       //Setup
6   pinMode(pinoSensor, INPUT);        //Defini o pino como input
7   lcd.begin(16, 2);                   //Ajusta Primeira linha do LCD
8   lcd.setCursor(3,0);                 //Ajusta segunda linha do LCD
9   lcd.print("SENSOR HALL");          } //Defini a frase do diplay
10 void loop() {                        //Loop
11  if(analogRead(pinoSensor) == constrain(pinoSensor, 514, 530)){
12                                     //Se leitura = low, Faz
13  lcd.clear();                         //Limpa o LCD
14  lcd.setCursor(1,0);                  //Ajusta da Primeira linha do LCD
15  lcd.print("CAMPO MAGNETICO");        //Defini a frase do diplay
16  lcd.setCursor(4, 1);                 //Ajusta segunda linha do LCD
17  lcd.print("DETECTADO");              //Defini a frase do diplay
18  delay(1000);                         //Delay de 1 segundo
19  lcd.clear();                         //Limpa o LCD
20  }else{                               //Se nao, faz
21  lcd.setCursor(1, 0);                 //Ajusta Primeira linha do LCD
22  lcd.print("APROXIME A PECA");      } //Defini a frase do diplay
23 }

```

### Código 3: Utilizando o sensor de Hall KY 024

```

1 #include <Wire.h> //Biblioteca carregada
2 #include <LiquidCrystal.h> //Biblioteca do LCD
3 int spkr = 8; //Pino digital para o sensor
4 int hall = 0; //Pino analogico para o sensor
5 float value; //Var. spkr e hall do tipo float
6 LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2); //Indicador dos pinos utilizados
7 void setup(){ //Setup
8   lcd.begin(16, 2); //Ajuta Primeira linha do LCD
9   lcd.setCursor(0,0); //Ajuta segunda linha do LCD
10  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(hall_digital),magnetDetected,HIGH)
    ; //Valor inicial do sensor: high
11  pinMode(spkr,OUTPUT); } //Defini o pino como output
12 void loop(){ //Loop
13  digitalWrite(spkr,LOW); //Defini spkr como low
14  value = analogRead(A0)*5; //Valor serial multiplicado por 5
15  value = value / 1023.0; //Var. Value dividido em 1023
16  float uTesla = (value - 2.6) * 15; //Atribui valores a uTesla
17  float mTesla = (value - 2.6) * 1.5 //Atribui valores a mTesla
18  mTesla = mTesla / 100; //Atribui valores a mTesla
19  lcd.setCursor(0,0); //Ajuta Primeira linha do LCD
20  lcd.print(mTesla); //Imprimi valores de mTesla
21  lcd.print(" "); //Imprimi " "
22  lcd.print("mT "); //Mostra mT depois Leitura
23  lcd.setCursor(0,1); //Ajuste da segunda linha do LCD
24  lcd.print(uTesla); //Imprime valores de uTesla
25  lcd.print(" "); //Imprime " "
26  lcd.print("uT "); //Mostra uT depois Leitura
27  delay(500); } //Delay de 0,5 segundos
28 void magnetDetected(){ //Sensor detectando o campo
29  digitalWrite(spkr,HIGH); //Defini spkr como high
30 }

```

### Código 4: Utilizando o sensor de tensão AC

```

1 #include <Filters.h> //Biblioteca carregada
2 float testFrequency = 60; //testFrequency do tipo float
3 float windowLength = 50.0/testFrequency; //windowLength do tipo float
4 #include <Wire.h> //Biblioteca carregada
5 #include <LiquidCrystal.h> //Biblioteca do LCD
6 LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2); //Indicador dos pinos utilizados
7 int Sensor = 0; //Pino A0 definido para o sensor
8 float intercept = - 0.04; //Var. intercept do tipo float
9 float slope = 0.0405; //Var. slope do tipo float
10 float volts; //Var. volts do tipo float
11 unsigned long periodo = 1000; //Var. periodo = 1000
12 unsigned long tiempoAnterior = 0; //Var. tiempoAnterior = 0
13 void setup() { //Setup
14  Serial.begin(9600); //Inicia leitura Serial
15  lcd.begin(16, 2); //Ajustar Primeira linha do LCD
16  lcd.setCursor(2,0); //Ajuste da segunda linha do LCD
17  lcd.print("Tensao"); //Defini a frase do diplay
18  delay(5000); } //Delay de 5 segundos
19 void loop() { //Loop
20  RunningStatistics inputStats; //Comandos da biblioteca Filters
21  inputStats.setWindowSecs(windowLength); //Comandos da biblioteca Filters
22  while(true) { //Enquanto true, execute
23  Sensor = analogRead(A0); //Leitura do Pino A0
24  inputStats.input(Sensor); //Imprime o valor do sensor

```

```

25 if((unsigned long)(millis() - tiempoAnterior) >= periodo) {
        //Condicional
26 volts = intercept + slope * inputStats.sigma();
        //Deslocamento e amplitude
27 Serial.print("\tVoltage: ");
        //Frase da tela serial
28 Serial.println(volts);
        //Mostra valores seriais
29 lcd.setCursor(0,0);
        //Ajusta Primeira linha do LCD
30 lcd.print("Voltage");
        //Defini a frase do diplay
31 lcd.setCursor(0,1);
        //Ajuste da segunda linha do LCD
32 lcd.print(volts);
        //Imprimi valores volts
33 tiempoAnterior = millis();
        //Delay em milissegundos
34     }
35 }
36 }

```

### Código 5: Utilizando o sensor de tensão DC

```

1 #include <LiquidCrystal.h> //Biblioteca carregada
2 LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2); //Indicador dos pinos utilizados
3 #define pinoSensor A0 //Pino analogico para o sensor
4 float valorTensaoDC; //Var. valorTensaoDC, float
5 int amostragem = 1000; //Var. para media, int
6 float mediaTotalTensaoDC = 0; //Var. para coma das medias
7 float valorFinalTensaoDC = 0; //Var. valorFinalTensaoDC, float
8 float voltsporUnidade = 0.004887586; //Var. do ADC 5%/1023
9 float R1 = 29800.0; //Var. R1 = 200 K
10 float R2 = 7400.0; //Var. R2 = 200 K
11 void setup() { //Setup
12 Serial.begin(9600); //Inicia leitura serial
13 lcd.begin(16, 2); //Ajusta Primeira linha do LCD
14 lcd.setCursor(3,0); } //Ajuste da segunda linha do LCD
15 void loop() { //Loop
16 mediaTotalTensaoDC = 0; //Zera os valores medios
17 for (int i = 0; i < amostragem ; i++) { //Repeti 1000 vezes
18 valorTensaoDC = analogRead(pinoSensor);
        //Receber os valores seriais
19 valorTensaoDC = (valorTensaoDC * voltsporUnidade);
        //Calcular o valor na base ADC
20 mediaTotalTensaoDC = mediaTotalTensaoDC + (valorTensaoDC / (R2 / (R1 +
        R2))); } //Calculos
21 valorFinalTensaoDC = mediaTotalTensaoDC / amostragem;
        //Calcular media dos resultados
22 Serial.print("Valor: "); //Mostra no monitor serial
23 Serial.print(valorFinalTensaoDC); //Mostra valores seriais
24 Serial.println(" VOLTS"); //Frase apos valores seriais
25 lcd.setCursor(0,0); //Ajusta Primeira linha do LCD
26 lcd.print("Tensao DC"); //Defini a frase do diplay
27 lcd.setCursor(0,1); //Ajuste da segunda linha do LCD
28 lcd.print(valorFinalTensaoDC); //Imprime valores
29 delay(1000); //Delay de 1 segundo
30 }

```

### Código 6: Utilizando o sensor de corrente

```

1 #include <Wire.h> //Biblioteca carregada
2 #include <LiquidCrystal.h> //Biblioteca do LCD
3 LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2); //Indicador dos pinos utilizados
4 int pinoSensor = A0; //Pino A0 definido para o sensor
5 int sensorValue_aux = 0; //Var. sensorValue_aux , float
6 float valorSensor = 0; //Var. valorSensor , float
7 float valorCorrente = 0; //Var. valorCorrente , float

```

```

8 float voltsporUnidade = 0.004887586; //Var. do ADC 5%/1023
9 float sensibilidade = 0.066; //Sensibilidade em 127V
10 int tensao = 127; //Var. tensao = 127 , int
11 void setup() { //Setup
12   Serial.begin(9600); //Inicia monitor seriais
13   pinMode(pinoSensor, INPUT); //Var. pinoSensor de entrada
14   lcd.begin(16, 2); //Ajusta Primeira linha do LCD
15   lcd.setCursor(3,0);} //Ajuste da segunda linha do LCD
16 void loop() { //Loop
17   for(int i=1000; i>0; i--){ //Repetir 1000 vezes
18     sensorValue_aux = (analogRead(pinoSensor) -510);
19     valorSensor += pow(sensorValue_aux,2); //Ajuste do valor calibrado
20     delay(1);} //Soma dos quadrados //Delay de 1 Milissegundo
21     valorSensor = (sqrt(valorSensor/ 10000)) * voltsporUnidade;
22     valorCorrente = (valorSensor/sensibilidade); //Media quadratica + ajustes
23     if(valorCorrente <= 0.095){ //Considerando 185 mV por amper //Condicional
24       valorCorrente = 0;} //Var. valorCorrente = 0
25       valorSensor =0; //Var. valorSensor = 0
26       lcd.clear(); //Limpar o LCD
27       lcd.setCursor(1,0); //Ajusta da Primeira linha do
        LCD
28       Serial.print("Corrente : "); //Frase da tela serial
29       Serial.print(valorCorrente, 3); //Mostra valores seriais
30       Serial.println(" A "); //Frase apos valores seriais
31       lcd.print("Corrente :"); //Defini a frase do diplay
32       lcd.setCursor(1, 1); //Ajuste da segunda linha do LCD
33       lcd.print(valorCorrente, 3); //Imprime valorCorrente
34       lcd.print("A"); //Medida em Amper
35       delay(100); //Delay de 1 segundos
36 }

```

### Código 7: Leitura serial

```

1 void setup() { //Setup
2   Serial.begin(9600);} //Iniciar leitura serial
3 void loop() { //Loop
4   int sensorValue = analogRead(A0); //Pino A0 definido para o sensor
5   Serial.println(sensorValue); //Imprime valores seriais
6   delay(1); //Delay de 1 milissegundo
7 }

```

## ANEXO B – Roteiro sobre funcionamento e usabilidade dos materiais

Este anexo tem como objetivo informar os materiais utilizados e como foram montados os protótipos experimentais, visando informar os meios e dificuldades para montagem, caso alguém queira replicar ou criar novos protótipos para experimentação dos eventos físicos se baseando nos itens já criados. Os experimentos que serão comentados nesse anexo visa ajudar o aluno, logo serão disponibilizado detalhes acerca da montagem e de testes, certificando que o experimento está funcionando corretamente.

Os materiais utilizados para o experimento de Oersted, conforme a figura Figura B.1, foram: uma base de madeira, dois pregos grandes, um recipiente cilíndrico e bastante fio de cobre. Os pregos foram cravados na base de madeira de forma que ficasse envolta do recipiente cilíndrico. O objetivo dos pregos são para servir como terminais elétricos, onde serão inseridos cargas por meio de um circuito que entrará pelo prego 1 e sairá no prego 2, fechando dessa forma o circuito.

Nos pregos foram enrolados as pontas do fio de cobre, que após ser envolvido varias vezes envolta do recipiente cilíndrico fica com os terminais enrolados nos pregos, facilitando que a carga circule por todo fio de cobre que está enrolado em forma de espiras, formando uma bobina grande em que o campo eletromagnético será intensificado. Para que o fio de cobre não solte do recipiente, foi inserido cola super bonder para fixar os fios de forma organizada, um do lado outro. Apenas as pontas do fio de cobre ficaram soltas e foram raspadas com auxílio de uma faca para deixar os contatos melhores para a condução elétrica.

Foi utilizado também uma bússola para a orientação do campo eletromagnético gerado pela bobina, o bússola reage ao circuito, quando em funcionamento, identificando o campo eletromagnético e mostrando o sentido das linhas de indução eletromagnética através da regra da mão direita.

Os primeiros testes feitos com esse experimento foi apenas com 1 fio de cobre esticado, mas a intensidade do campo eletromagnético era muito fraca e difícil se ser detectada ou medida pelos sensores. Logo a escolha por uma bobina foi para intensificar o campo eletromagnético, ficando mais fácil de ser detectado e medido pelos sensores.

Figura B.1 – Experimento de Oersted



Fonte: Foto Projeto

Os materiais utilizados para o experimento do motor simples, conforme a Figura B.2, foram: uma base de madeira, quatro pregos grandes, fio de cobre, fita isolante e ímãs de neodímio. Os pregos foram cravado em quatro cantos da base de madeira de forma a centralizar a bobina giratória feita de fio de cobre de forma manual. Os dois pregos de cima da base de madeira foram isolados com fita isolante, deixando apenas os dois pregos de baixo como contatos elétricos. há duas ponte entre os pregos de cima da base e os pregos de baixo, sendo interligadas por um fio de cobre. Na parte central da ponte de fio de cobre, foi feito uma abertura para que fosse colocado a bobina giratória, feito nas duas pontes, e a bobina giratória foi colocado entre esses contatos, fazendo que a bobina giratória tenha livre movimentação para girar. Todos os terminais com fio de cobre foram raspados para melhorar a condução elétrica.

Na parte central da base de madeira foi posicionada alguns ímãs de neodímio, que irá influencia na bobina giratória quando essa estiver energizada, fazendo a bobina giratória girar enquanto haver cargas elétricas fechando o circuito.

Para o testes houve algumas dificuldades para fazer a bobina girar, pois isso só ocorre se a bobina estiver numa distância certa dos ímãs de neodímio, após algumas tentativas essa posição foi encontrada e o experimento ficou como deveria.

Figura B.2 – Experimento do Motor Simples



Fonte: Foto Projeto

Os materiais utilizados para o gerador eletromagnético, Figura B.3, foram: Um motor de furadeira elétrica, uma chave de boca, fita isolante, um pedal de bicicleta e um LED. Foi utilizado cola durapoxi para colar a chave de boca com o pedal de bicicleta e na ponta da parte giratória do motor de furadeira.

Ao girar o pedal o movimento é transferido para a parte central do motor de furadeira, fazendo o eixo central girar, no centro do motor é gerado um corrente induzida que faz o LED acender. O LED fica nos terminais do motor de furadeira.

Esse experimento foi fácil de montar, e ele funcionou normalmente como esperado, não houve problemas pois a parte principal dele está dentro do motor (gerador) e essa parte já estava pronta. Não houve problemas para se obter os valores com os sensores.

Figura B.3 – Experimento do Gerador Eletromagnético



Fonte: Foto Projeto

Os materiais utilizados para os eletroímãs, Figura B.4, foram: duas bases de madeira, fio de cobre encapado, cinco pregos grandes, 1 parafuso francês, uma lata de cerveja, um botão on/off, uma lamina de ferro e bastante fio de cobre. Para fazer os eletroímã basta enrolar varias vezes o fio de cobre envolta do prego ou do parafuso francês, formando varias espiras, a quantidade de voltas foi de 300 a 400 voltas de fio em torno do prego e do parafuso francês, as pontas do fio de cobre foram anexados em dois pregos, cada ponta em um terminal elétrico, facilitando a condução por meio da bobina em volta do prego.

O eletroímã 1 (eletroímã que puxa metais) foi anexado a base de madeira em torno de dois pregos que são os terminais elétricos. No eletroímã 2 (campainha eletromagnética) também foi anexado dois pregos como terminais elétricos e um botão on/off para desligar a campainha quando necessário. No eletroímã 2 a palheta colocada na lata de cerveja é atraída para o parafuso francês, quando o eletroímã está sendo energizado, nesse instante há a produção de sons de acionamento, caracterizando a campainha. A lâmina foi pregada na lata de cerveja e colada com cola superbonder, a lata de cerveja foi pregada em duas extremidades na base de madeira para poder ser fixada.

Figura B.4 – Experimento do n Eletroímã



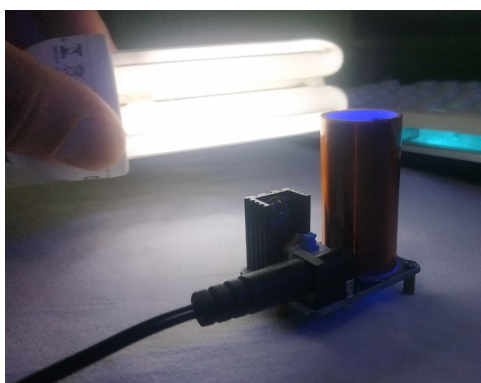
Fonte: Foto Projeto

Foi usado como material para a montagem da mini bobina de tesla: uma placa eletrônica para montagem do circuito, cobre esmaltado enrolado num pedaço de cano de forma uniforme, interruptor on/off, transistor AN2222A, um resistor de 22 k $\Omega$ , um conector de fonte de 9V, uma fonte de 9V e uma lâmpada Fluorescente. O fio de cobre foi enrolado varias vezes num pedaço de cano, formando varias espiras, a espiras foram coladas com supercola para manter os fios bem organizados. Também foi feito dois furos no cano, um em cima e um em baixo, para que as pontas do fio passasse.

No placa de montagem o conector da entrada da fonte foi conectada a chave on/off, que irá controlar o funcionamento do dispositivo. O pino central do transistor é ligado a bobina e no resistor de 22 k $\Omega$ , as outras pontas do transistor são interligadas aos terminais da chave on/off voltando para o conector da fonte fechando assim o circuito.

O experimento funcionou corretamente não houve problemas quantos as testes, pois a mini bobina sempre acendia a lâmpada fluorescente.

Figura B.5 – Experimento da Mini Bobina de Tesla



Fonte: Foto Projeto