



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS  
FACULDADE DE FÍSICA**

**DANILO ANTÔNIO BARRA DOS SANTOS**

**EXPERIMENTAÇÃO COM ARDUINO PARA A COMPREENSÃO DE  
CIRCUITO ELÉTRICOS**

T

Trabalho de conclusão de Curso apresentado à  
Faculdade de Física da Universidade Federal do  
Pará, como requisito para a obtenção do grau de  
Licenciatura em Física.  
Orientação: Profa. Dra. Maria Lúcia de Moraes Costa.

**BELÉM  
2023**





## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter sempre me dado saúde e forças para permanecer firme em meus propósitos. Pois através dessa fé, pude continuar e jamais desistir diante das diversas dificuldades enfrentadas.

Agradeço ao meu pai Domingo dos Santos, que sempre me deu apoio em todos os momentos, me incentivando a continuar firme no curso, estudando e me dedicando cada vez mais.

Agradeço ao meu irmão Davi nazareno, que sempre me incentivou com palavras de determinação que me ajudaram bastante nos momentos em que pensei em desistir.

Gostaria de agradecer a minha mãe Maria Cristina, que me deu todo o suporte necessário durante todo esse processo.

Ao meu primo Eduardo Bernardes que atuou significativamente em relação a minha entrada na faculdade. Sem o auxílio dele, não estaria concluindo este curso.

Aos meus amigos que me ajudaram bastante tirando dúvidas e elucidando conceitos, em especial o meu amigo Felipe Pinheiro, o qual me auxiliou bastante em relação a várias matérias do curso.

Gostaria de agradecer aos meus professores que compartilharam suas experiências e conhecimentos, sanando dúvidas e exemplificando conceitos importantes na Física. Vale destacar aqui a minha orientadora Prof.Dra. Maria Lúcia de Moraes Costa, a qual sempre me deu todo o suporte em todos esses momentos. Agradeço também ao Prof. Dr. Newton Barbosa, o qual me permitiu acesso ao laboratório para realizar as medidas necessárias para o experimento desse trabalho.

Gradeço a todos os outros que não foram citados aqui mas que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento desse trabalho.

*“Só o conhecimento liberta o homem.”*

*(Dr.Enéas Carneiro)*

## RESUMO

Neste trabalho, o principal objetivo é explicar como a lei de Ohm está relacionada aos circuitos elétricos. E como esta lei pode explicar as diferenças de resultados experimentais entre circuitos com resistores em série e em paralelo. Para o desenvolvimento do projeto principal, são utilizados diversos componentes para a montagem dos circuitos, entre eles está a placa de prototipagem arduino UNO, o qual será utilizado para programar o circuito do experimento *botão de pressão*. No CAPÍTULO 1, o trabalho visa explicar a respeito dos conceitos básicos de circuitos elétricos, além de explicitar a função de cada componente, juntamente com os conceitos físicos que os norteiam. Já no CAPÍTULO 2, o foco está diretamente ligado ao próprio experimento, e aos processos de montagem dos circuitos, tanto em série quanto em paralelo. São apresentados paralelamente, circuitos virtuais que ilustram o experimento real, a fim de facilitar a visualização e a compreensão do processo de montagem dos circuitos. Um recurso virtual utilizado nesse trabalho, para este fim, é o Thinkercad, o qual funciona como uma bancada virtual de laboratório eletrônico. Compreendendo a montagem dos circuitos e a função de cada componente, é possível realizar as medidas experimentais e relacioná-las aos resultados teóricos. Obtendo assim, resultados que podem ser explicados e validados pela lei de Ohm.

## **ABSTRACT**

In this work, the main objective is to explain how Ohm's law is related to electrical circuits. And how this law can explain the differences in experimental results between circuits with resistors in series and in parallel. For the development of the main project, several components are used to assemble the circuits, among them is the Arduino UNO prototyping board, which will be used to program the circuit of the pushbutton experiment. In CHAPTER 1, the work aims to explain the basic concepts of electrical circuits, in addition to explaining the function of each component, along with the physical concepts that guide them. In CHAPTER 2, the focus is directly linked to the experiment itself, and to the processes of assembling the circuits, both in series and in parallel. Virtual circuits that illustrate the real experiment are presented in parallel, in order to facilitate the visualization and understanding of the process of assembling the circuits. A virtual resource used in this work, for this purpose, is Thinkercad, which works as a virtual bench for an electronic laboratory. Understanding the assembly of the circuits and the function of each component, it is possible to carry out the experimental measurements and relate them to the theoretical results. Thus obtaining results that can be explained and validated by Ohm's law.

## LISTAS DE FIGURAS

<b>Figura 1.1:</b> Ilustração de um circuito elétrico para acendimento de uma lâmpada por meio de um interruptor, estando a chave aberta e fechada.....	17
<b>Figura 1.2:</b> Ilustração do circuito lâmpada e interruptor, estando desligado à esquerda e ligado à direita.....	18
<b>Figura 1.3:</b> Ilustração da força gravitacional entre dois corpos.....	19
<b>Figura 1.4:</b> Ilustração das linhas de força e das superfícies equipotenciais de um campo gravitacional.....	19
<b>Figura 1.5:</b> Ilustração da variação de energia potencial gravitacional.....	20
<b>Figura 1.6:</b> Ilustração de uma bateria atuando como gerador elétrico de um circuito simples.....	22
<b>Figura 1.7:</b> Ilustração da pilha comum.....	23
<b>Figura 1.8:</b> Ilustração dos componentes da placa arduino UNO.....	24
<b>Figura 1.9:</b> Entradas e saídas digitais e analógicas do arduino UNO.....	25
<b>Figura 1.10:</b> Circuito regulador.....	26
<b>Figura 1.11:</b> Circuito de proteção da USB.....	26
<b>Figura 1.12:</b> Plataforma IDE do arduino UNO.....	28
<b>Figura 1.13:</b> Menu principal.....	29
<b>Figura 1.14:</b> Sentido real e convencional da corrente elétrica em um circuito.....	30
<b>Figura 1.15:</b> Ilustração da diferença entre fios e cabos.....	31
<b>Figura 1.16:</b> Ilustração dos elétrons livres em um condutor.....	31
<b>Figura 1.17:</b> Ilustração dos elétrons em movimento ordenado em um circuito.....	32
<b>Figura 1.18:</b> Ilustração dos elétrons em um condutor, na parte superior da imagem, temos os condutores de carga sem a presença de uma d.d.p., e na parte inferior, com a d.d.p.....	32
<b>Figura 1.19:</b> Relação gráfica entre tensão elétrica e intensidade de corrente.....	33
<b>Figura 1.20:</b> Ilustração do comprimento e da área de seção transversal de um condutor.....	34
<b>Figura 1.21:</b> Código de cores de resistores.....	35
<b>Figura 1.22:</b> Ilustração do cristal de Silício (Si).....	36
<b>Figura 1.23:</b> Ilustração da dopagem tipo N em um cristal de Silício (Si).....	36

<b>Figura 1.24:</b> Ilustração da dopagem tipo P em um cristal de Silício (Si).....	37
<b>Figura 1.25:</b> Ilustração do diodo e sua representação eletrônica.....	37
<b>Figura 1.26:</b> Ilustração do diodo de junção PN.....	37
<b>Figura 1.27:</b> Ilustração do diodo de junção PN em polarização reversa.....	38
<b>Figura 1.28:</b> Ilustração do diodo de junção PN em polarização direta.....	38
<b>Figura 1.29:</b> Ilustração da junção PN com polarização direta.....	39
<b>Figura 1.30:</b> Ilustração do LED vermelho.....	39
<b>Figura 1.31:</b> Ilustração do processo de eletroluminescência.....	40
<b>Figura 1.32:</b> Ilustração do esquema de conexões da placa protoboard.....	41
<b>Figura 2.1:</b> Ilustração de um circuito aberto e um circuito fechado.....	43
<b>Figura 2.2:</b> Ilustração do arduino Uno.....	44
<b>Figura 2.3 :</b> Ilustração do cabo USB.....	44
<b>Figura 2.4:</b> Ilustração da Protoboard (placa de ensaio).....	45
<b>Figura 2.5:</b> Ilustração do resistor de 220Ω.....	45
<b>Figura 2.6 :</b> Ilustração do resistor de 10kΩ.....	46
<b>Figura 2.7:</b> Símbolo do resistor.....	46
<b>Figura 2.8:</b> Ilustração do Led vermelho.....	46
<b>Figura 2.9:</b> Símbolo do Led vermelho.....	47
<b>Figura 2.10:</b> Ilustração do Botão de pressão.....	47
<b>Figura 2.11:</b> Sistema interno do Botão.....	47
<b>Figura 2.12:</b> Terminais do Botão.....	48
<b>Figura 2.13:</b> Código na interface IDE do projeto.....	49
<b>Figura 2.14:</b> Montagem do circuito elétrico do projeto – parte 1.....	50
<b>Figura 2.15:</b> Montagem do circuito elétrico do projeto-parte 2.....	51
<b>Figura 2.16:</b> Montagem do circuito elétrico do projeto-parte 3.....	52
<b>Figura 2.17:</b> Funcionamento do circuito elétrico em série do projeto-parte 4.....	53

<b>Figura 2.18:</b> Circuito montado no Thinkercad.....	54
<b>Figura 2.19:</b> Valor experimental da tensão nos terminais do LED.....	57
<b>Figura 2.20:</b> Valor experimental da tensão nos terminais do Resistor de 220Ω.....	58
<b>Figura 2.21:</b> Montagem do circuito elétrico do projeto em paralelo.....	59
<b>Figura 2.22:</b> Funcionamento do circuito elétrico do projeto em paralelo.....	60
<b>Figura 2.23:</b> Circuito montado no Thinkercad.....	61
<b>Figura 2.24:</b> Valor experimental da tensão nos terminais do LED.....	64
<b>Figura 2.25:</b> Valor experimental da tensão nos terminais do resistor R1 de 220Ω em paralelo.....	65
<b>Figura 2.26:</b> Valor experimental da tensão nos terminais do resistor R2 de 220Ω em paralelo.....	66

## LISTAS DE TABELAS

**Tabela 1.1:** Resistividade de alguns materiais.....38

**Tabela 1.2:** Semicondutores e suas cores de emissão com seus respectivos comprimentos de onda próprio.....32

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>Objetivo geral.....</b>	<b>16</b>
<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>16</b>
<b>1 CAPÍTULO 1 :CONCEITOS FÍSICOS BÁSICOS.....</b>	<b>17</b>
<b>1.1 Conhecendo os componentes utilizados no circuito.....</b>	<b>17</b>
<b>1.1.1 Interruptor/chave seletora.....</b>	<b>17</b>
<b>1.1.2 Gerador elétrico/fonte de Tensão.....</b>	<b>18</b>
<b>1.1.2.1 Conceitos físicos relacionados a tensão elétrica.....</b>	<b>18</b>
<b>1.1.2.2 Explicações e ilustrações a respeito do componente pilha/bateria.....</b>	<b>22</b>
<b>1.1.3 Arduino UNO.....</b>	<b>23</b>
<b>1.1.3.1 Contexto prévio da criação do arduino UNO.....</b>	<b>23</b>
<b>1.1.3.2 Vantagens.....</b>	<b>24</b>
<b>1.1.3.3 O hardware arduino UNO.....</b>	<b>24</b>
<b>1.1.3.4 O software arduino UNO.....</b>	<b>27</b>
<b>1.1.4 Cabos de conexão/condutores.....</b>	<b>29</b>
<b>1.1.4.1 Ideia geral do transporte de elétrons através de condutores em um circuito - conceitos físicos.....</b>	<b>29</b>
<b>1.1.4.2 Sobre a constituição física dos condutores.....</b>	<b>30</b>
<b>1.1.4.3 Transporte de elétrons dentro do condutor.....</b>	<b>31</b>
<b>1.1.4.4 Primeira Lei de Ohm.....</b>	<b>32</b>
<b>1.1.4.5 Resistividade.....</b>	<b>33</b>
<b>1.1.4.6 Resistividade dos materiais condutores.....</b>	<b>33</b>
<b>1.1.5 Resistor.....</b>	<b>37</b>
<b>1.1.6 Diodo emissor de luz (LED).....</b>	<b>38</b>
<b>1.1.7 Matriz de Contato (Protoboard).....</b>	<b>43</b>

<b>2 CAPÍTULO 2: EXPERIMENTO BOTÃO DE PRESSÃO (PUSH BUTTON).....</b>	<b>45</b>
2.1 Objetivos do projeto.....	45
2.2 Explicação do funcionamento do circuito.....	45
2.3 Materiais utilizados.....	46
2.4 Explicando o componente botão de pressão.....	49
2.5 Programação arduino.....	50
2.5.1 Código de programação comentado.....	50
2.5.2 Código na interface IDE.....	51
2.6 Circuito elétrico em série.....	52
2.6.1 Descrição da montagem do circuito elétrico em série.....	52
2.6.2 Cálculos realizados para o circuito em série.....	57
2.6.2.1 Cálculo da tensão sobre o LED no circuito em série do projeto.....	57
2.6.2.2 Cálculo da Resistência equivalente e da corrente total do circuito.....	57
2.6.2.3 Cálculo da tensão sobre o resistor no circuito do projeto.....	58
2.7 Medições do experimento do circuito em série.....	59
2.7.1 Medição da tensão nos terminais do LED.....	59
2.7.2 Medições da tensão nos terminais do Resistor de $220\Omega$ em série.....	60
2.8 Circuito elétrico em paralelo.....	61
2.8.1 Descrição da montagem do circuito elétrico em paralelo.....	61
2.8.2 Cálculos realizados para o circuito em paralelo.....	63
2.8.2.1 Cálculo da tensão sobre os terminais do LED no circuito em paralelo do projeto.....	63
2.8.2.2 Cálculo da resistência equivalente e da corrente total do circuito.....	64
2.8.2.3 Cálculo da corrente total do circuito em paralelo.....	64
2.8.2.4 Cálculo da tensão nos terminais do LED.....	65

2.8.2.5 Cálculo da tensão nos terminais do resistor R1 de $220\Omega$ em paralelo.....	65
2.10 Medições do experimento do circuito em paralelo.....	66
2.10.1 Medições da tensão nos terminais do LED no circuito em paralelo.....	66
2.10.2 Medições da tensão nos terminais do primeiro resistor R1 de $220\Omega$ .....	67
2.10.3 Medições da tensão nos terminais do segundo resistor R2 de $220\Omega$ .....	68
2.11 Algumas considerações a respeito dos valores experimentais.....	69
2.12 Conclusões a partir dos experimentos.....	69
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71

## INTRODUÇÃO

A Física está envolvida no desenvolvimento científico e tecnológico em diversos âmbitos, entretanto, sua aprendizagem no ensino médio por exemplo, apresenta altos índices de reprovação que demonstram um baixo nível de aproveitamento. É importante considerar que nem sempre os resultados das provas realmente revelam uma avaliação precisa do aluno. Isto devido a diversos outros fatores que podem influenciar na postura do aluno diante das materiais escolares. Existem fatores como, salas e equipamentos de laboratório danificados, que não oferecem de modo geral, uma boa estrutura. Assim como as dificuldades enfrentadas pelos alunos em relação a alguns professores, que infelizmente não possuem conhecimentos didáticos necessários para lecionar, fazendo com que alguns alunos não compreendam o assunto de forma efetiva. Além de situações relacionadas as próprias normas escolares, as quais em alguns casos, por meio de metodologias que visam apenas o rendimento dos alunos em provas tradicionais, por exemplo, não permitem a liberdade necessária para o desenvolvimento de outras metodologias que possam auxiliar na compreensão dos fenômenos físicos, e a relação que estes possuem com a teoria.

Mediante a essas circunstâncias, este trabalho visa introduzir uma plataforma eletrônica de prototipagem de fácil utilização, chamada arduino UNO. O arduino UNO é um componente bastante interessante, que pode ser utilizado em projetos de robótica pedagógica, a qual tem o objetivo de mostrar por meio da tecnologia, os conceitos físicos relacionados a cada projeto. Através da utilização dessa tecnologia na escola, é possível incorporar dentro do processo didático ferramentas que auxiliem o conhecimento de disciplinas como física, matemática, dentre outras. Permitindo aos estudantes desenvolverem suas capacidades de percepção e investigação, elaborando soluções de problemas e agindo mediante a eles, tornando-se estudantes ativos e protagonistas no processo, e não apenas passivos.

O experimento que será tratado nesse trabalho tem como objetivo mostrar como a ferramenta arduino UNO pode ser utilizada para a montagem de circuitos elétricos simples, e além disso, revelar a fins introdutórios, as possibilidades variadas de como esse componente pode ser utilizado para projetos pedagógicos e de pesquisa.

## **Objetivo Geral**

Utilizar o arduino UNO como uma ferramenta para a montagem do experimento *botão de pressão*, a fim de apresentar a compatibilidade entre os resultados teóricos e experimentais de tensão elétrica sobre alguns componentes. Além de explicar as diferenças de valores obtidos para tensão, que existem entre o circuito montado com resistores em série e em paralelo.

É perfeitamente possível realizar o experimento utilizando no lugar do arduino UNO uma fonte de tensão. Porém este trabalho visa introduzir esse componente a fim de mostrar o quanto ele pode ser versátil, inclusive para experimentos simples como este. A partir de experimentos simples com o arduino juntamente com o conhecimento de suas funções, é possível realizar diversos projetos mais complexos que podem ser aplicados e utilizados tanto na educação básica como na pesquisa.

## **Objetivos específicos**

Mostrar experimentalmente por meio da lei de Ohm, que a tensão elétrica é proporcional a resistência dos resistores, e que a corrente elétrica é inversamente proporcional a resistência para uma mesma tensão. Além de realizar os cálculos teóricos e verificar a veracidade dos valores obtidos por meio das medições experimentais.

## Capítulo 1: Conceitos físicos básicos

O primeiro experimento a ser apresentado, é o **BOTAO DE PRESSÃO**. Por meio dele, pode-se demonstrar o funcionamento de um aparelho elétrico bastante comum e muito utilizado no nosso cotidiano. A aplicação deste experimento, remete a idéia de um dispositivo elétrico que obedece a um sistema binário (0 e 1), onde 1 é ligado e 0 desligado. Os disjuntores e interruptores são exemplos perfeitos da aplicação desse experimento em nosso dia a dia. Compreende-se que a função destes dispositivos, de forma geral, é interromper ou liberar a passagem de tensão elétrica ao circuito em questão, isso por meio de um simples ato de pressionar um botão ou acionar uma chave. As utilidades deste princípio são diversas. Esta configuração de circuito se caracteriza por ter contato momentâneo. Ou seja, funciona apenas quando há o contato de pressão do botão, a exemplo de alguns telefones, calculadoras, campainhas, teclados e muitos outros aparelhos elétricos. Os componentes imprescindíveis neste modelo de circuito elétrico geralmente são:

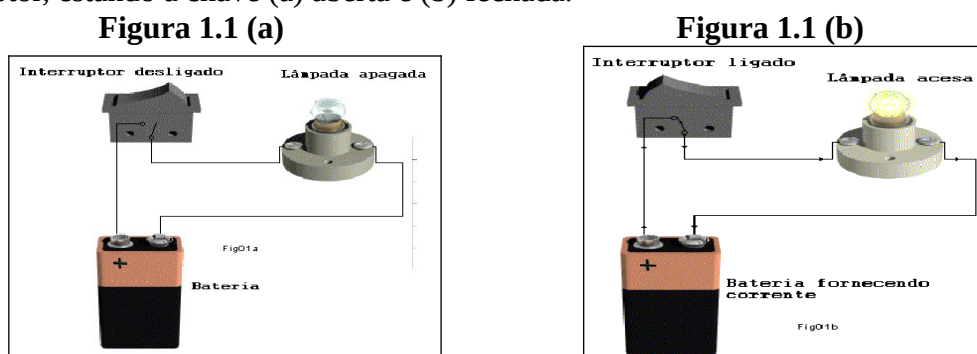
- Interruptor/chave seletora.
- Gerador elétrico ou também chamado de fonte.
- Cabos de conexão.
- Resistores, que normalmente são necessários para limitar a corrente elétrica no circuito.
- O aparelho eletrônico do qual deseja-se que um fluxo de corrente elétrica o faça executar sua função. Neste caso, é o LED vermelho.
- Arduino UNO.
- Protoboard também chamada de placa de ensaio.

### 1.1: Conhecendo os componentes utilizados no circuito

#### 1.1.1 Interruptor/chave seletora

A Figura 1.1, dada a seguir, mostra de forma mais geral a ideia do experimento, onde tem-se o funcionamento de uma lâmpada, por meio de um interruptor, com o circuito elétrico sendo alimentado por uma bateria. A **Figura 1.1** apresenta duas situações, onde em (a) o circuito encontra-se aberto, e em (b), fechado.

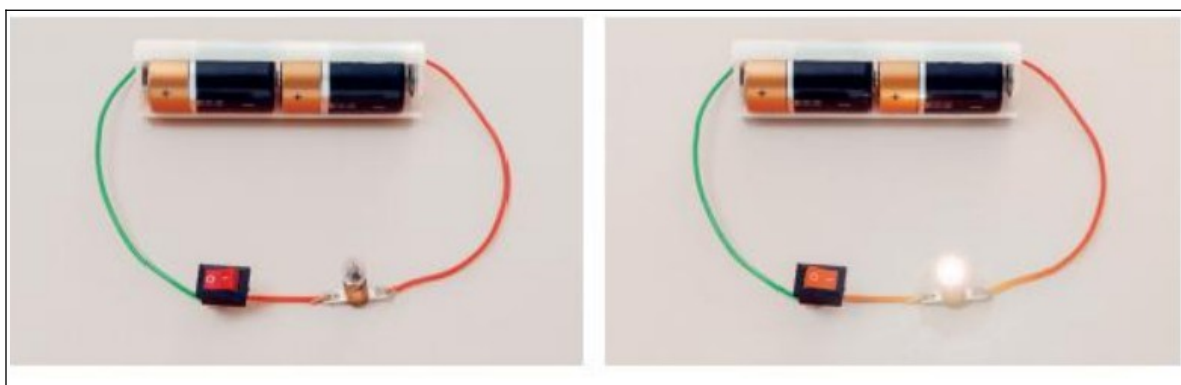
**Figura 1.1:** Ilustração de um circuito para acendimento de uma lâmpada por meio de um interruptor, estando a chave (a) aberta e (b) fechada.



Fonte: <http://www.etelg.com.br/downloads/electronica/cursos/aulas/aula01.html>

Este tipo de circuito é um dos mais básicos e mais utilizados em corrente contínua (C.C). Apesar de ser um circuito bastante simples, é o mais fundamental para a compreensão dos princípios eletrônicos. A **Figura 1.3**, mostra o circuito lâmpada e interruptor, alimentado agora por duas pilhas em série.

**Figura 1.2:** Ilustração do circuito lâmpada e interruptor, estando desligado à esquerda e ligado à direita.



Fonte: (PIETROCOLA, 2016).

## 1.1.2 Gerador elétrico/fonte de tensão

### 1.1.2.1 Conceitos físicos relacionados a tensão elétrica

Um circuito elétrico consiste em um sistema físico, composto por instrumentos eletrônicos que funcionam a base de energia elétrica, os quais tem funções variadas no circuito, sendo, entretanto, os itens de maior atenção ao usuário, pois são os aparelhos que irão desempenhar alguma tarefa, como é o caso dos aparelhos eletrodomésticos e dos computadores, sendo que a fonte de alimentação de energia vem da subestação de distribuição de energia elétrica, relativa a uma cidade ou região geográfica do País. No caso de circuitos menores, e independentes da rede elétrica residencial, temos as pilhas e baterias, que atuam como o gerador elétrico do circuito, também chamado de fonte de tensão, tendo apenas a finalidade de fornecer ao circuito em questão a energia a qual lhe é própria.

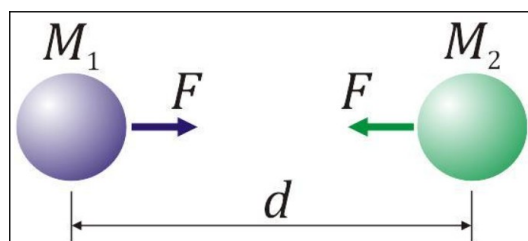
### Energia Potencial Elétrica

Toda carga elétrica por sua própria natureza, produz um campo elétrico que se permeia pelo espaço, capaz de interagir com outra carga e produzir forças de atração e repulsão. A esta interação entre cargas por meio de um campo elétrico, dar-se o nome de **energia potencial elétrica**, a qual, por meio dessa interação pode transformar-se em energia cinética, justamente pelo movimento de atração ou repulsão que essas cargas podem realizar. No caso da terminologia d.d.p (diferença de potencial), é importante frisar que este se refere a diferença de **potencial elétrico**, e não a diferença de **energia potencial elétrica**. Existe uma diferença entre ambos. Para a melhor compreensão e entendimento de energia potencial elétrica e de potencial elétrico, é de grande auxílio a compreensão do conceito de campo. Pode-se dessa maneira, a fins introdutórios, fazer uma comparação bastante interessante entre o **campo elétrico** e o **campo gravitacional**.

## Campo Gravitacional

Já é sabido que qualquer corpo na superfície da Terra está sujeito ao campo gravitacional terrestre. A interação entre dois ou mais corpos que possuem massa ocorre devido ao chamado campo gravitacional. Ou seja, o campo gravitacional é a região de perturbação gravitacional que um corpo gera ao seu redor. A fins de simplificação, a **Figura 1.3**, dada a seguir, ilustra a atuação da força gravitacional entre dois corpos:

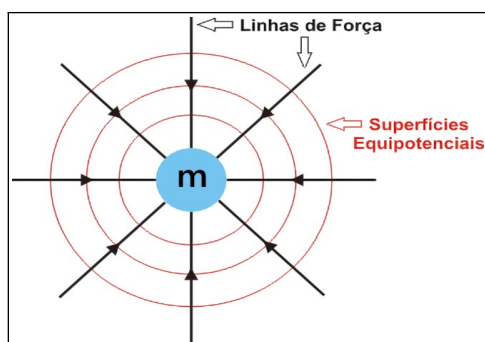
**Figura 1.3:** Ilustração da força gravitacional entre dois corpos.



Fonte: <https://brainly.com.br/tarefa/28560011>

A primeira observação que se deve ter a respeito dos campos gravitacionais é que estes sempre promovem forças de **atração** entre massas. Ou seja, enquanto campos elétricos podem ter caráter **atrativo** ou **repulsivo** (isso mediante a natureza das cargas elétricas em questão), os campos gravitacionais sempre possuem caráter **atrativo**. A respeito dos campos elétricos Convencionam-se dessa maneira pois íons com cargas diferentes tendem a se atrair devido a necessidade de estabilidade natural, portanto, essas cargas ao se atraírem, o sistema passa a ser estável. No caso da repulsão, a natureza dos íons não são diferentes, e ambos “precisam” ser estabilizados, portanto não há atração entre eles. A respeito do campo gravitacional, pode-se representar de forma bem simples, isto é, não levando em consideração as ideias mais complexas de deformação do espaço, através das superfícies equipotenciais e das linhas de força, ilustradas na **Figura 1.4**, e como este permeia o espaço, fazendo uma mediação entre as forças.

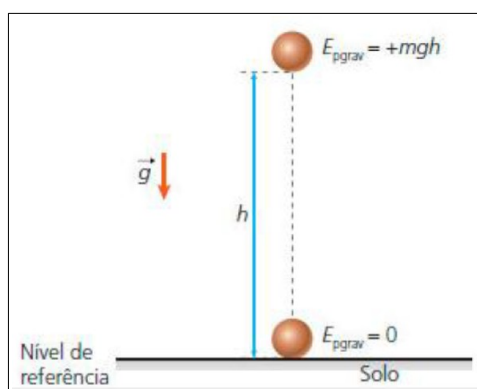
**Figura 1.4:** Ilustração das linhas de força e das superfícies equipotenciais de um campo gravitacional.



Fonte: Adaptada de <https://www.alfaconnection.pro.br/fisica/forcas/gravitacao/campos-gravitacionais-nao-uniformes/>

As superfícies equipotenciais representam os níveis de intensidade do campo. Assim como a força gravitacional, a força elétrica varia com o inverso do quadrado da distância entre os corpos. Portanto, tem-se mais um caso análogo entre ambos. Ou seja, quanto mais distante um corpo estiver do outro, menor será a intensidade do campo, e conseqüentemente, menor será a força sobre ele. A diferença de potencial do campo está diretamente ligado a ideia de intensidade. Ou seja, potencial é uma grandeza relacionada ao campo gerado, e o quão intenso ele é. A ideia de intensidade está ligada ao trabalho que a força de campo realiza para deslocar um corpo ou partícula de uma posição a outra. Portanto, a título de exemplo, compreende-se que o potencial gravitacional será maior nas proximidades da Terra, onde as superfícies equipotenciais estão mais próximas da mesma. Por meio do conceito de variação de energia potencial gravitacional, pode-se chegar ao entendimento de trabalho. A **Figura 1.5** mostra a ideia de variação de energia potencial gravitacional, e como ela está relacionada diretamente à altura.

**Figura 1.5:** Ilustração da variação de energia potencial gravitacional.



Fonte: <https://estudoemserie.com/energia-potencial-gravitacional/>

Verifica-se que a energia potencial gravitacional está em função da altura do corpo. Quando este corpo encontra-se a uma determinada altura, ele possui energia potencial gravitacional, mas quando o corpo está sobre o solo, no sistema de referência adotado, ele não possui mais esta energia. Mas o que o fez movimentar-se de uma certa altura inicial até o solo? Este movimento advém do campo gravitacional entre a terra e o corpo, o qual gera uma força de interação entre ambos, promovendo a variação da velocidade, a qual chama-se aceleração. E claro, se há uma aceleração, isto implica dizer que também há uma força, de acordo com a 2ª. Lei de Newton. Esta força é a força peso, que age sobre o corpo, a qual é definida na Equação (1.1):

$$P = m \cdot g \quad (1.1)$$

O trabalho mecânico é definido como:

$$\int_{x_1}^{x_2} F \cdot dr \quad (1.2)$$

onde  $x_1$  representa a posição inicial, e  $x_2$  a posição final. A partir da Equação (1.2) tem-se que a variação de energia potencial gravitacional é exatamente o trabalho que a força gravitacional exerce sobre o corpo para deslocá-lo de uma posição inicial a uma posição final:

$$Epg = \int_{xi}^{xf} mg \cdot dr$$

$$\text{Então, } \Delta Epg = mg(xf - xi) = mgh$$

onde  $(xf-xi)$  é um desnível que nesse caso pode ser representado como a altura  $h$ . Portanto, tem-se :

$$\boxed{Epg = mgh} \quad (1.3)$$

Portanto, observasse que existe uma relação entre a variação de energia potencial gravitacional e o trabalho exercido pela força peso. Não é diferente no campo da eletricidade.

### Energia Potencial Elétrica

Tomando como base os conceitos de energia potencial gravitacional desenvolvidos, tem-se que a energia potencial elétrica é análoga. Considerando que a força que é tratada nesse caso, é a força elétrica (força de Coulomb), não considera-se a altura, e sim a distância entre as cargas. Portanto, em relação a variação de energia potencial elétrica, em um caso particular, entre duas cargas puntiformes, a situação é expressa pela relação (1.4), que vem da demonstração a seguir:

$$\int_{xi}^{xf} F \cdot dl = Epe$$

$$\text{como } E = \frac{F}{q}$$

$$F = E \cdot q$$

$$\text{Então, } \int_{xi}^{xf} Eq \cdot dl = Eq \cdot (xf - xi)$$

$(xf - xi)$  é a distância entre as cargas ,

$$\text{Então, } \boxed{Epe = E \cdot q \cdot h} \quad (1.4)$$

### Potencial Elétrico

O potencial elétrico por sua vez, está relacionado diretamente com o campo elétrico, e com sua intensidade. Portanto, o potencial elétrico pode ser definido como a capacidade que um determinado ponto do espaço imerso em um campo elétrico tem de realizar trabalho.

O potencial elétrico não depende da carga de prova, e sim do campo elétrico gerado a partir da fonte, portanto, ao dividir (1.4) por  $q$ , chega-se a (1.5) como mostrado a seguir:

$$Vp = \frac{\int_{xi}^{xf} Eq}{q} \cdot dl = \int_{xi}^{xf} E \cdot dl, \text{ Portanto,}$$

$$\boxed{Vp = \int_{xi}^{xf} E \cdot dl} \quad (1.5)$$

A respeito da diferença de potencial, considera-se o mesmo conceito, o qual será explicito a seguir:

$$\text{Partindo de (1.5), } V_p = E \cdot (x_f - x_i)$$

$$V_p = E x_f - E x_i$$

Portanto,

$$\int_{x_i}^{x_f} E \cdot dl = E x_f - E x_i \quad (1.6)$$

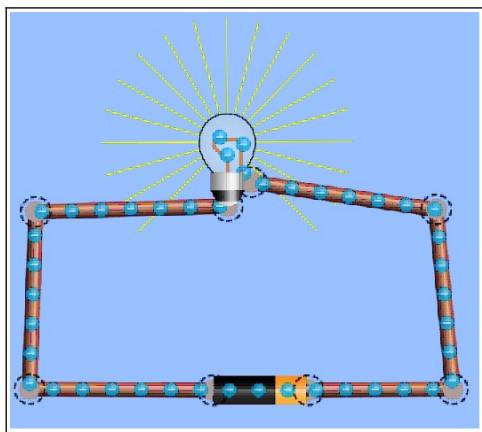
Pode-se compreender que a diferença de potencial elétrico (d.d.p), é dado por (1.6).

A explicação realizada a respeito dessa analogia gravitacional com a energia potencial elétrica, foi baseada na aula de Física 3 denominada Potencial elétrico, do Prof. Luiz Marco Brescansin da UNICAMP.

### 1.1.2.2 Explicações e ilustrações a respeito do componente pilha/bateria

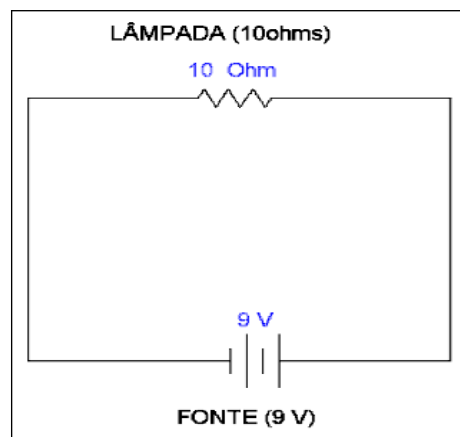
A **Figura 1.6(a)**, ilustra a representação, por meio de uma animação computacional, de um circuito elétrico simples, consistindo de uma pilha, fios condutores e uma lâmpada. A **Figura 1.6(b)** ilustra o mesmo circuito com os valores de tensão e resistência relacionados a força eletromotriz e a lâmpada, respectivamente.

**Figura 1.6(a)**



Fonte: Autoria própria (2023).

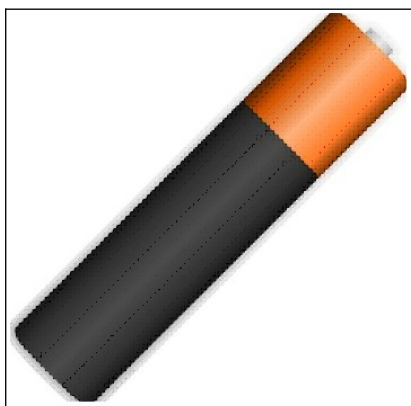
**Figura 1.6(b)**



Fonte: Autoria própria (2023).

Um tipo de fonte básica e bastante utilizada, principalmente em aparelhos como relógio, lanterna, controle remoto, etc, é a *pilha*. A pilha comum é capaz de produzir cerca de 1.5V de energia, sendo uma das mais utilizadas em diversos brinquedos e dispositivos eletrônicos. A **Figura 1.7**, mostra uma pilha.

**Figura 1.7:** Ilustração da pilha comum.



Fonte: <https://all-free-download.com/free-vector/aa.html>

As pilhas são basicamente sistemas eletroquímicos, que transformam energia química em energia elétrica, através das reações de oxirredução espontâneas. Essas reações químicas possuem duas características, a de oxidação e a de redução. A primeira é caracterizada pela perda de elétrons, enquanto a segunda por ganho de elétrons.

### 1.1.3 Arduino UNO

A ferramenta arduino é uma plataforma de desenvolvimento de projetos eletrônicos constituída de hardware e software.

O principal componente de uma placa arduino é o seu microcontrolador, o qual é responsável de processar a entrada e saída dos outros componentes da placa, facilitando a prototipagem eletrônica.

#### 1.1.3.1 Contexto prévio da criação do arduino UNO.

A plataforma arduino foi inspirada na linguagem Wring. Desenvolvida por Hernando Barragán, essa linguagem foi formulada em sua tese de mestrado no Instituto Design de Interação de Ivrea (IDII). O objetivo da tese era tornar mais fácil para artistas e designers trabalharem com eletrônica, abstraindo os detalhes frequentemente complicados dessa área para que eles pudessem se concentrar em seus próprios objetivos.

Em 2005, Massimo Banzi, junto com David Mellis (um aluno do IDII na época) e David Cuartielles, adicionaram um suporte para o microcontrolador ATmega8 mais barato à Wiring. Em seguida, eles bifurcaram (ou copiaram) o código-fonte do Wiring e começaram a executá-lo como um projeto separado, chamado Arduino.

### 1.1.3.2 Vantagens

As principais razões para se utilizar a plataforma arduino são:

Baixo custo de prototipagem.

Software de simulação gratuitos disponíveis.

Fácil de programar.

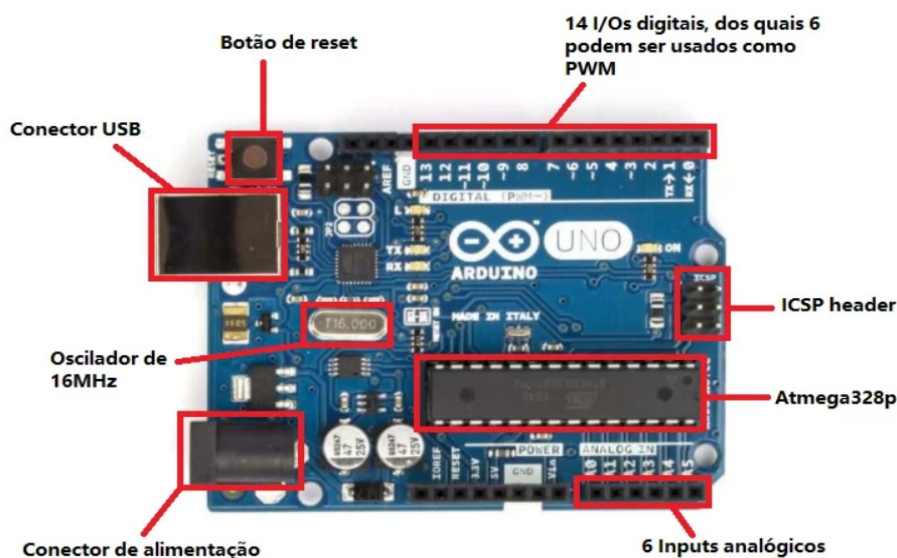
Grande número de tutoriais, artigos e projetos prontos na internet.

Não requer experiência ou grandes conhecimentos prévios de eletrônica/programação.

### 1.1.3.3 O hardware arduino UNO

Existem diversos tipos de placa de Arduino, como o Arduino MEGA e o Arduino Pro Mini, porém o foco será a respeito do Arduino Uno, o mais famoso e utilizado no mundo da eletrônica. A **Figura 1.8** ilustra perfeitamente os componentes presentes na placa arduino UNO:

**Figura 1.8:** Ilustração dos componentes da placa arduino UNO.



Fonte: <https://blog.eletrogate.com/o-que-e-arduino-para-que-serve-vantagens-e-como-utilizar/>

## O microcontrolador ATMEL ATMEGA328

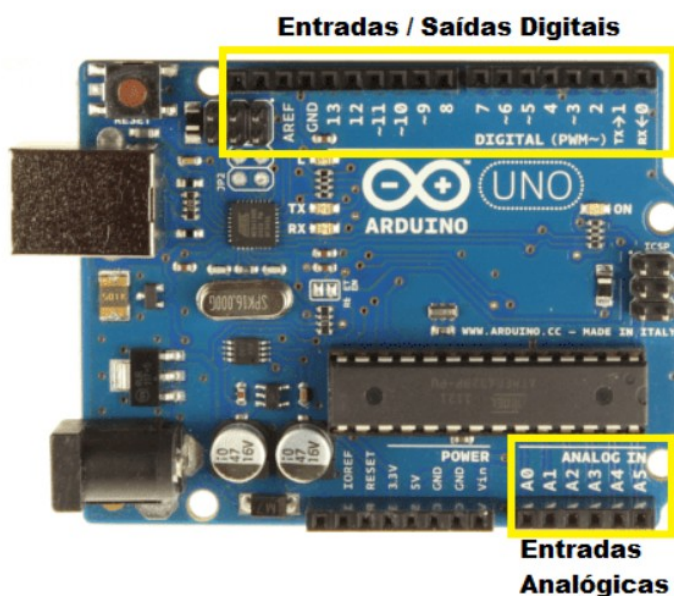
O componente principal da placa Arduino UNO é o microcontrolador ATMEL ATMEGA328, um dispositivo de 8 bits da família AVR com arquitetura RISC avançada e com encapsulamento DIP28. Ele conta com 32 KB de Flash (mas 512 Bytes são utilizados pro bootloader), 2 KB de RAM e 1 KB de EEPROM. Pode operar a até 20 MHz, porém na placa Arduino UNO opera em 16 MHz, valor do cristal externo que está conectado aos pinos 9 e 10 do microcontrolador.

Esse microcontrolador pode operar com tensões bem baixas, de até 1,8 V., mas nessa tensão apenas opera até 4MHz. Possui dois modos de consumo super baixos, o Power-down Mode e o Power-save Mode, para que o sistema possa poupar energia em situações de espera. Possui, como periféricos uma USART que funciona a até 250kbps, uma SPI, que vai a até 5MHz, e uma I2C que pode operar até 400kHz. Conta com um comparador analógico interno ao CI e diversos timers, além de 6 PWMs. A corrente máxima por pino é de 40mA, mas a soma da corrente de todo o CI não pode ultrapassar 200mA. Ele possui um oscilador interno de 32kHz que pode ser utilizado, por exemplo, em situações de baixo consumo.

### Entradas e saídas do arduino UNO

A placa arduino UNO possui pinos de entrada e saídas digitais, assim como pinos de entradas e saídas analógicas. A **Figura 1.9** exhibe esses pinos:

**Figura 1.9:** Entradas e saídas digitais e analógicas do arduino UNO.



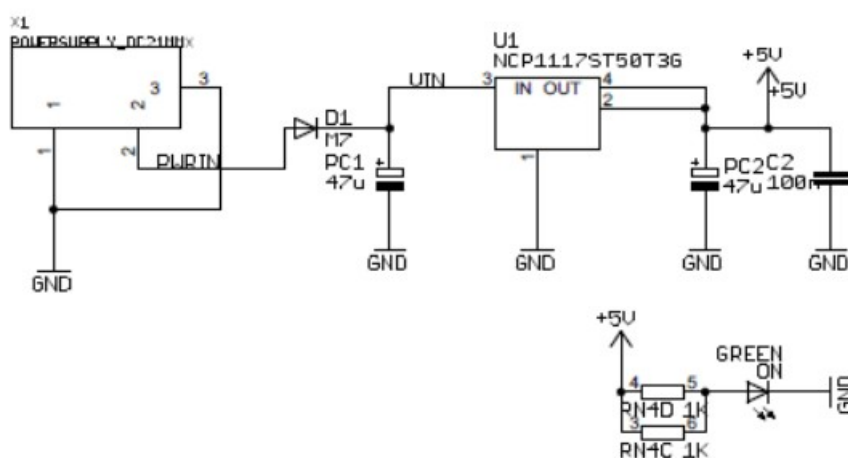
Fonte: <https://embarcados.com.br/arduino-uno/>

Conforme exibido foi exibido, a placa Arduino UNO possui 14 pinos que podem ser usados como entrada ou saída digitais. Estes Pinos operam em 5 V, onde cada pino pode fornecer ou receber uma corrente máxima de 40 mA. Cada pino possui resistor de pull-up interno que pode ser habilitado por software.

## Entrada USB/conector de alimentação

A placa pode ser alimentada pela conexão USB ou por uma fonte de alimentação externa. A alimentação externa é feita através do conector Jack com positivo no centro, onde o valor de tensão da fonte externa deve estar entre os limites 6V. a 20V., porém se alimentada com uma tensão abaixo de 7V., a tensão de funcionamento da placa, que no Arduino Uno é 5V, pode ficar instável e quando alimentada com tensão acima de 12V, o regulador de tensão da placa pode sobreaquecer e danificar a placa. Dessa forma, é recomendado para tensões de fonte externa valores de 7V. a 12V. O circuito regulador para entrada externa é exibido na **Figura 1.10**. Nota-se que o CI responsável pela regulação de tensão é o NCP1117, da OnSemi. Destaque para o diodo D1 que protege o circuito caso uma fonte com tensão invertida for ligada.

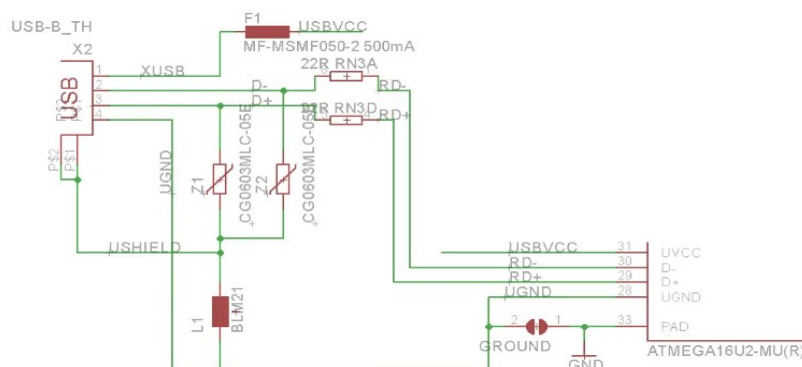
**Figura 1.10:** Circuito regulador.



Fonte: <https://embarcados.com.br/arduino-uno/>

Quando o cabo USB é plugado a um PC por exemplo, a tensão não precisa ser estabilizada pelo regulador de tensão. Dessa forma a placa é alimentada diretamente pela USB. O circuito da USB apresenta alguns componentes que protegem a porta USB do computador em caso de alguma anormalidade. Na **Figura 1.11** é exibido o circuito de proteção da USB da placa Arduino UNO.

**Figura 1.11:** Circuito de proteção da USB.



Fonte: <https://embarcados.com.br/arduino-uno/>

### **Botão de reset**

O botão de reset serve para reiniciar a programação do arduino.

O cabo USB ao ser plugado no arduino, executa a mesma função, reiniciando a programação e fazendo com que a placa possa ler novamente toda a informação.

### **ICSP header**

É um componente que serve como um método de gravação de dispositivos programáveis. Isto significa que a placa arduino pode ser programado em seu próprio circuito. Isto significa que por meio de um conector ISP, é possível reprogramar a placa. Essa utilidade é bastante eficiente em casos de erros posteriores a fabricação. Caso, exista algum erro no software, é possível reprogramar sem a necessidade de descartar a placa.

### **Oscilador de 16MHz**

O oscilador de 16MHz é um componente responsável basicamente por determinar com precisão a sincronia de tempo das operações de um microcontrolador como o ATmega.

#### **1.1.3.4 O software arduino UNO**

Além da placa física do arduino UNO, existe uma plataforma virtual do mesmo chamada IDE. A qual contém um editor de texto para escrever código, uma área de mensagem, um console de texto, uma barra de ferramentas com botões para funções comuns e uma série de menus. Ele se conecta ao hardware arduino é genuíno para fazer upload de programas e se comunicar com eles.

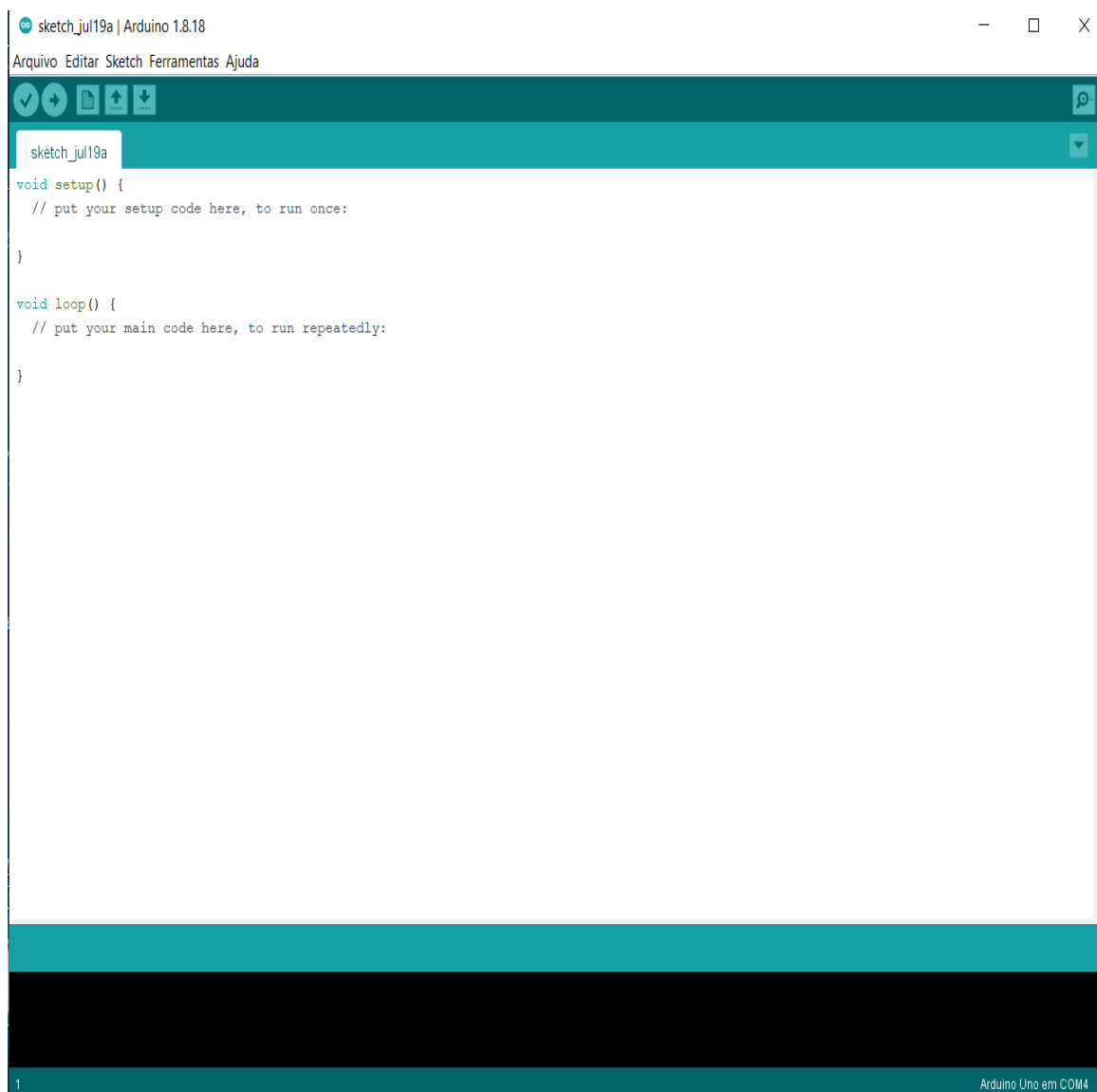
A IDE do Arduino também é open-source. Isso significa que essa plataforma permite liberdade em criar códigos para a programação. O Seu ambiente gráfico foi desenvolvido em Java e baseado em Processing e outras linguagens open-source.

A linguagem de programação utilizada para escrever os códigos para arduino é baseada nas tradicionais C/C++ (com modificações) e possui um grau de abstração muito alto e uma série de bibliotecas que encapsulam a maior parte da complexidade do microcontrolador.

Esse alto grau de abstração e o set de bibliotecas são os grandes responsáveis por fazer a programação mais intuitiva e rápida, pois não é necessário que o desenvolvedor conheça os registradores, os detalhes de memória e a dinâmica do processador.

A **Figura 1.12** mostra a plataforma IDE do arduino UNO:

**Figura 1.12:** Plataforma IDE do arduino UNO.



Fonte: Autoria própria (2023).

Na parte superior da plataforma IDE tem-se as abas:

**Arquivo**

**Editar**

**Sketch**

**Ferramentas**

**Ajuda**

Logo abaixo tem-se outras abas as quais fazem parte do menu principal e são representadas pela **Figura 1.13:**

**Figura 1.13:** Menu principal.



Fonte: Autoria própria (2023).

Os ícones de atalho são (da esquerda para a direita):

**Verificar:** Identifica erros de sintaxe no código;

**Carregar:** Carrega o software na placa;

**Novo:** Cria uma nova aba “sketch” em branco;

**Abrir:** Abre um sketch do sketchbook;

**Salvar:** Salva o sketch em desenvolvimento;

Fonte: (<https://blog.eletrogate.com/o-que-e-arduino-para-que-serve-vantagens-e-como-utilizar/>)

#### 1.1.4 Cabos de conexão/condutores

Os condutores elétricos são fundamentais em um circuito elétrico. Isto porque uma corrente elétrica só pode existir se houver um meio que sirva de condução para as cargas elétricas. Ou seja, é imprescindível em um circuito, os meios de condução, que no geral são cabos e fios conectores. São eles os responsáveis de conduzir a corrente elétrica de um potencial a outro, ou de um ponto a outro do circuito. Nas instalações elétricas em geral, as conexões são indispensáveis e fundamentais para o funcionamento correto dos circuitos.

##### 1.1.4.1 Ideia geral do transporte de elétrons através de condutores em um circuito - conceitos físicos

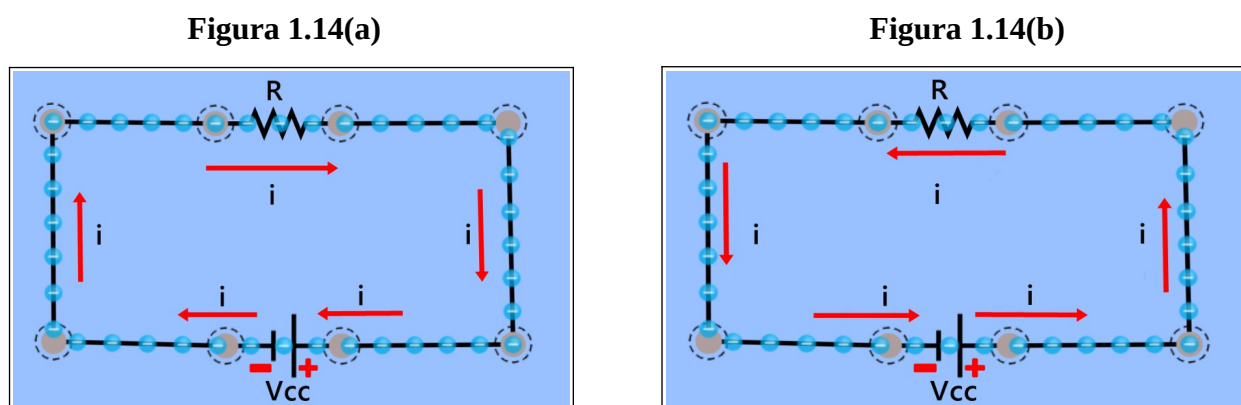
Primeiramente há de se compreender os conceitos físicos iniciais a respeito de corrente elétrica. A corrente elétrica é definida como o número ordenado de cargas elétricas que passam por um condutor durante um intervalo de tempo. Matematicamente, tem-se que corrente elétrica é definida como:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{e \cdot \Delta n}{\Delta t} \quad (1.6)$$

Onde  $\Delta n$  = é a variação do número de elétrons,  $e$  = carga elétrica elementar,  $\Delta t$  = Variação de tempo.

Como corrente elétrica é uma grandeza escalar, que trás consigo uma configuração dinâmica, isto é, só faz sentido falar em corrente elétrica se houver movimento de cargas, temos que o número de condutores de carga multiplicado pela carga elementar, pode ser representado como a variação de cargas que passam por uma seção transversal de um condutor.

Compreendido isso, é importante notar que a corrente elétrica está diretamente ligada aos conceitos de transporte de elétrons. A **Figura 1.14(a)** ilustra a corrente elétrica em um circuito considerando o seu sentido real. E a **Figura 1.14(b)** ilustra o mesmo circuito porém com o sentido convencional da corrente.



Fonte: Autoria própria (2023).

Na Figura 1.14(a) representa o movimento dos elétrons do polo (-) para o polo (+). Mas em eletrônica, normalmente utiliza-se o sentido convencional. Ou seja, a corrente fluindo do polo (+) para o polo (-), como representado na Figura 1.14(b).

O importante é compreender que as cargas elétricas fluirão do menor potencial para o maior potencial, conforme as equações mostradas anteriormente.

#### 1.1.4.2 Sobre a constituição física dos condutores

Tratando a respeito dos condutores propriamente ditos, é importante salientar que existem dois tipos: os fios e os cabos de conexão. Ambos possuem a mesma função (transportar as cargas elétricas de um ponto a outro). Mas a diferença está na constituição interna de cada um deles. E dependendo de sua constituição interna, um pode vim a ser mais eficiente e útil que o outro, para determinadas situações.

##### Fios condutores

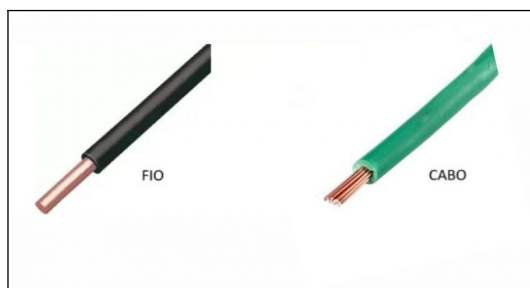
Os fios condutores são formados por apenas um filamento metálico e rígido. Devido a isso, é importante salientar que os fios condutores devem ser idealmente utilizados para condução de cargas com energia relativamente pequena. Caso a tensão no circuito seja consideravelmente alta para o filamento utilizado na constituição do fio, existirá grandes chances de sobreaquecimento, e consequentemente, incêndios.

## Cabos condutores

Os cabos condutores são formados por vários fios torcidos e entrelaçados e, além disso, são flexíveis. Esse fato ocorre por conta justamente da composição dos cabos. Por estes serem formados por diferentes fios condutores conectados entre si, os cabos recebem um certo suporte de flexibilidade, permitindo assim a sua dobração sem serem danificados facilmente.

A **Figura 1.15** representa a diferença entre fios e cabos, onde pode-se observar que os fios possuem apenas um filamento metálico, enquanto que os cabos são constituídos de vários filamentos.

**Figura 1.15:** Ilustração da diferença entre fios e cabos.

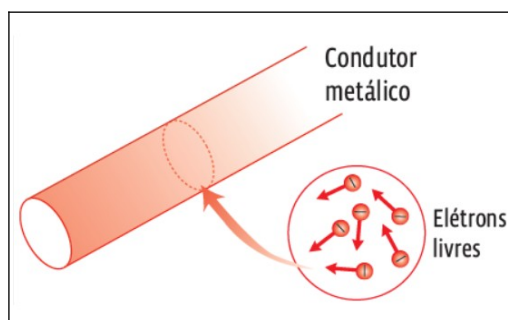


Fonte: <https://blog.dimensional.com.br/cores-dos-fios-eletricos-hub/>

### 1.1.4.3 Transporte de elétrons dentro do condutor

Um condutor é caracterizado por possuir elétrons livres. Ou seja, elétrons muito fracamente ligados ao núcleo do átomo. E isto facilita a condução de energia. Consideramos um condutor qualquer, representado na **Figura 1.16**. Observa-se que o movimento dos elétrons é aleatório e não há uma direção e um sentido unânime e preferencial de movimento. Portanto, não há corrente elétrica.

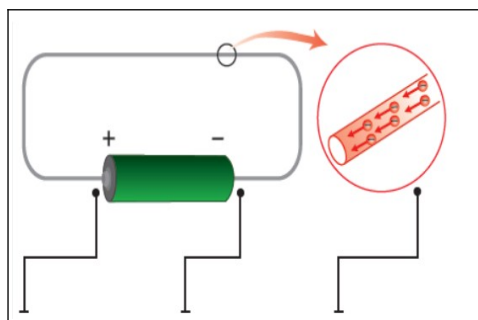
**Figura 1.16:** Ilustração dos elétrons livres em um condutor.



Fonte: <https://guiadoestudante.abril.com.br/curso-enem/eletricidade-eletrodinamica>

Ao ser aplicada uma tensão elétrica (d.d.p) nos terminais desse mesmo condutor, verifica-se o movimento ordenado dos elétrons e a configuração de uma corrente elétrica, como ilustrado na **Figura 1.17**.

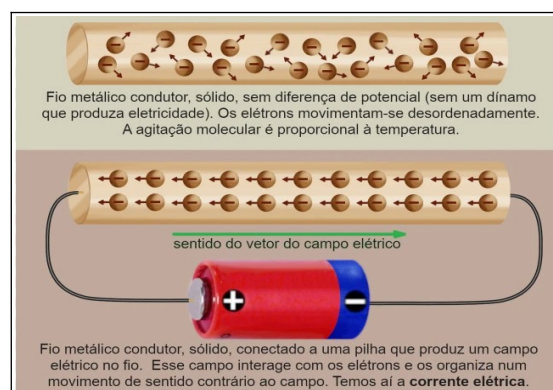
**Figura 1.17:** Ilustração dos elétrons em movimento ordenado em um circuito.



Fonte: Adaptada de <https://guiadoestudante.abril.com.br/curso-enem/eletricidade-eletrodinamica>

A tensão elétrica aplicada aos terminais do condutor, advinda de uma pilha ou bateria por exemplo, produzem um campo elétrico no interior do mesmo. Fazendo com que as cargas elétricas ali presentes se movam ordenadamente. Constituindo assim, uma corrente elétrica. A **Figura 1.18** ilustra a diferença entre um condutor sem nenhuma tensão aplicada em seus terminais, e um condutor na presença de uma fonte de tensão, aplicada em seus terminais:

**Figura 1.18:** Ilustração dos elétrons em um condutor, na parte superior da imagem, temos os condutores de carga sem a presença de uma d.d.p., e na parte inferior, com a d.d.p..



Fonte: <https://ipemsp.wordpress.com/2019/10/14/medindo-corrente-eletrica-o-ampere/>

#### 1.1.4.4 Primeira Lei de Ohm

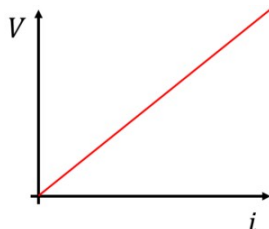
Ao abordarmos corrente elétrica e tensão em condutores, torna-se imprescindível tratar sobre resistência elétrica, e conseqüentemente, sobre a denominada Primeira Lei de Ohm. A resistência elétrica é definida como sendo a capacidade que um condutor possui de se opor à passagem de corrente elétrica. A unidade de resistência elétrica é o ( $\Omega$ ) Ohm, em homenagem a Georg Simon Ohm (1787-1854). Considerando as definições de tensão elétrica (d.d.p), corrente elétrica, e resistência, podemos compreender a relação expressa pela Primeira Lei de Ohm, mostrada a seguir:

$$U = R \cdot I \quad (1.8)$$

sendo  $U$  = tensão elétrica;  $R$ = resistência elétrica ;  $I$ = corrente elétrica.

Graficamente, a relação entre tensão aplicada e a intensidade de corrente elétrica que passa por um condutor é mostrada na **Figura 1.19**. E dessa forma pode-se verificar a função que relaciona a tensão elétrica com a corrente elétrica.

**Figura 1.19:** Relação gráfica entre tensão elétrica e intensidade de corrente.



Fonte: <https://aprovatotal.com.br/leis-de-ohm-resistencia-potencia-eletrica/>

Ou seja, temos uma relação de linearidade entre a tensão e a corrente. A constante ( $R$ ) nesse caso, é a resistência elétrica, a qual depende do próprio material condutor, como será mostrado logo a seguir.

#### 1.1.4.5 Resistividade

Um fator muito importante a considerar ao tratar-se de condutores, é a resistividade do mesmo. A resistividade de um material diz respeito a uma propriedade intrínseca dele, capaz de facilitar ou dificultar o transporte de elétrons no seu interior. Ou seja, quando submetido a uma tensão elétrica, a intensidade de corrente no condutor depende da resistividade deste. Caso sua resistividade seja relativamente baixa, o transporte de elétrons é logicamente mais efetivo, logo a corrente elétrica é maior, para uma mesma tensão. No entanto, um material possuindo uma resistividade relativamente alta, o transporte de elétrons é mais difícil, e conseqüentemente a intensidade de corrente será menor. A resistividade é representada por ( $\rho$ ) e representa no S.I como Ohm metro. ( $\Omega \cdot m$ ).

#### 1.1.4.6 Resistividade dos materiais condutores

Por ser uma propriedade peculiar de cada material, existem diferentes resistividades, para cada substância. A **Tabela 1.1**, dada a seguir, mostra algumas substâncias e suas respectivas resistividades.

**Tabela 1.1:** Resistividade de alguns materiais.

Material	Resistividade $\rho$ ( $10^{-8} \Omega \cdot m$ )
Prata	1,6
Cobre	1,7
Ouro	2,3
Alumínio	2,8
Tungstênio	4,9
Platina	10,8
Ferro	11
Nicromo	110

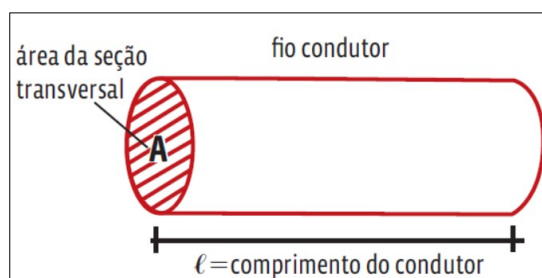
Fonte: <https://aprovatotal.com.br/leis-de-ohm-resistencia-potencia-eletrica/>

Na Tabela 1.1 pode-se verificar que a Prata é a substância que possui a menor resistividade. Isto significa que um condutor de Prata possui baixa resistência a corrente elétrica. Ou seja, um condutor de Prata, tornasse mais eficiente no que diz respeito ao transporte de elétrons. Por outro lado, o Nicromo possui, em relação aos outros materiais da **Tabela 1.1**, a maior resistividade. Portanto, não terá muita efetividade no transporte de elétrons. A resistência elétrica leva em consideração não apenas a resistividade do material, mas também o comprimento do condutor, assim como a sua área de seção transversal.

### Comprimento e área de seção transversal de condutores

O comprimento de um condutor é dado pela medida de sua maior dimensão longitudinal, ou seja, é dada pelo seu tamanho. Já a área de seção transversal é a área de circunferência do fio condutor. Chamada de bitola em termos eletrônicos. A **Figura 1.20**, dada a seguir, ilustra essas grandezas em um condutor.

**Figura 1.20:** Ilustração do comprimento e da área de seção transversal de um condutor.



Fonte: <https://guiadoestudante.abril.com.br/curso-enem/eletricidade-leis-de-ohm-e-potencia>

Como já foi visto, existe uma relação linear dada pela Primeira Lei de Ohm, que permite o cálculo da resistência elétrica, conhecendo-se a intensidade de corrente e a tensão. Mas a resistência elétrica depende também de algumas características físicas do próprio condutor, como o seu comprimento, sua área de seção transversal e a propriedade específica do material, conhecida como resistividade. Portanto, pode-se definir resistência de forma mais geral considerando esses fatores, como mostrado a seguir:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A} \quad (1.9)$$

sendo  $R$  = resistência elétrica ;  $\rho$  = resistividade do material ;  $L$  = comprimento do condutor;  
 $A$  = área de seção transversal.

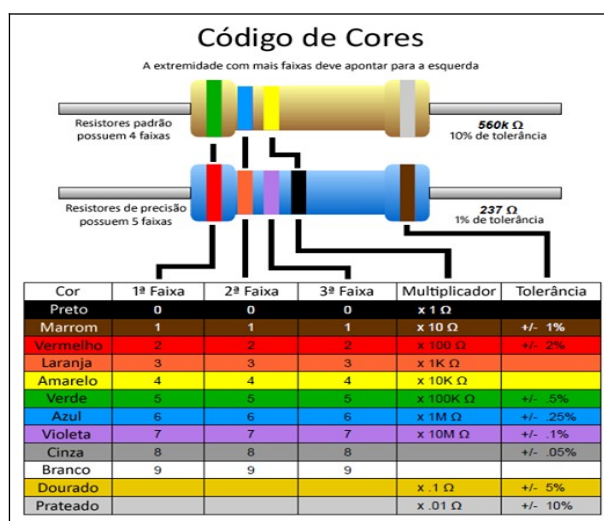
Portanto, de acordo com essa relação, se considerarmos um exemplo de dois condutores A e B, de mesmo material, submetidos a mesma d.d.p, e de mesma área de seção transversal, sendo, entretanto, que o condutor A possui um comprimento  $L$  maior do que o do condutor B. Matematicamente, verifica-se por meio da Equação 1.9, que o condutor A possui maior resistência à passagem de corrente elétrica, para uma mesma d.d.p., pois a resistência elétrica é diretamente proporcional ao comprimento  $L$  do condutor. Agora, levando em consideração outros dois condutores C e D, constituídos do mesmo material e submetidos a mesma d.d.p., e tendo o mesmo comprimento  $L$ , sendo a área de seção transversal do condutor C maior do que do D.

A partir da Equação 1.9, temos que o condutor C apresentará menor resistência à passagem de corrente elétrica do que o condutor D, devido a resistência ser inversamente proporcional a área de seção transversal.

### 1.1.5 Resistor

Os resistores são essenciais na montagem e configuração de um circuito elétrico. Os conceitos fundamentais de resistência elétrica já foram descritos, porém é importante saber que os resistores são equipamentos eletrônicos que foram fabricados justamente para essa função, que é de limitar a corrente elétrica em um condutor. Mas é interessante saber que os resistores também podem ser utilizados para outra função, que será expressa mais à frente. Por serem equipamentos eletrônicos produzidos em fábrica, existem diversos tipos de resistores, com diversas resistências, que podem ser expressas por meio do código de cores. O código de cores possibilita conhecer a resistência de cada resistor fabricado. Facilitando assim, a imersão desse componente eletrônico de acordo com a necessidade. A **Figura 1.21** ilustra dois resistores com as barras de cores e relaciona com o sistema de leitura da tabela do código de cores.

**Figura 1.21:** Código de cores de resistores.



Fonte: <http://eletronsdadepressao.blogspot.com/2015/01/codigo-de-cores-de-resistores.html>

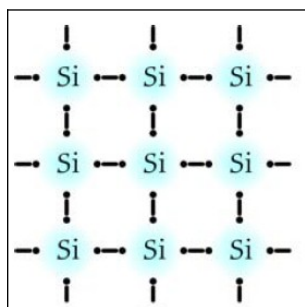
Normalmente, os resistores apresentam 4 faixas de cores, sendo a primeira e a segunda faixas, respectivamente, os dois primeiros dígitos do resistor. A terceira faixa informa o dígito multiplicador. E a quarta faixa indica a tolerância do resistor, ou seja, o quanto o valor da resistência pode variar em relação ao valor nominal. No caso de resistores de cinco faixas de cores, as três primeiras mostram os algarismos da resistência, a quarta faixa é relativa ao multiplicador e a quinta faixa à tolerância. Outra aplicação e função dos resistores está associada ao efeito Joule. A presença de um resistor em um circuito elétrico, oferece uma resistência à intensidade de corrente elétrica que está presente no condutor. Essa resistência elétrica limita a corrente, ou seja, diminui a velocidade efetiva com que os portadores de carga elétrica se movem ao longo do tempo. Dada a conservação da energia, parte da energia cinética presente nos portadores de carga, se transforma em energia térmica. A qual provém do atrito de cargas elétricas presentes no condutor, que dependem diretamente do tipo de material. Então, parte da energia fornecida ao circuito é dissipada sobre o resistor em forma de calor.

E essa descoberta possibilitou a produção de diversos equipamentos como aquecedores, fornos, ferros de passar roupa, lâmpadas incandescentes, sanduicheiras, entre outros. De fato, os resistores possibilitaram a transformação de energia elétrica em energia térmica por meio de um efeito denominado de efeito Joule.

### 1.1.6 Diodo emissor de luz (LED)

O LED pode ser descrito como um diodo emissor de luz. Basicamente, esse componente converte energia elétrica em energia luminosa, e consome menos energia do que fontes de iluminação tradicionais, como lâmpadas incandescentes e fluorescentes. O processo de constituição de um LED ocorre inicialmente a partir do material do qual ele é formado. Nesse caso, o material do qual um LED geralmente é formado é um semicondutor. O que significa que este não é totalmente isolante como a borracha ou o vidro, e também não é condutor como o Cobre ou o Ferro. Mas possuem uma peculiaridade bastante interessante. Caso sejam adicionados átomos diferentes a estes materiais, eles podem ter suas características elétricas alteradas. A **Figura 1.22**, dada a seguir, ilustra um cristal de Silício (Si) sem a presença de impurezas.

**Figura 1.22:** Ilustração do cristal de Silício (Si).

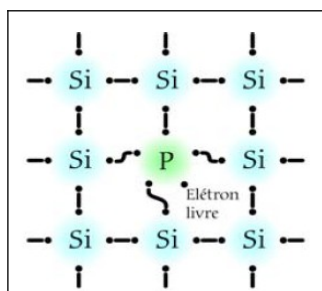


Fonte: (ALVES, E.G.; SILVA, A.F., 2008).

O material semicondutor mais utilizado na indústria é o Silício (Si), devido esta substância poder passar por um processo chamado de dopagem, aumentando assim sua condutividade. Na dopagem mistura-se uma pequena quantidade de impurezas a um cristal de Silício (Si). Existem dois tipos de dopagem, a do tipo N e a do tipo P. Na dopagem tipo N, as impurezas mais comuns são o Fósforo (P) e o Arsênio (As), que se encaixam na estrutura cristalina compartilhando quatro dos seus cinco elétrons. Portanto, isso resulta na sobra de elétrons. E os elétrons que sobram, acabam por se tornarem cargas livres negativas. Daí tem-se a denominação de dopagem tipo N,

advinda de negativo. Ou seja, elétrons ganhando liberdade de movimento. E isto significa maior condutividade. A **Figura 1.23**, dada a seguir, ilustra essa situação.

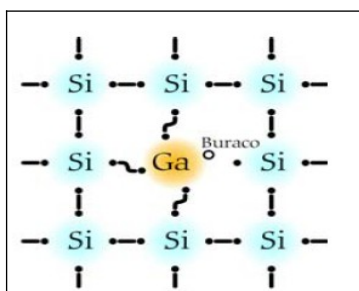
**Figura 1.23:** Ilustração da dopagem tipo N em um cristal de Silício (Si).



Fonte: (ALVES, E.G.; SILVA, A.F., 2008).

Pode-se observar na **Figura 1.23** a sobra de elétrons devido a presença do átomo de Fósforo (P) no cristal de Silício (Si), devido ao Fósforo (P) possuir cinco elétrons na sua camada de valência, compartilhando assim quatro elétrons com o Silício (Si), e sobrando um elétron livre no cristal. A respeito da dopagem tipo P, as impurezas mais usadas são o Boro e o Gálio que se encaixam na estrutura formando três ligações covalentes. Ou seja, existe a ausência de uma ligação. E essa ausência de uma ligação compreende-se como um *buraco*. Quando a corrente elétrica passa pelo cristal, os elétrons migram para os buracos vizinhos. A idéia de ausência de elétrons significa a denominação de cargas positivas presentes. A **Figura 1.24**, ilustra esse processo.

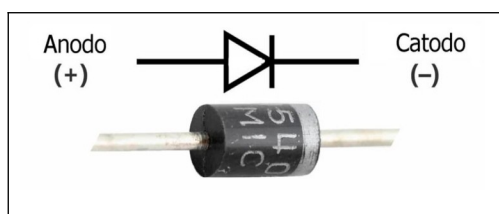
**Figura 1.24:** Ilustração da dopagem tipo P em um cristal de Silício (Si).



Fonte: (ALVES, E.G.; SILVA, A.F., 2008).

Dessa forma, constata-se que a dopagem tipo N ou tipo P transforma um cristal de Silício em um bom condutor. Ao fazer a junção do Silício tipo N e o Silício tipo P, obtém-se um conjunto chamado diodo. O diodo é um dos dispositivos eletrônicos mais simples, e permite que a corrente elétrica flua somente em uma direção e sentido. A **Figura 1.25**, dada a seguir, revela o que vem a ser um diodo, juntamente com a sua simbologia eletrônica.

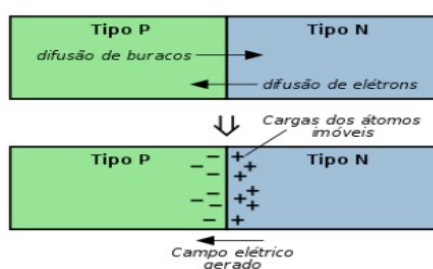
**Figura 1.25:** Ilustração do diodo e sua representação eletrônica.



Fonte: <https://proesi.com.br/uf4007-diodo-rapido.html>

Uma análise mais clara do que ocorre com o diodo antes da passagem de corrente elétrica, tanto no caso inicial como até mesmo na presença de um bateria são ilustrados nas **Figuras 1.26 e 1.27**.

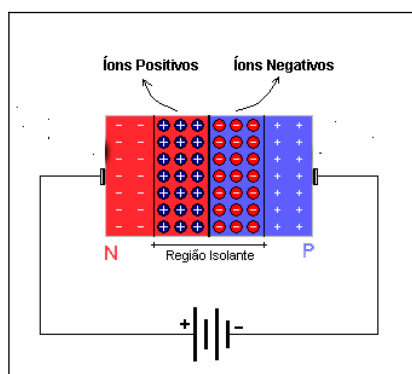
**Figura 1.26:** Ilustração do diodo de junção PN.



Fonte: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Junção\\_PN](https://pt.wikipedia.org/wiki/Junção_PN)

Nessa ilustração pode-se verificar que os elétrons presentes no cristal de Silício tipo N migram para as lacunas do cristal tipo P. A partir desse processo, é criada uma região de cargas imóveis, a qual também chama-se de região de depleção. E também é criado um campo elétrico nessa região, conforme é ilustrado na **Figura 1.27**.

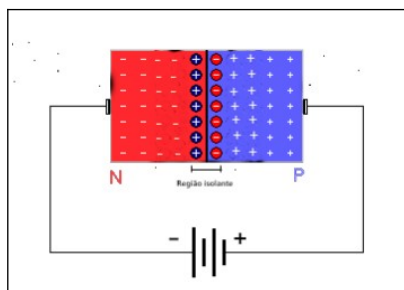
**Figura 1.27:** Ilustração do diodo de junção PN em polarização reversa.



Fonte: Adaptada de [https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/index.php/AULA\\_2\\_-\\_Eletrônica\\_Geral\\_1\\_-\\_Técnico](https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/index.php/AULA_2_-_Eletrônica_Geral_1_-_Técnico)

Na **Figura 1.27** verifica-se que mesmo na presença de uma bateria, se esta não estiver com as suas polaridades em sincronia, não haverá passagem de corrente elétrica. Nessa configuração, verifica-se que o polo negativo da bateria está ligado ao polo positivo (P) da junção. Dessa maneira, ocorre a transferência de elétrons do polo negativo da bateria para o polo positivo (P) da junção, fazendo com que este exceda em cargas elétricas negativas. O polo positivo da bateria estando ligado ao negativo (N) da junção, permite com que elétrons migrem desta região para o polo positivo da bateria, fazendo com que existam mais lacunas, ou cargas positivas presentes na região (N). Esse processo fará com que a barreira de potencial, ou região de depleção cresça ainda mais, tornando o material mais isolante. Dessa forma, não há como ocorrer a passagem de corrente elétrica mesmo com a presença de uma bateria. Isto devido os polos da bateria estarem invertidos. A essa configuração, chama-se *polarização reversa*. Ao inserir a bateria com seus devidos polos sincronizados com os polos da junção PN, teremos a redução da região isolante, facilitando assim a passagem de corrente elétrica, como ilustrado na **Figura 1.28**, dada a seguir.

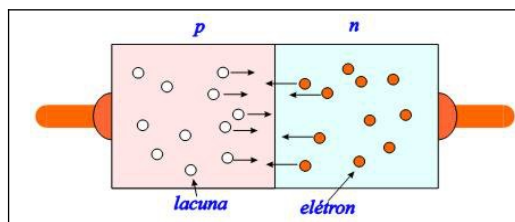
**Figura 1.28:** Ilustração do diodo de junção PN em polarização direta.



Fonte: Adaptada de [https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/index.php/AULA\\_2\\_-\\_Eletrônica\\_Geral\\_1\\_-\\_Técnico](https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/index.php/AULA_2_-_Eletrônica_Geral_1_-_Técnico)

Nessa configuração é possível verificar que a região isolante diminui. E isto ocorre devido as polaridades da junção PN estarem em sincronia com as da bateria. Ou seja, o pólo positivo da bateria está conectado ao pólo positivo (P) da junção PN. E isto provoca a repulsão das cargas positivas ou lacunas, fazendo com que na região positiva da junção exista excesso de lacunas. O mesmo processo ocorre na outra polaridade. As cargas elétricas negativas da bateria repelem as cargas negativas da região de junção (N), fazendo com que exista um excesso de elétrons nessa região. Através desse processo a região isolante é reduzida com o passar do tempo. Até o momento em que os elétrons tunelam, ou seja, passam de uma região à outra. Configurando assim uma corrente elétrica como ilustrado na **Figura 1.29**, dada a seguir.

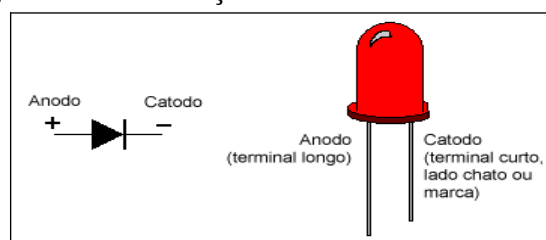
**Figura 1.29:** Ilustração da junção PN com polarização direta.



Fonte: [https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/index.php/AULA\\_2\\_-\\_Eletrônica\\_Geral\\_1\\_-\\_Técnico](https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/index.php/AULA_2_-_Eletrônica_Geral_1_-_Técnico)

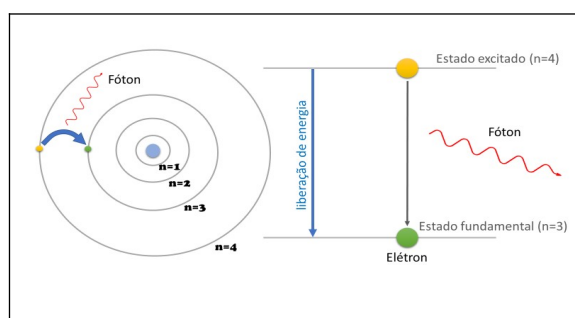
O LED por sua vez, é um tipo de diodo. Mas a sua característica específica é a emissão de luz, ou seja, o LED é um tipo de diodo semicondutor emissor de luz. A luz emitida pelo LED é gerada a partir do princípio de eletroluminescência, que ocorre quando os terminais são submetidos a uma corrente elétrica. No processo, os elétrons que estavam em um terminal se recombinam em lacunas no outro, emitindo fótons. Que são pacotes de energia que compõe a luz. A estrutura básica de um LED é composta por dois terminais semicondutores chamados ânodo e cátodo. Esses componentes ficam dentro de cápsulas com formatos e tamanhos variados. Um LED simples é ilustrado na **Figura 1.30**, assim como a sua representação eletrônica.

**Figura 1.30:** Ilustração do LED vermelho.



Fonte: <http://robowaytor.blogspot.com/2013/09/led-o-diodo-que-emite-luz.html>

Verifica-se também que a haste que compõe o cátodo do LED é um pouco maior do que a que compõe o ânodo. O processo de eletroluminescência ocorre justamente quando os elétrons da região (N) migram para a região (P) do diodo. Quando um elétron se une a uma lacuna, ocorre então a emissão de luz. A **Figura 1.31** ilustra um pouco do que ocorre nesse processo.

**Figura 1.31:** Ilustração do processo de eletroluminescência.

Fonte: <https://cienciaemacao.com.br/absorcao-e-emissao-de-luz-eletrons/>

O nível 4 representado na figura, para este elétron hipotético, não é o seu lugar de origem. Ele está excitado na região N do diodo. Sabendo-se que existem muitos elétrons excitados na região N, por exemplo, ao encontrar-se cada um deles com uma lacuna na região P, ocorre a estabilização, e o equilíbrio é mantido. No entanto, como ilustrado na figura, a transição do elétron no seu estado excitado para o estado fundamental libera energia. E nesse caso, energia luminosa. A cor da luz emitida pelo LED depende dos materiais que o mesmo é constituído. Isto porque, para cada material, existe uma diferença distinta de energia na junção PN. Ou seja, um elétron de um material que esteja muito excitado, por exemplo, quando retorna ao seu estado fundamental, emite uma quantidade relativamente maior de energia luminosa. Portanto, a emissão de luz depende diretamente dos semicondutores utilizados na junção do diodo. A **Tabela 1.2**, dada a seguir, mostra uma tabela que revela as cores próprias emitidas por alguns semicondutores, além de seus respectivos comprimentos de onda:

**Tabela 1.2:** Semicondutores e suas cores de emissão com seus respectivos comprimentos de onda próprio.

Semicondutor	Cor da luz	Comprimento de onda
Arsenieto de gálio e alumínio	Infravermelha	880 nm
Arsenieto de gálio e alumínio	Vermelha	645 nm
Fosfato de alumínio, índio e gálio	Amarela	595 nm
Fosfato de gálio	Verde	565 nm
Nitreto de gálio	Azul	430 nm

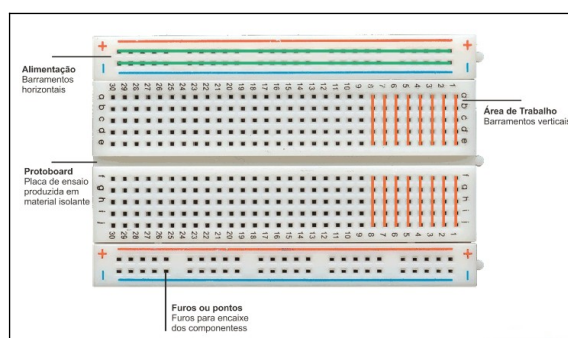
Fonte: [https://www.wikiwand.com/pt/Diodo\\_emissor\\_de\\_luz](https://www.wikiwand.com/pt/Diodo_emissor_de_luz)

Uma observação é que a substância Carboneto de Silício na forma de semicondutor, também pode ao ser excitado, emitir luz não só na faixa de frequências correspondentes ao azul, como chegar até mesmo no violeta. Portanto, dessa forma pode-se fabricar LED azuis e violetas.

### 1.1.7 Matriz de Contato (Protoboard)

A matriz de contato, conhecida como protoboard, é uma placa de prototipagem que possui furos de conexões internas para montagem de circuitos, utilizada para testes com componentes eletrônicos. A vantagem de utilizar a protoboard é que esta dispensa a necessidade de soldagem para montar os circuitos, pois conta com uma matriz de contato que possibilita construir circuitos de teste sem que haja necessidade de solda e, assim, garante segurança e agilidade em diferentes atividades. Ou seja, é uma placa de ensaio que serve como protótipo de um aparelho eletrônico. As placas de protoboard possuem uma quantidade de furos que variam de 400 até a 6000, e servem para o encaixe dos componentes. Esses furos, também chamados de pontos, apresentam-se enfileirados na placa. A **Figura 1.32**, dada a seguir, ilustra a placa protoboard juntamente com seus pontos de encaixe e o sistema de conexão entre estes.

**Figura 1.32:** Ilustração do esquema de conexões da placa protoboard.



Fonte: Adaptada de <https://portal.vidadesilicio.com.br/protoboard/>

Pode-se verificar na Figura 1.34 os barramentos horizontais e verticais, os quais possuem furos que estão conectados em série entre si. De modo que quaisquer componentes conectados a pontos que estejam na mesma fileira do barramento, estarão ligados em série.



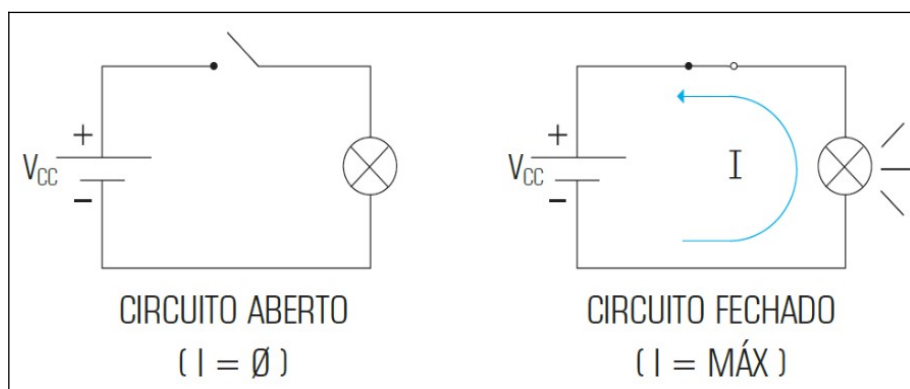
## CAPÍTULO 2: EXPERIMENTO BOTÃO DE PRESSÃO (PUSH BUTTON)

Neste capítulo será apresentado o experimento denominado botão de pressão (push button). Este experimento configura o processo de acendimento de uma lâmpada por meio de um interruptor.

Vale ressaltar que, esse processo ocorre justamente quando o circuito encontra-se fechado, pois é dessa maneira que haverá a possibilidade de passagem de corrente elétrica. Ou seja, quando o botão estiver pressionado.

A **Figura 2.1** ilustra duas situações, uma quando o circuito está aberto e outra quando o circuito está fechado:

**Figura 2.1:** Ilustração de um circuito aberto e um circuito fechado.



Fonte: <https://hangamma.com.br/glossary/glossary-categories/circuito-aberto-e-circuito-fechado/>

Como o experimento a ser descrito será automatizado pelo **Arduino UNO**(Hardware e software) ,a tensão a ser fornecida ao circuito estará na faixa de **5V** e a **chave** do circuito será o próprio Botão.

### 2.1 OBJETIVOS DO PROJETO:

- Mostrar o funcionamento de um circuito com botão de pressão, o qual pode ser comparado a uma chave seletora
- Explicar os processos eletrodinâmicos relacionados juntamente com suas leis, tanto em série como em paralelo
- Fazer medidas dos circuitos montados( série e paralelo)
- Explicar as diferenças de resultados entre os circuitos montados.

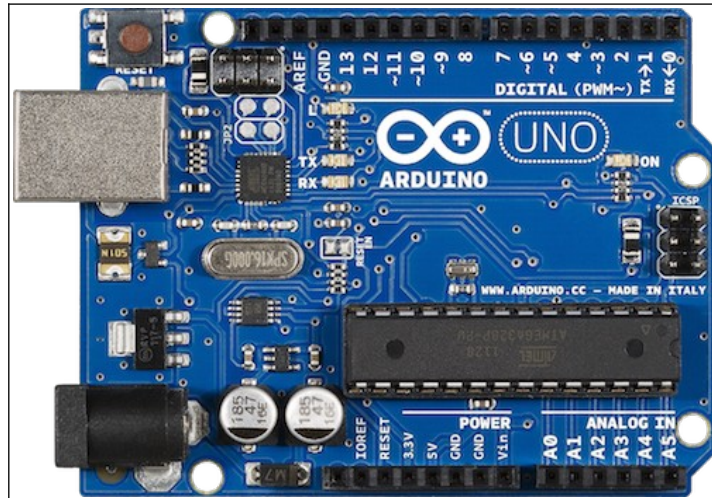
### 2.2 EXPLICAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO CIRCUITO:

A montagem do circuito será feita primeiramente com os resistores em série. Onde um resistor de  $10k\Omega$  será ligado ao Botão, e o resistor de  $220\Omega$  será ligado ao Led. O princípio de funcionamento está relacionado ao próprio ato manual de pressionar o Botão. Ao pressionar o Botão (fechar o circuito) a corrente terá apenas um caminho à percorrer (circuito em série). Logo após, o mesmo princípio de sistema binário por meio do Botão será utilizado no circuito, onde dois resistores de  $220\Omega$  ligados ao Led, serão inseridos em paralelo. Logo ao pressionar o Botão a corrente terá mais de um caminho à percorrer.

## 2.3 MATERIAIS UTILIZADOS

### (1) ARDUINO UNO

**Figura 2.2:** Ilustração do arduino Uno.



Fonte: <https://alozjakob.github.io/Tamaguino/>

### (2) CABO USB

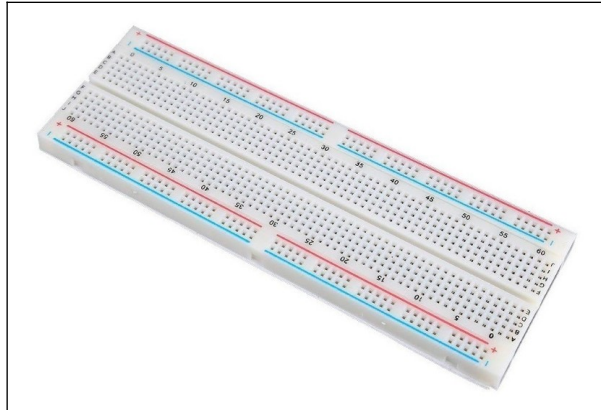
**Figura 2.3 :** Ilustração do cabo USB.



Fonte: <https://www.eletronlineshop.com.br/cabo-usb-mini-para-arduino-nano>

### (3) PROTOBOARD

**Figura 2.4:** Ilustração da Protoboard (placa de ensaio).



Fonte:

[https://br.images.search.yahoo.com/search/images;\\_ylt=AwrhcyvgNhpkliAFfyDz6Qt.;\\_ylu=Y29sbwNiZjEEcG9zAzEEdnRpZAMEc2VjA3BpdnM-?p=protoboard&fr2=piv-web&type=E210BR91199G0&fr=mcafee#id=25&iurl=https%3A%2F%2Felectronicamade.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2020%2F04%2FProtoboard.jpg&action=click](https://br.images.search.yahoo.com/search/images;_ylt=AwrhcyvgNhpkliAFfyDz6Qt.;_ylu=Y29sbwNiZjEEcG9zAzEEdnRpZAMEc2VjA3BpdnM-?p=protoboard&fr2=piv-web&type=E210BR91199G0&fr=mcafee#id=25&iurl=https%3A%2F%2Felectronicamade.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2020%2F04%2FProtoboard.jpg&action=click)

### (4) RESISTORES DE 220Ω E 10KΩ

**Figura 2.5:** Ilustração do resistor de 220Ω.



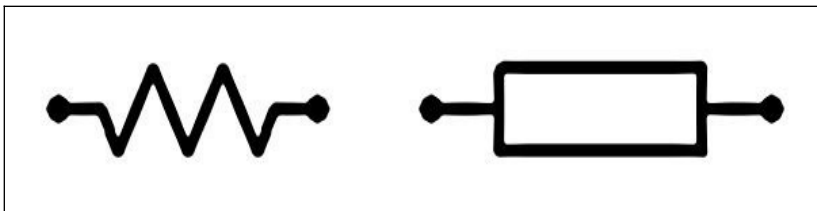
Fonte: <http://www.dannyg.com/examples/res2/resistor.htm>

**Figura 2.6 :** Ilustração do resistor de 10k $\Omega$ .



Fonte: <http://www.dannyg.com/examples/res2/resistor.htm>

**Figura 2.7:** Símbolo do resistor.



Fonte: <https://www.mundodaeletrica.com.br/resistores-fixos/>

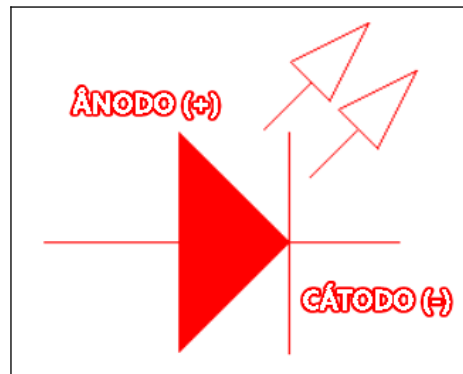
## (5) LED VERMELHO

**Figura 2.8:** Ilustração do Led vermelho.



Fonte: <https://www.eletopecas.com/Produto/diodo-led-difuso-10mm-vermelho-fyl-10013-urd1a>

**Figura 2.9:** Símbolo do Led vermelho.



Fonte: Autoria própria (2023)

## (6) BOTÃO DE PRESSÃO

**Figura 2.10:** Ilustração do Botão de pressão.

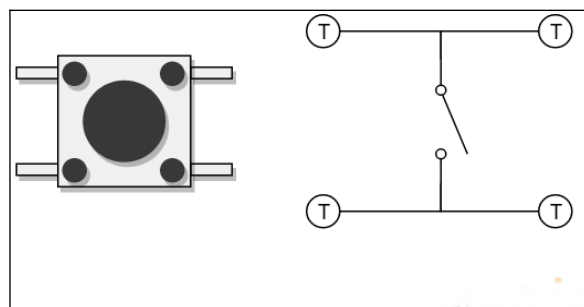


Fonte: <https://www.squids.com.br/arduino/index.php/software/dicas/168-como-usar-push-button-com-arduino-programacao>

### 2.4 Explicando o componente botão de pressão:

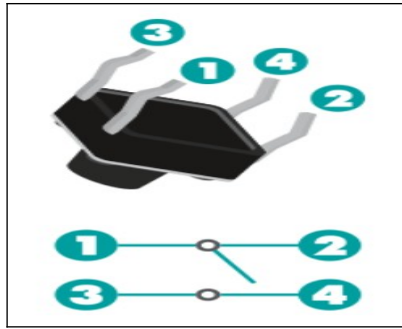
As figuras 2.11 e 2.12, ilustram os terminais do **Botão de pressão**. Existem **4 terminais** no Botão de pressão, onde cada par de terminais está associado em série entre si:

**Figura 2.11:** Sistema interno do Botão.



Fonte: <https://dalousoarobotica.com.br/blog/push-button-como-chave-estatica/>

**Figura 2.12:** Terminais do Botão.



Fonte: [https://www.kitsarduino.com.br/cmp/chave\\_tactil.html](https://www.kitsarduino.com.br/cmp/chave_tactil.html)

Quando o circuito é fechado, os **4 terminais** conectam-se, permitindo então a passagem de corrente para todo o circuito.

## 2.5 Programação do arduino:

### 2.5.1 Código de programação comentado

```
//PROJETO: Botão de pressão em série e paralelo

//Constantes para identificar os pinos que serão utilizados

const byte LED = 13;
const byte BOTAO = 2;

//Variável que receberá o valor do botão
byte valorbotao;

//Definição dos pinos de entrada e saída de corrente
void setup() {
  pinMode(LED,OUTPUT);


  pinMode(BOTAO,INPUT);

  // put your setup code here, to run once:
}
//Definição da leitura digital e o valor que o LED receberá
void loop() {
  valorbotao = digitalRead(BOTAO);

  digitalWrite(LED,valorbotao);
  // put your main code here, to run repeatedly:
}
```

## 2.5.2 Código na interface IDE

**Figura 2.13:** Código na interface IDE do projeto.



The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. At the top, the window title is "BOTAOS | Arduino 1.8.18". Below the title bar, there is a menu bar with "Arquivo", "Editar", "Sketch", "Ferramentas", and "Ajuda". A toolbar with icons for check, back, grid, up, and down is visible. The main editor area shows the following code:

```
BOTAOS §  
//PROGETO: Botão de pressão em série e paralelo  
  
const byte LED = 13;  
const byte BOTAOS = 2;  
byte valorbotao;  
void setup() {  
  pinMode(LED, OUTPUT);  
  pinMode(BOTAOS, INPUT);  
  // put your setup code here, to run once:  
  
}  
  
void loop() {  
  valorbotao = digitalRead(BOTAOS);  
  
  digitalWrite(LED, valorbotao);  
  // put your main code here, to run repeatedly:  
  
}
```

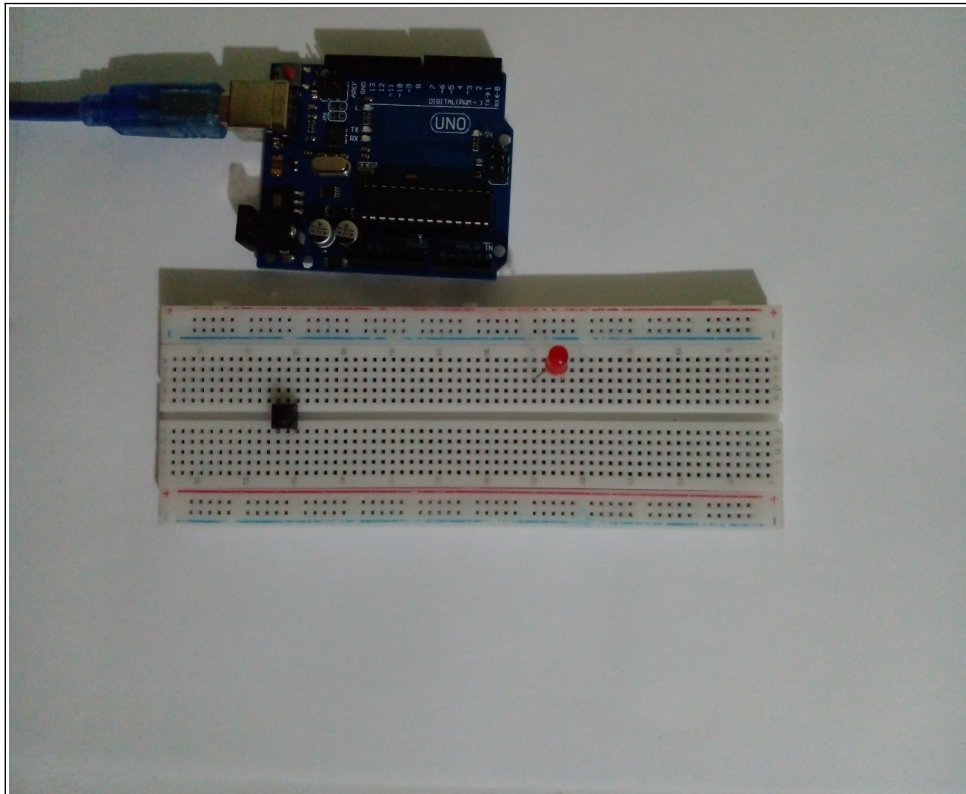
Fonte: Autoria própria (2023).

## 2.6 Circuito elétrico em série

### 2.6.1 Descrição da montagem do circuito elétrico em série

Primeiramente conecta-se o arduino UNO a uma fonte de tensão através do cabo USB. Após isso, insere-se na protoboard os componentes para o projeto. No caso, o LED e o Botão de pressão. A **Figura 2.14** mostra esse procedimento:

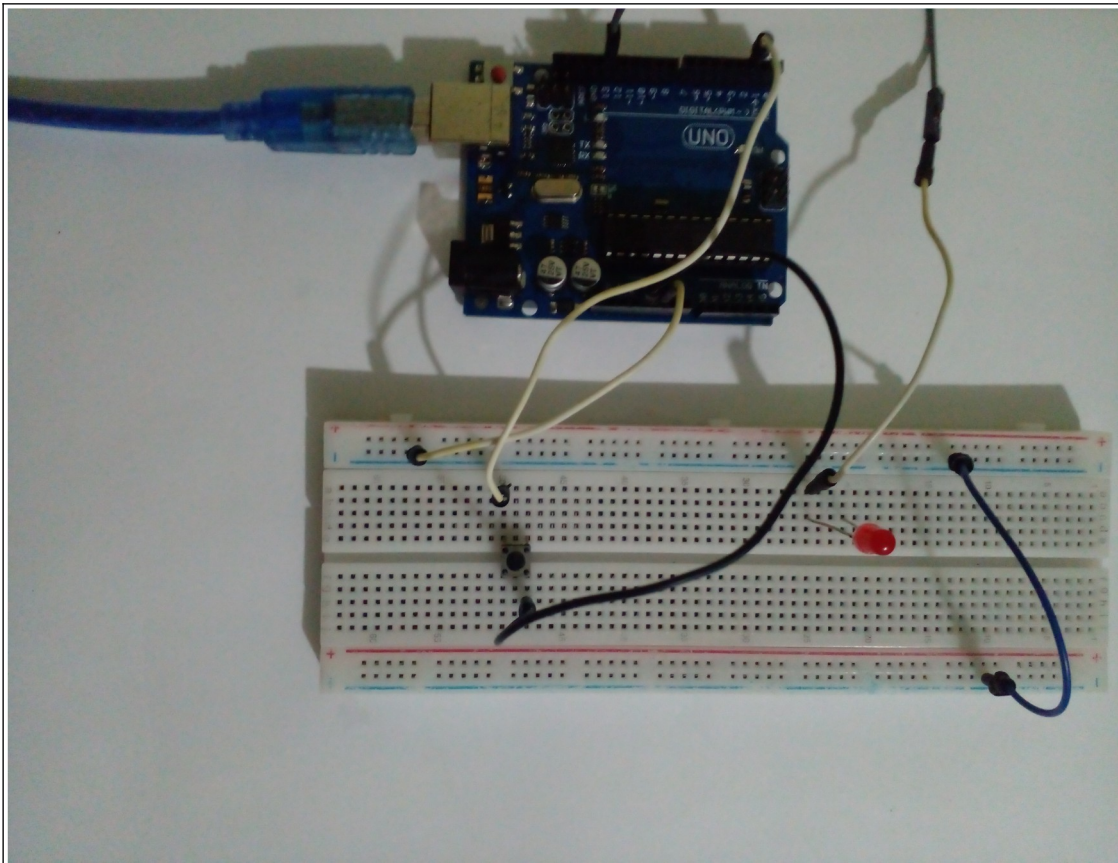
**Figura 2.14:** Montagem do circuito elétrico do projeto – parte 1.



Fonte: Autoria própria (2023).

O cabo branco menor, faz a ligação do circuito ao GND.  
Utilizando o cabo preto, conecta-se o botão de pressão ao pino 5V do arduino.  
O cabo branco conecta o terminal da outra série do botão ao pino 2 do arduino.  
O outro cabo branco conecta o anodo do LED ao pino 13.  
O cabo roxo interliga as séries negativas da protoboard.  
Esse processo é mostrado na **Figura 2.15**:

**Figura 2.15:** Montagem do circuito elétrico do projeto-parte 2.



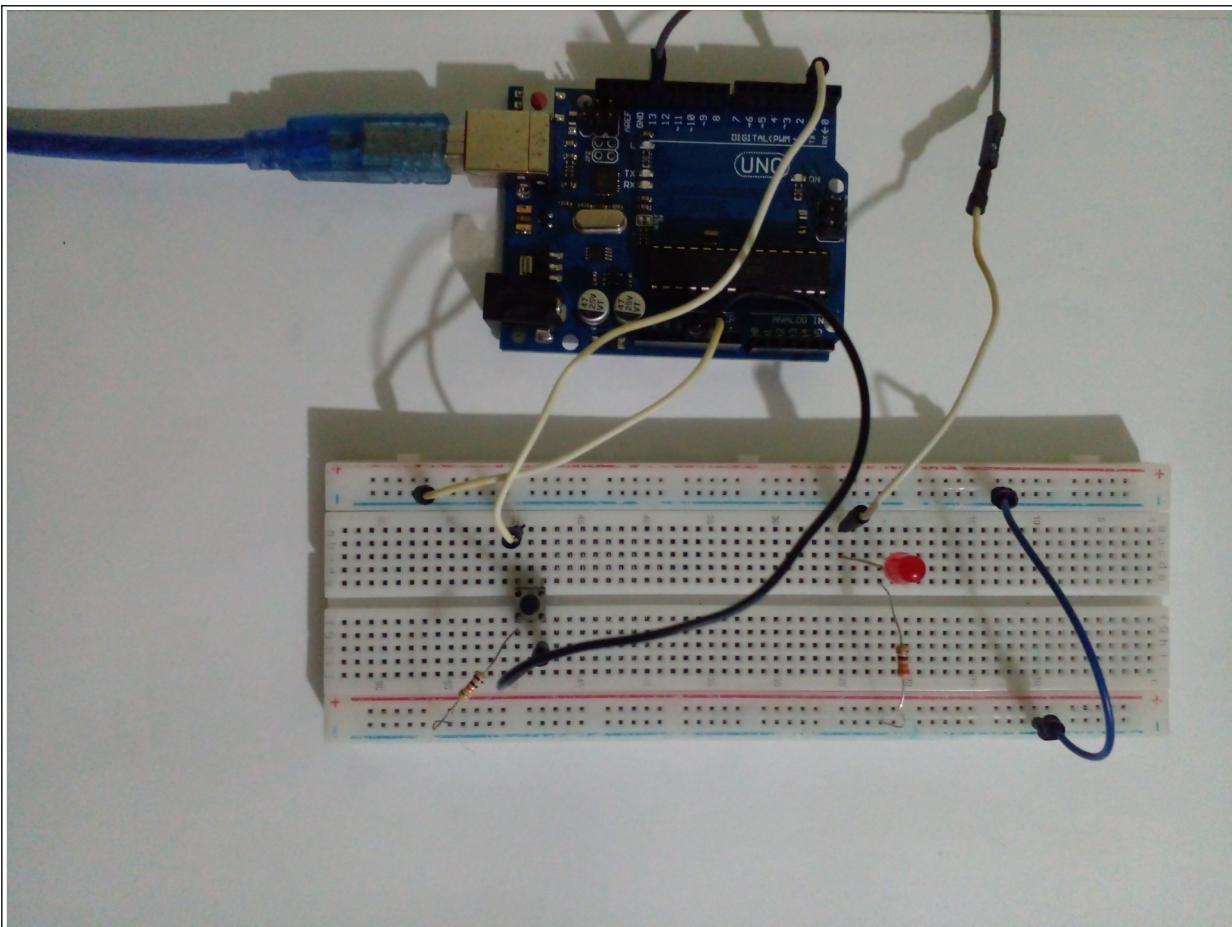
Fonte: Autoria própria (2023).

Inserem-se agora os resistores ao circuito. Um terminal do resistor de  $10\text{k}\Omega$  é inserido em um dos terminais do botão, e o outro terminal é conectado a série negativa da protoboard, a qual é interligada ao GND por meio do cabo roxo.

O resistor de  $220\Omega$  conecta o ânodo do LED a série negativa da protoboard, a qual está interligada por meio do cabo roxo ao GND.

Dessa forma, o circuito é fechado. A **Figura 2.16** mostra essa configuração:

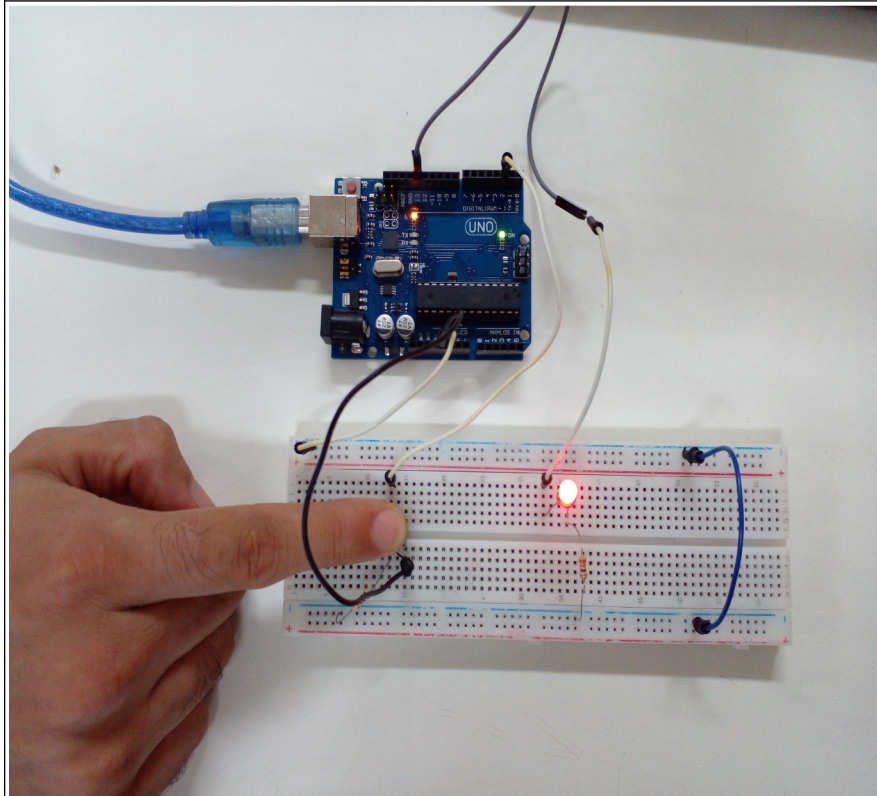
**Figura 2.16:** Montagem do circuito elétrico do projeto-parte 3.



Fonte: Autoria própria (2023).

Na **Figura 2.17** é mostrado o circuito em funcionamento:

**Figura 2.17:** Funcionamento do circuito elétrico em série do projeto-parte 4.

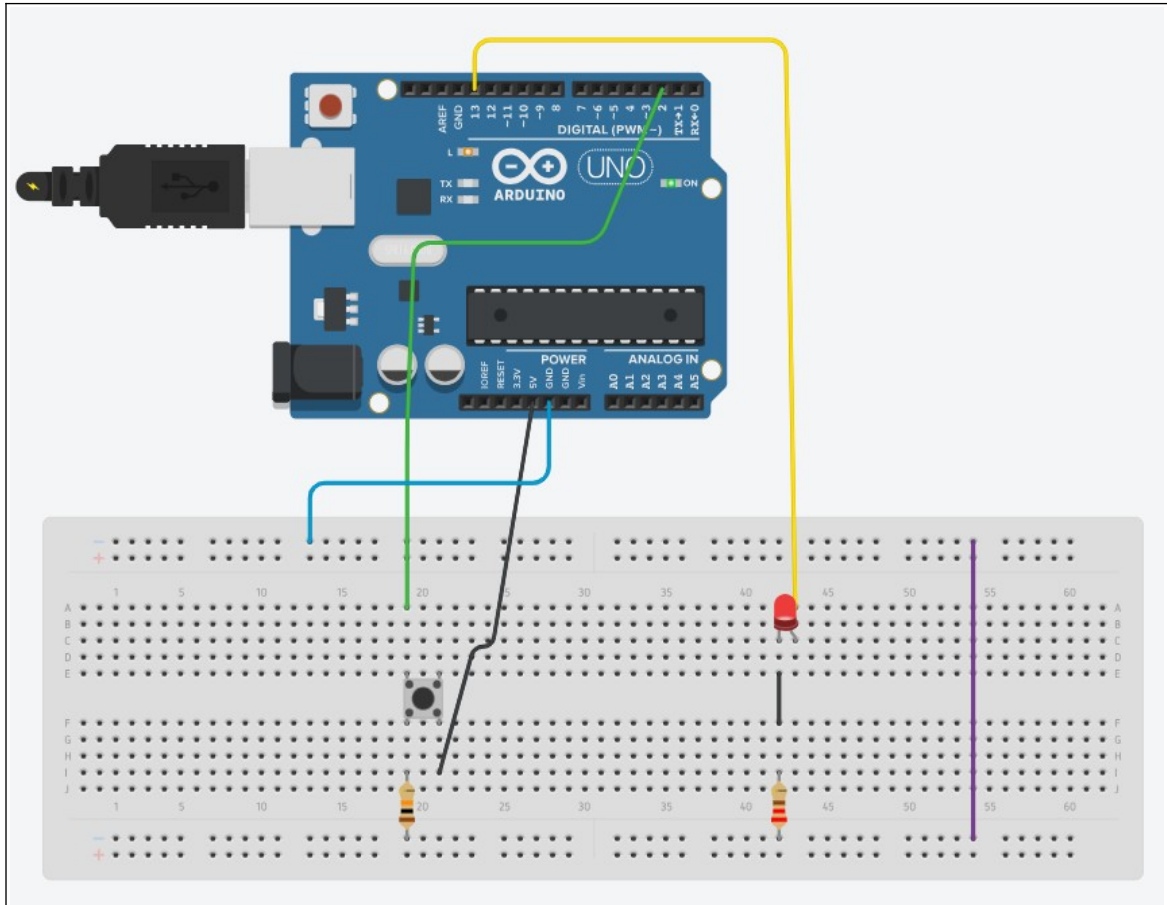


Fonte: Autoria própria (2023).

Ao pressionar o botão o circuito se fecha, e por meio da programação já comentada anteriormente, o LED acende.

Outra maneira de montar o circuito em questão está representado por meio do programa Thinkercad: Na **Figura 2.18** é mostrado esse forma:

**Figura 2.18:** Circuito montado no Thinkercad.



Fonte: Autoria própria (2023).

## 2.6.2 Cálculos realizados para o circuito em série

Por meio dessa seção serão apresentados os cálculos que foram realizados, no projeto do botão de pressão, considerando os componentes do circuito. E levando em consideração relações fundamentais da eletrodinâmica, como a Lei de Ohm.

### 2.6.2.1 Cálculo da tensão sobre o LED no circuito em série do projeto

Para o devido cálculo é necessário conhecer a resistência do LED e a corrente que o percorre.

Para isto, utiliza-se a **equação para o cálculo de resistores**. Por meio deste cálculo, pode-se encontrar o valor da resistência do componente dividindo a diferença das tensões de alimentação e de suporte do LED pela corrente elétrica que o atravessa. Esta relação é mostrada a seguir:

$$R = \frac{(V_{\text{alimentação}} - V_{\text{led}})}{I} \quad (2.1)$$

Utilizando os valores de tensão e corrente para o LED fornecidos pela tabela do capítulo 1, tem-se que a tensão que o LED suporta será de aproximadamente 2V, e a corrente que o atravessa será de 20mA, pois este é o valor máximo da corrente dada pelo fabricante. E sabendo que a fonte de alimentação do arduino é de aproximadamente 5V ao pressionar o botão, utiliza-se a equação para o cálculo de resistores descrito acima:

$$R = \frac{(5V - 2V)}{0.02A}$$

$$\mathbf{R = 150\Omega} \quad (2.2)$$

Como o LED e o resistor de 220Ω estão associados em série, considera-se a resistência equivalente do circuito, para então descobrir a corrente que estará presente neste.

### 2.6.2.2 Cálculo da Resistência equivalente e da corrente total do circuito

A resistência equivalente é um recurso utilizado para simplificar circuitos elétricos formados por associação de resistores. Ao obter a resistência equivalente do circuito, obtém-se a resistência do conjunto de resistores associados. Para o circuito em série, a resistência equivalente é dada por meio da relação a seguir:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots R_n \quad (2.3)$$

Considerando que as resistências do circuito do projeto são de 160Ω e 220Ω, sendo do LED e do resistor, respectivamente, e sabendo que estes componentes estão associados em série, obtém-se por meio de (2.3):

$$R_{eq} = 150\Omega + 220\Omega$$

$$\mathbf{R_{eq} = 370\Omega} \quad (2.4)$$

Agora é necessário conhecer a corrente elétrica total que flui no circuito, para esse cálculo, utiliza-se a lei de Ohm:

$$V = R.I$$

$$I(\text{circuito}) = \frac{V}{R}$$

$$I(\text{circuito}) = \frac{5}{370}$$

$$I(\text{circuito}) = 0.013A \quad (2.5)$$

Logo para o cálculo da tensão nos terminais do LED, deve-se considerar a corrente total dada por (2.5), e então utilizar novamente a lei de Ohm para descobrir a tensão sobre o LED.

$$V = R.I$$

$$V = 150 \cdot 0.013$$

$$V = 1.95V \quad (2.6)$$

Portanto, a tensão teórica obtida sobre os terminais do LED é dada por (2.6)

### 2.6.2.3 Cálculo da tensão sobre o resistor no circuito do projeto

O mesmo procedimento abordado na seção 2.6.1 será realizado nesta seção, porém com valores diferentes, já que se trata de um resistor de  $220\Omega$ .

A resistência equivalente claramente será a mesma dada por (2.4), assim como a corrente total que percorrerá o circuito, a qual é dada por (2.5).

Então, para o cálculo da tensão sobre o resistor de  $220\Omega$ , tem-se:

$$V = R.I$$

$$V = 220 \cdot 0.013$$

$$V = 2.86 V \quad (2.7)$$

Portanto, a tensão teórica obtida sobre os terminais do resistor de  $220\Omega$  é dada por (2.7).

Realizando a soma das tensões nos terminais do LED e do resistor de  $220\Omega$ , obtém-se:

$$V = 1.95 + 2.86$$

$$V = 4.81 V \quad (2.8)$$

Ou seja, a soma das tensões nos terminais de cada componente é aproximadamente a tensão da fonte. Que neste caso é 5V.

## 2.7 Medições do experimento do circuito em série

### 2.7.1 Medição da tensão nos terminais do LED

Com o auxílio de um multímetro, foi realizado a medição da tensão nos terminais do LED quando o circuito encontra-se fechado, ou seja, quando o botão está pressionado. O valor da tensão nos terminais do LED está representado na figura 2.19 a seguir:

**Figura 2.19:** Valor experimental da tensão nos terminais do LED.



Fonte: Autoria própria (2023).

É interessante notar que o valor experimental de aproximadamente 1.93V diverge um pouco do valor teórico de 1.95V, porém é bem próximo do mesmo. Isto pode ocorrer devido a pequenas perdas de energia no próprio circuito, através por exemplo do próprio cabo de conexão.

## 2.7.2 Medições da tensão nos terminais do Resistor de 220Ω em série

O mesmo procedimento da seção 2.7.1 foi realizado para o resistor. Através de um multímetro verificou-se a tensão nos terminais do resistor de 220Ω, e o resultado dessa medida está representado na Figura 2.20:

**Figura 2.20:** Valor experimental da tensão nos terminais do Resistor de 220Ω.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Realizando a soma das tensões nos terminais tanto do resistor quanto do LED obtém-se aproximadamente:

$$V = 2.62V + 1.98V$$

$$V = 4.6V$$

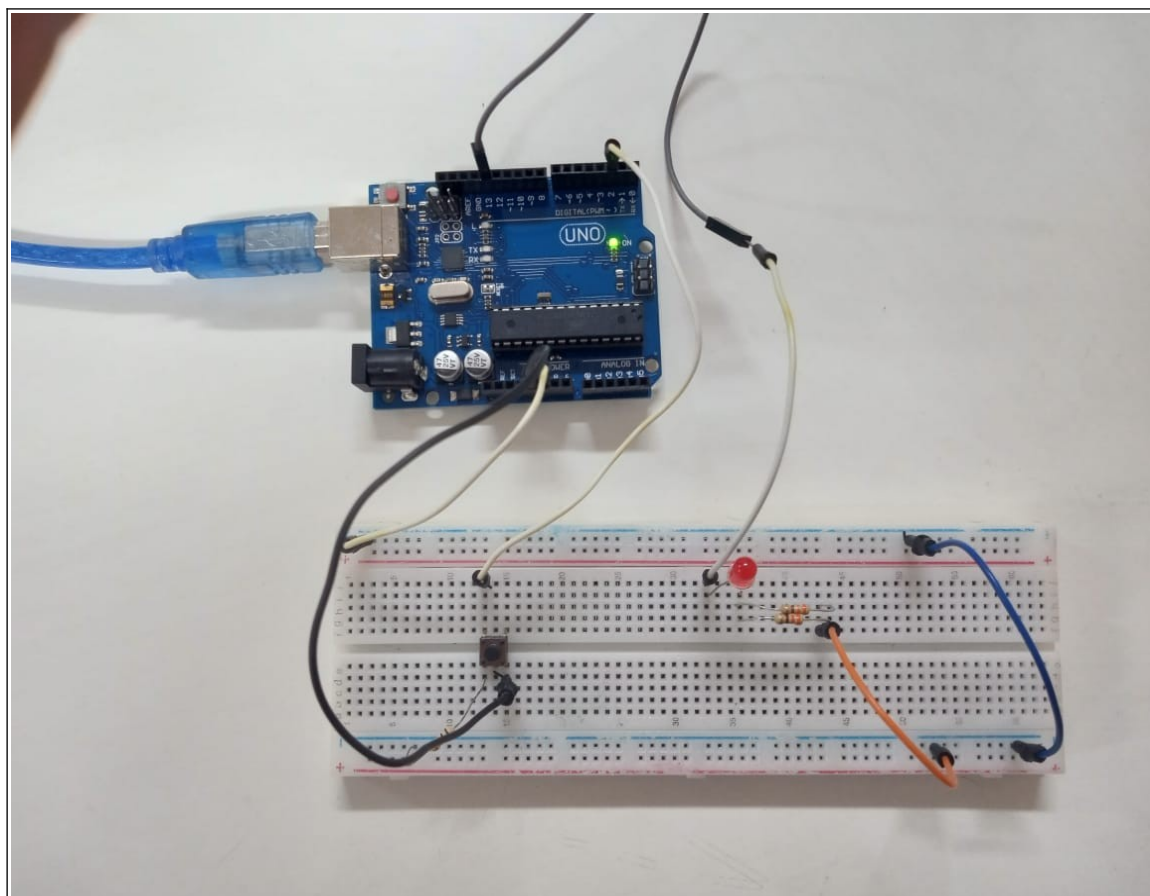
Ou seja, um resultado experimental bem próximo do resultado teórico.

## 2.8 Circuito elétrico em paralelo

### 2.8.1 Descrição da montagem do circuito elétrico em paralelo

A montagem deste circuito assemelha-se bastante ao da seção 2.5. A única diferença está no fato de que foi inserido mais um resistor de  $220\Omega$  em paralelo com o primeiro resistor também de  $220\Omega$ , como é possível visualizar na Figura 2.21:

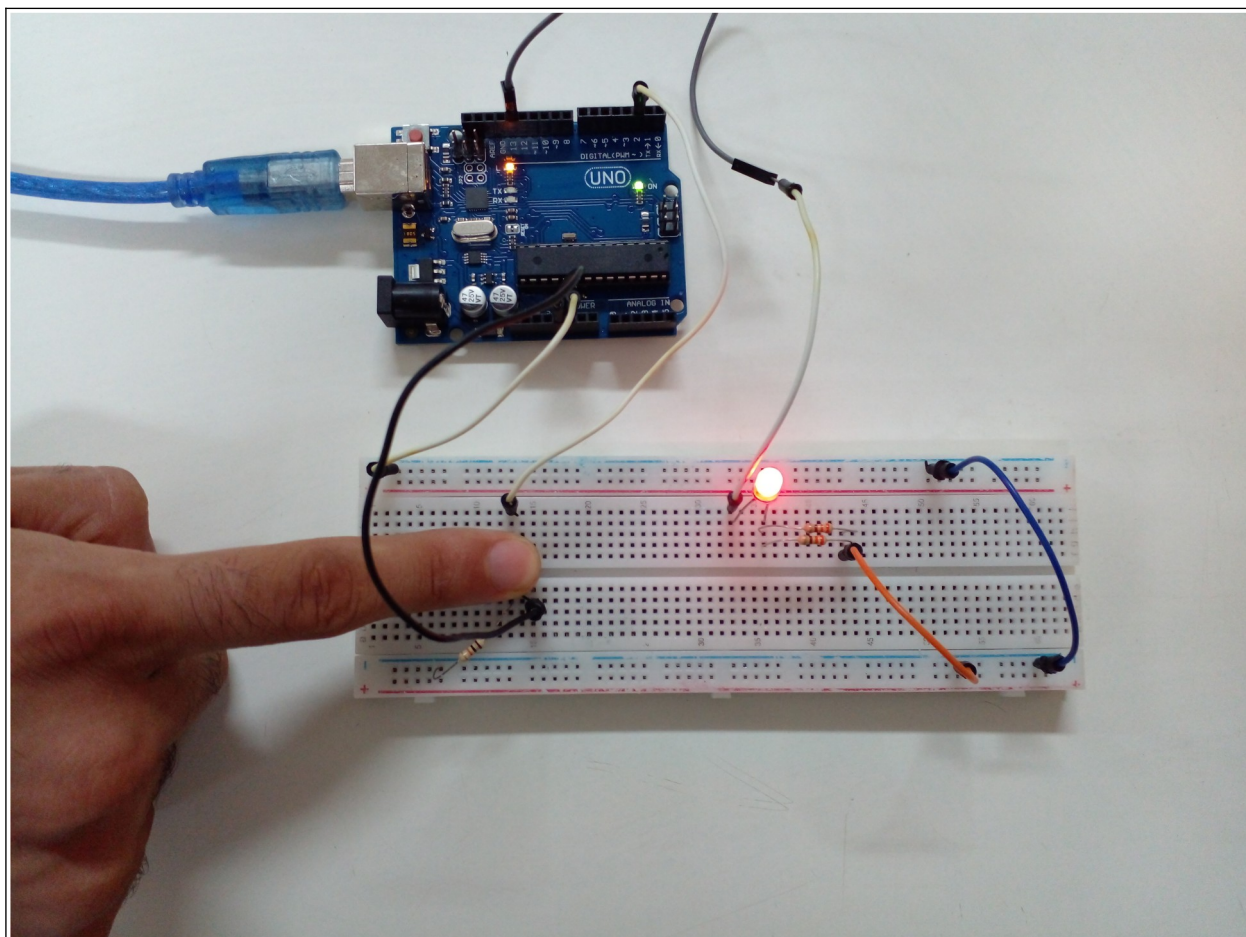
**Figura 2.21:** Montagem do circuito elétrico do projeto em paralelo.



Fonte: Autoria própria (2023).

Da mesma maneira que na Figura 2.17 da seção 2.5, é mostrado na figura 2.22 o circuito em funcionamento:

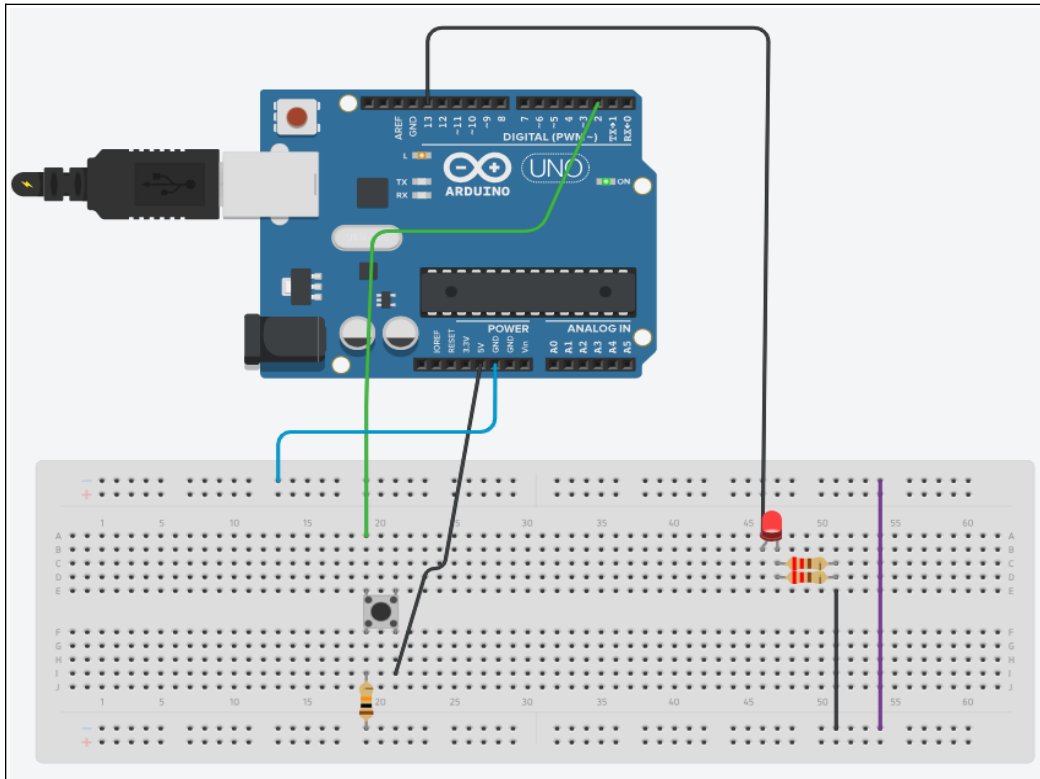
**Figura 2.22:** Funcionamento do circuito elétrico do projeto em paralelo.



Fonte: Autoria própria (2023).

Por meio da figura 2.23 é possível visualizar o mesmo circuito por meio do programa Thinkercad:

**Figura 2.23:** Circuito montado no Thinkercad.



Fonte: Autoria própria (2023).

## 2.8.2 Cálculos realizados para o circuito em paralelo

Assim como na seção 2.6 será realizado os devidos cálculos, considerando a Lei de Ohm, para descobrir os valores de tensão tanto para o LED quanto para os dois resistores de  $220\Omega$ , associados em paralelo.

### 2.8.2.1 Cálculo da tensão sobre os terminais do LED no circuito em paralelo do projeto

Considerando o valor de resistência do LED encontrado por meio de (2.2), e a resistência de  $220\Omega$  dos resistores associados em paralelo entre si, é possível descobrir o valor da resistência equivalente do circuito.

### 2.8.2.2 Cálculo da resistência equivalente e da corrente total do circuito

A resistência equivalente de um circuito em série é dado por meio da relação a seguir:

$$R = \frac{(R1 \times R2)}{R1 + R2}$$

Portanto, substituindo os valores de resistência, tem-se;

$$Req = \frac{(220 \times 220)}{220 + 220}$$

$$Req = 110\Omega \quad (2.9)$$

Considerando a resistência equivalente de (2.9) e somando-a a resistência do LED dada em (2.2), tem-se a resistência equivalente do circuito:

$$Req(\text{circuito}) = Req + Rl$$

$$Req(\text{circuito}) = 110 + 150$$

$$Req(\text{circuito}) = 260\Omega \quad (2.10)$$

### 2.8.2.3 Cálculo da corrente total do circuito em paralelo

Agora é necessário conhecer a corrente elétrica total que flui no circuito. Para esse cálculo, utiliza-se a lei de Ohm:

$$V = R \cdot I$$

$$I = \frac{V}{R}$$

$$I = \frac{5}{260}$$

$$I = 0.019A \quad (2.11)$$

Como o circuito encontra-se com resistores associados em paralelo, é necessário considerar que a corrente terá mais de um caminho à seguir.

Como neste caso, existem dois resistores associados em paralelo, e ambos possuem dois resistores iguais, a corrente elétrica será exatamente a metade de (2.11). Ou seja, a corrente que passará por cada resistor de  $220\Omega$  será dada por :

$$I = \frac{(I \text{ circuito})}{2}$$

$$I = \frac{0.019}{2}$$

$$I = 0.009A \quad (2.12)$$

#### 2.8.2.4 Cálculo da tensão nos terminais do LED

Para o cálculo da tensão nos terminais do LED, considera-se a corrente total dado por (2.11), e a resistência do LED dado por (2.2). Então, por meio da lei de Ohm, tem-se:

$$V = R \cdot I(\text{circuito})$$

$$V = 150 \cdot 0.019$$

$$V = 2.85V \quad (2.13)$$

Portanto, a tensão teórica obtida sobre os terminais do LED em paralelo, é dada por (2.13).

#### 2.8.2.5 Cálculo da tensão nos terminais do resistor R1 de $220\Omega$ em paralelo

Para o devido cálculo é necessário novamente a utilização da lei de Ohm, utilizando o próprio valor do resistor R1 de  $220\Omega$  e da corrente elétrica dividida, dada por (2.12):

$$V = R \cdot I$$

$$V = 220 \cdot 0.009$$

$$V = 1.98 V \quad (2.14)$$

Portanto, a tensão teórica obtida sobre os terminais do resistor R1 de  $220\Omega$  em paralelo, é dada por (2.14).

Vale ressaltar que o outro resistor R2 de  $220\Omega$  terá a mesma tensão dada por (2.14) em seus terminais, ou seja, a mesma tensão nos terminais do resistor R1. Isto devido aos resistores estarem associados em paralelo entre si.

Ao realizar a soma das tensões dos componentes, no caso, a tensão dada por (2.14) e a tensão dada por (2.13), verifica-se que o resultado aproxima-se bastante da tensão da fonte. No caso, a tensão de 5V.:

$$V = 1.98 + 2.85$$

$$V = 4.83 \text{ V} \quad (2.15)$$

## 2.10 Medições do experimento do circuito em paralelo

### 2.10.1 Medições da tensão nos terminais do LED no circuito em paralelo

Da mesma maneira que na subseção 2.7.1, foi realizado por meio de um multímetro a medida da tensão nos terminais do LED. O resultado é revelado na Figura 2.24:

**Figura 2.24:** Valor experimental da tensão nos terminais do LED.

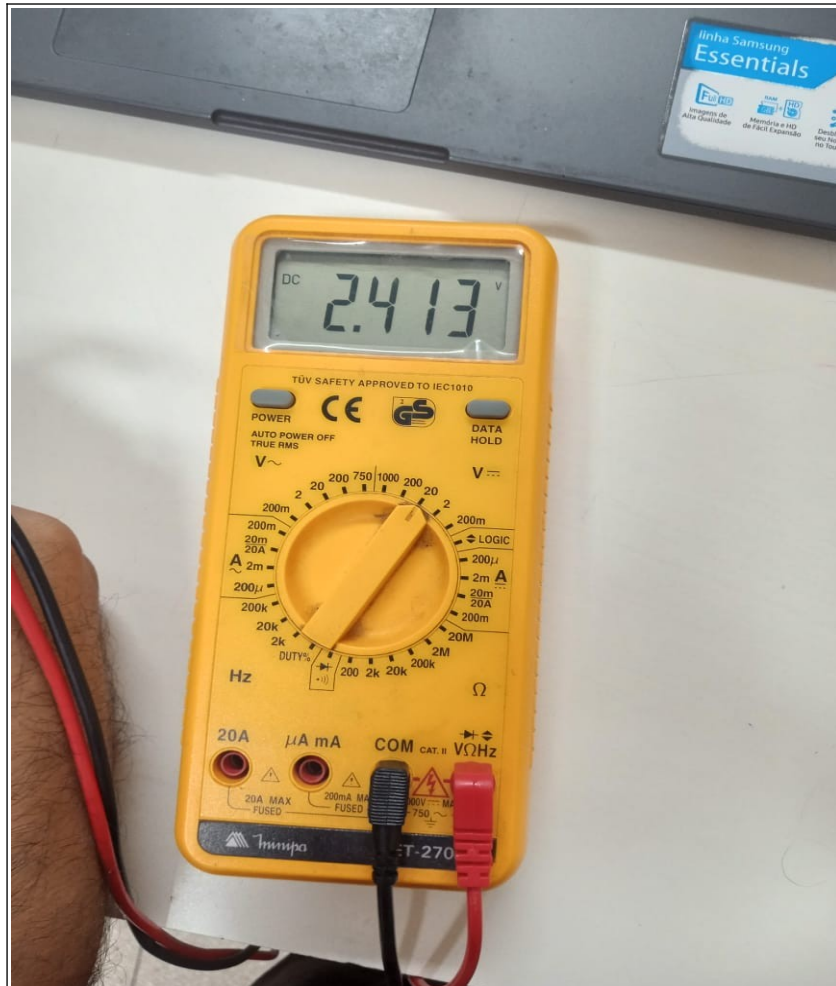


Fonte: Autoria própria (2023).

### 2.10.2 Medições da tensão nos terminais do primeiro resistor R1 de 220Ω

Através do multímetro verificou-se a tensão nos terminais do resistor de 220Ω, e o resultado dessa medida está representado na Figura 2.25:

**Figura 2.25:** Valor experimental da tensão nos terminais do resistor R1 de 220Ω em paralelo.

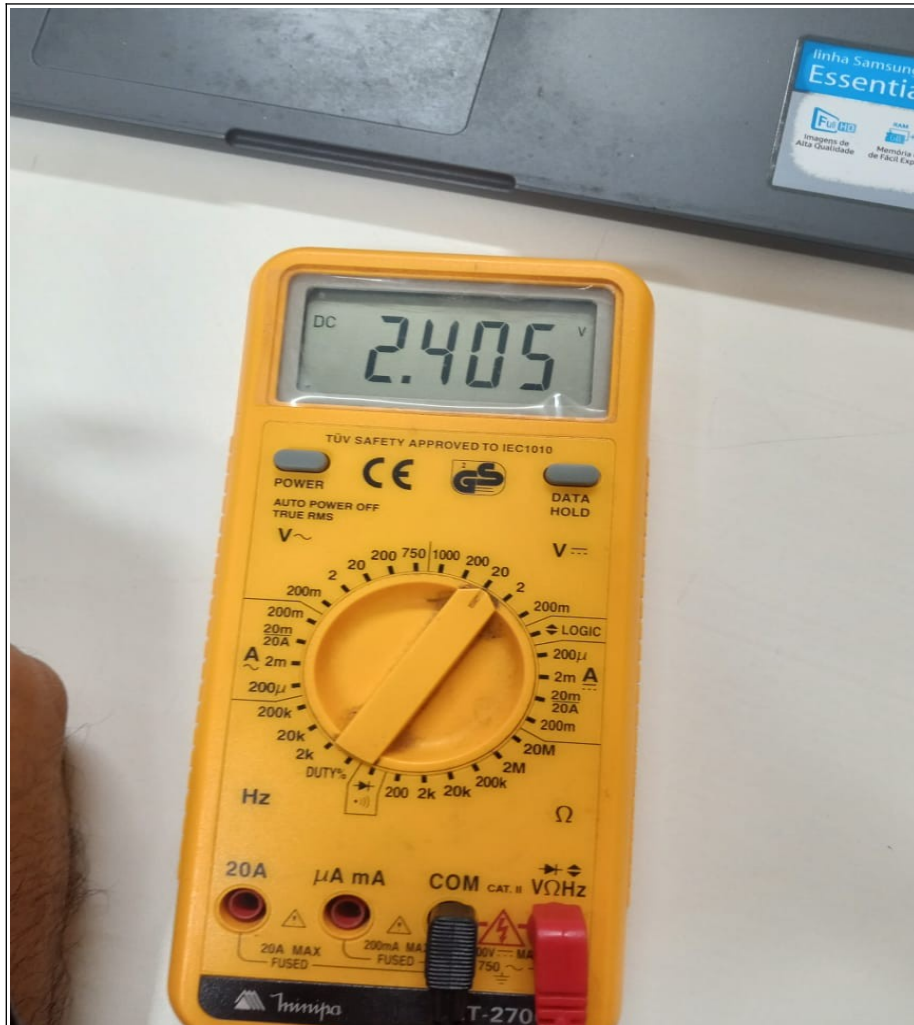


Fonte: Autoria própria (2023).

### 2.10.3 Medições da tensão nos terminais do segundo resistor R2 de 220Ω

A Figura 2.26 revela o resultado da tensão nos terminais do segundo resistor também de 220Ω:

**Figura 2.26:** Valor experimental da tensão nos terminais do resistor R2 de 220Ω em paralelo.



Fonte: Autoria própria (2023).

Ao somar as tensões obtidas experimentalmente tanto do LED quanto dos resistores ,R1 e R2 associados em paralelo obtém-se:

$$V = 1.99V + 2.4V$$

$$V = 4.39V$$

Ou seja, um valor relativamente próximo de 5V, pois existem sempre perdas no processo.

## 2.11 Algumas considerações a respeito dos valores experimentais

Por não se tratar de uma fonte de tensão ideal, os portadores de carga encontram resistência ao se deslocarem no circuito. Ainda que esta resistência seja relativamente pequena, é suficiente para revelar no multímetro um certo desvio do que seria o valor ideal.

É importante considerar que a fonte de tensão real possui resistência interna diferente de zero. Portanto, a tensão que é fornecida ao circuito não é exatamente 5V no caso do arduino, pois uma pequena parcela dessa energia é dissipada na resistência interna.

## 2.12 Conclusões a partir dos experimentos

A partir dos cálculos teóricos realizados, em série e em paralelo, é possível notar que o valor de tensão no LED em paralelo é maior do que o mesmo em série. Isto ocorre devido a resistência equivalente do circuito.

No circuito em série abordado, a resistência equivalente é maior do que no mesmo circuito em paralelo. Portanto, por meio da lei de Ohm é possível compreender que de acordo com o valor de resistência, obtém-se valores diferentes de corrente para uma mesma tensão. Como no circuito em série, a resistência equivalente é maior em comparação com o circuito em paralelo, a corrente será menor. O recíproco ocorre no circuito em paralelo. Por este possuir resistência equivalente menor, percorrerá sobre ele maior corrente. E isto influenciará na medição dos componentes do circuito.

A relação matemática que revela esse processo é descrito à seguir:

$$V = R_{eq} \cdot I \text{ (lei de Ohm)}$$

$$I = \frac{V}{R_{eq}}$$

Para uma mesma tensão, a corrente elétrica que percorre o circuito é inversamente proporcional à resistência equivalente.

Outro ponto a ser considerado é existência de um desvio entre o valor teórico e o valor experimental da tensão sobre o LED, no caso do circuito em paralelo.

O valor teórico de tensão para o LED no circuito em paralelo é de 2.85V, enquanto que a medida experimental é de 1.99V. Isto ocorre pois a tensão máxima geralmente permitida para o LED é de 2V. Ou seja, o máximo de tensão que poderá ser medido pelo multímetro é de 2V. A tensão restante é distribuída nos outros resistores R1 e R2 do circuito. Devido a isso, é possível verificar que a tensão experimental sobre os resistores R1 e R2 de 220Ω é diferente da tensão teórica sobre os mesmos. A tensão teórica dos resistores R1 e R2 de 220Ω é de 1.98V, enquanto que a tensão experimental é de 2.4V. Justamente pela sobra de energia devido ao LED suportar apenas 2V no máximo de tensão.

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve o intuito de apresentar componentes eletrônicos essenciais para a montagem de circuitos elétricos, e transmitir os conceitos físicos desses componentes. E a partir desta compreensão, entender como estes componentes podem ser inseridos na formação dos circuitos elétricos. As ilustrações do circuito montado com resistores em série e em paralelo, foi utilizado para melhor visualização do mesmo. E dessa forma pode ser até mesmo compreendido como uma proposta pedagógica, de forma a facilitar o entendimento de circuitos. A soma dos resultados de tensão sobre o LED e o resistor, tanto no caso onde os mesmos foram inseridos em série, quanto no caso em o LED foi inserido em série com os dois resistores de  $22\Omega$  inseridos em paralelo entre si, possibilitou a compreensão do princípio da conservação da carga elétrica. Já que em ambos casos, as somas das tensões medidas em cada componente resultou na tensão fornecida pela fonte.

#### 4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] R.Antonowiski,M.V.Alencar,L.C.T.Rocha. **Dificuldades encontradas para aprender a física moderna**, 2017.
- [2]BRESCASIN,L.**Aula 4 – Potencial elétrico-parte 1**. UNICAMP,2013 acessada em:<https://www.youtube.com/watch?v=g5BhOVeT6JM&list=PLxI8Can9yAHdG8tw2QofrU02IuAEVyGIL&index=7>
- [3] SILVA,B.,;CÂMARA,SÍLVIO.,;AFONSO,J. **Série histórica da composição química de pilhas alcalinas entre 1991 e 2009.**, 2010.
- [4]HALLIDAY,D.;RESNICK,R.;WALKER,J. **Fundamentos de Física volume 3 eletromagnetismo 10º edição**,2016.
- [5] ALVES, E.G.; SILVA, A.F. **Usando um LED como fonte de energia**, 2008.
- [6] SCHIEL,D. **Eletricidade: circuitos elétricos-EXPERIMENTOTECA CDCC-USP**,2003.