



MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
REGIONAL DE CATALÃO – UNIDADE ACADÊMICA ESPECIAL DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA**

LUIZ CARLOS DE MOURA

PRODUTO EDUCACIONAL

**CONSTRUÇÃO DE UM SENSOR DE PULSOS CARDÍACOS PARA A
APRENDIZAGEM ATIVA DE ELETRICIDADE NO ENSINO MÉDIO**

Catalão, 18 de setembro de 2020.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
REGIONAL DE CATALÃO – UNIDADE ACADÊMICA ESPECIAL DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA

LUIZ CARLOS DE MOURA

**CONSTRUÇÃO DE UM SENSOR DE PULSOS CARDÍACOS PARA A
APRENDIZAGEM ATIVA DE ELETRICIDADE NO ENSINO MÉDIO**

Produto Educacional associado à dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ensino de Física, do Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino De Física (MNPEF), do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Goiás (UFG) – Regional de Catalão.

Orientador
Denis Rezende de Jesus

CATALÃO – GO
2020

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO.....	3
2. PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA	4
3. PLANOS DE AULA	5
4. ROTEIRO PARA MONTAGEM DO SENSOR DE PULSOS CARDÍACOS	14
4.1 Princípio de funcionamento do sensor de pulsos cardiacos.....	14
4.2 Lista de Materiais	19
4.3 Procedimento Experimental.....	20
5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	22
5.1 A eletricidade.....	22
5.1.1 Gerador de Corrente Contínua.....	23
5.1.2 Associação de Geradores	25
5.1.3 Corrente elétrica.....	26
5.1.4 Condutores e Isolantes	27
5.1.5 Resistência Elétrica.....	28
5.1.6 Associação de Resistores	29
5.1.7 Efeito Joule	32
5.1.8 Capacitores.....	33
5.2 Dispositivos Semicondutores	35
5.3 Sistema Circulatório.....	36
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

1. APRESENTAÇÃO

Este produto educacional tem como proposta a elaboração de uma sequência didática e a montagem de um dispositivo sensor de pulsos cardíacos, usando um circuito eletrônico de montagem simples com o auxílio do Arduino, que envolverá desde as teorias e conceitos correlatos da física, mais precisamente na eletricidade, mas que também envolve conceitos de biologia extraídos no funcionamento dele, em que são captados e reproduzidos sinais de informação e comportamento da fisiologia humana.

A proposta consiste em aplicar um modelo de aprendizagem ativa e interdisciplinar para turmas de estudantes do terceiro ano do ensino médio para o desenvolvimento dos conceitos de eletrodinâmica.

2. PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A sequência didática foi planejada para ser aplicada em 7 aulas com duração de, no mínimo, 45 minutos cada. Os temas de cada aula estão apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Programa de atividades propostas para a aplicação.

Módulo	Atividades
1	Unidades e grandezas físicas para o estudo da eletricidade.
2	Leis de Ohm, associação de resistências e código de cores.
3	Estudo dos capacitores.
4	Estudo preparatório para montagens de circuitos eletrônicos.
5	Montagem do circuito eletrônico do sensor de pulsos.
6	Finalização da montagem, teste de funcionamento e integração de conhecimentos.
7	Conclusão do trabalho, avaliação argutiva e síntese dos conceitos.

3. PLANOS DE AULA

Este capítulo apresenta os planos de aula desenvolvidos para a aplicação do produto educacional nas escolas.

PLANO DE AULA - Aula 01

DISCIPLINA: Física

TEMA(S): *Unidades e Grandezas Físicas para a Eletricidade.*

DURAÇÃO: 1 hora-aula.

OBJETIVOS

Adquirir compreensão e habilidades em notação Científica para os cálculos, leitura e interpretação de grandezas elétricas. Familiarizar os alunos com o instrumento de medida: multímetro (operando como ohmímetro). Leitura de valores nominais de resistência e capacitância.

CONTEÚDOS

1. Revisão de potências.
2. Grandezas físicas importantes para o desenvolvimento do trabalho.
3. Múltiplos e Submúltiplos.
4. Instrumento de medidas elétricas.

METODOLOGIA

- Apresentar de forma expositiva o conteúdo proposto com auxílio de material apostilado e lousa.
- Aplicar um questionário (ver Anexo A) com questões gerais sobre os temas a serem desenvolvidos no trabalho.
- Na sequência, os alunos desenvolverão uma atividade prática, através da resolução de exercícios referente a múltiplos e submúltiplos e o emprego destes nas grandezas físicas utilizadas nas aulas.
- Apresentar aos alunos o multímetro, suas escalas e os modos de medição para resistência elétrica.
- Dividir a sala em grupos de quatro ou cinco alunos.
- Distribuir um conjunto de dois resistores e capacitores de valores aleatórios para cada grupo.
- Orientar os alunos a medir o valor da resistência elétrica de cada resistor com o multímetro, anotando os valores na folha de exercícios.
- Orientar os alunos a efetuar a leitura e interpretação do valor nominal dos capacitores, anotando os valores na folha de atividades.
- Converter os valores obtidos entre as subunidades e a notação de potência de dez.

RECURSOS UTILIZADOS

- Lousa e pincel;
- Caderno;
- Folha de atividades;
- Multímetro;
- Resistores;

-Capacitores

REFERÊNCIAS

NICOLAU, G. F. TOLEDO, P. **Física Básica - Volume Único**. ed. Atual, 1998. ISBN: 85-7056-962-9.
AIUB, J. E. FILONI, E. **Eletrônica**. ed. Érika, 1997. ISBN: 8571941157.

PLANO DE AULA - Aula 02

DISCIPLINA: Física

TEMA: *Leis de Ohm Associação de resistências e código de cores.*

DURAÇÃO: 1 hora-aula.

OBJETIVOS

Apresentar uma das propriedades dos materiais que é a resistência elétrica.
Entender a distribuição de tensão em um circuito com resistores.
Verificar a lei de Ohm.
Ler o valor nominal de cada resistor por meio do código de cores.
Associar a potência máxima dissipada em um resistor com suas dimensões físicas.

CONTEÚDOS

1. Resistores.
2. 1ª Lei de Ohm.
3. Código de cores para identificação de resistores.

METODOLOGIA

- Apresentar de forma expositiva o conteúdo proposto com auxílio de material apostilado e lousa.
- Dividir a sala em grupos com quatro ou cinco alunos.
- Fornecer a tabela com o código de cores para a identificação de resistores.

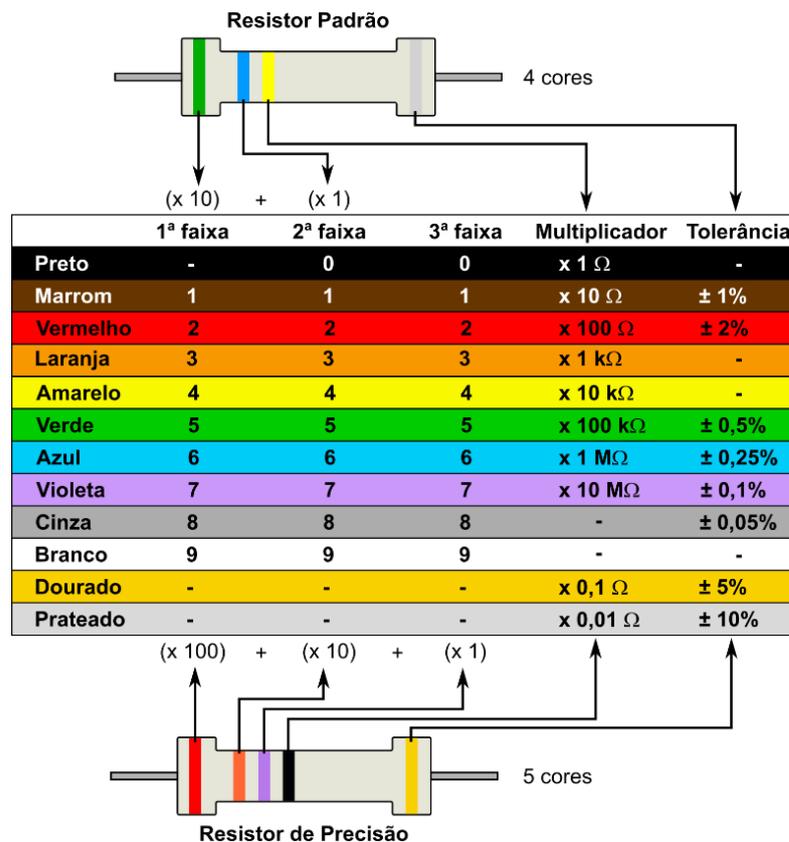


Figura 1 – Tabela de cores para obter o valor dos resistores. Fonte: o próprio autor (2020)

- Fornecer dois resistores para cada grupo com valores diferentes e aleatórios.
- Com uma tabela de código de cores de resistência elétrica, cada grupo identificará a sua resistência.
- Efetuar a medição da resistência elétrica com o multímetro na escala de resistência.
- Comparar o valor medido com o valor lido.
- Confrontar a discrepância, explicando a relação de tolerância.
- Montar um circuito de resistores em série alimentado por uma fonte de tensão.
- Utilizar o multímetro para efetuar as medições de tensão, corrente e resistência elétrica.
- Utilizar a 1ª Lei de Ohm para analisar os resultados obtidos e calcular valores desconhecidos.
- Sintetizar os conceitos por meio da comparação entre as previsões teóricas e a aplicação prática.

RECURSOS UTILIZADOS

- Lousa e pincel;
- Fonte de alimentação;
- Resistores e resistência com derivações;
- Multímetro.

REFERÊNCIAS

NICOLAU, G. F. TOLEDO, P. **Física Básica - Volume Único**. ed. Atual, 1998. ISBN: 85-7056-962-9.

BRAGA, N. C. **Curso Prático de Eletrônica**. Editora Saber Ltda. vol.1. 1993.

PLANO DE AULA - Aula 03

DISCIPLINA: Física

TEMA: *Estudo dos capacitores.*

DURAÇÃO: 1 hora-aula.

OBJETIVOS

Analisar a associação de capacitores série e paralelo. Estudar o comportamento dos capacitores submetidos a uma fonte de tensão contínua.

CONTEÚDOS

1. Entender e distinguir as partes componentes de um capacitor na sua construção e suas funções específicas.
2. Montagem de um circuito com capacitores em série/paralelo e alimentados por uma fonte de tensão contínua.

METODOLOGIA

- Apresentar de forma expositiva o conteúdo proposto com auxílio de material apostilado e lousa.
- Montar o experimento e reunir os alunos para observação e participação.
- Apresentar os dois capacitores disponíveis e seus valores de capacitância. É desejável que os valores de capacitância difiram de uma ordem de grandeza maior ou igual a 10 vezes para acentuar o comportamento no experimento.
- Carregar um capacitor com a tensão da fonte e acompanhar o tempo de descarga. Carregar o segundo capacitor com a mesma tensão e acompanhar o tempo de descarga. Comparar os resultados com os elementos teóricos de carga acumulada, capacitância e tensão.
- Solicitar aos alunos efetuar os cálculos dos valores capacitância equivalente, carga e distribuição de tensão para a associação em série.
- Montar o circuito proposto e alimentá-lo com uma fonte de tensão contínua.
- Efetuar as medições de distribuição de tensão em cada capacitor.
- Comparar os valores teóricos com os valores obtidos na prática.
- Solicitar aos alunos o cálculo da capacitância e carga para a associação em paralelo.
- Avaliar o processo de descarga para esse caso.
- Comparar o resultado com as implicações teóricas.

RECURSOS UTILIZADOS

- Lousa e pincel;
- 01 capacitor de 47 [μF].
- 01 capacitor de 2200 [μF].
- 01 fonte de tensão de 10 V.
- Multímetro.

REFERÊNCIAS

NICOLAU, G. F. TOLEDO, P. **Física Básica - Volume Único.** ed. Atual, 1998. ISBN: 85-7056-962-9.

BRAGA, N. C. **Curso Prático de Eletrônica.** Editora Saber Ltda. vol.1. 1993.

PLANO DE AULA - Aula 04

DISCIPLINA: Física

TEMA(S): *Estudo preparatório para montagens de circuitos eletrônicos.*

DURAÇÃO: 1 hora-aula.

OBJETIVOS

Familiarizar e preparar os alunos com o dispositivo a ser construído, de forma que os mesmos terão a ideia de sua função e do seu princípio de funcionamento.

CONTEÚDOS

- Apresentação do circuito eletrônico do sensor de pulsos cardíacos, com noção do princípio de funcionamento e suas partes.
- Espectro de luz e componentes optoeletrônicos (diodos emissor/receptor de luz).
- Noções básicas de montagem tais como: Simbologia dos componentes envolvidos, ferramentas e instrumentos de medidas.
- Circuitos eletrônicos amplificadores.
- Sistemas digitais.

METODOLOGIA

- Apresentar de forma expositiva o conteúdo proposto com auxílio de material apostilado e lousa.
- Nessa etapa, o dispositivo a ser construído será apresentado de forma efetiva para a classe. Isso, se dará, com o circuito desenhado na lousa pelo professor, e com os alunos acompanhando em uma folha previamente distribuída individualmente, onde o professor irá analisar juntamente com os mesmos a tomada de informação de variação de pressão no dedo, até a tomada do sinal eletrônico na saída do circuito. Os alunos, com essa etapa, terão a oportunidade de associar os conceitos comportamentais de resistores e capacitores, agora em um circuito.
- Detalhar as etapas de processamento do sinal, desde a recepção até sua apresentação no computador, explicando as partes analógica e digital do processo. Explicando a função do Arduino, e a importância da programação, de forma simplificada.

RECURSOS UTILIZADOS

- Lousa e pincel;
- Diagrama esquemático do circuito;
- Protótipo montado em circuito impresso;
- Diodo emissor de luz e fonte DC;
- Arduino;
- Notebook.

REFERÊNCIAS

NICOLAU, G. F. TOLEDO, P. **Física Básica - Volume Único.** ed. Atual, 1998. ISBN: 85-7056-962-9.

AIUB, J. E. FILONI, E. **Eletrônica.** ed. Érika, 1997. ISBN: 8571941157.

BRAGA, N. C. **Curso Prático de Eletrônica.** Editora Saber Ltda. vol.2. 1993.

BOYLESTAD, R. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos.** Pearson, 11ª ed.

PLANO DE AULA - Aula 05

DISCIPLINA: Física

TEMA(S): *Montagem do circuito eletrônico do sensor de pulsos.*

DURAÇÃO: 1 hora-aula.

OBJETIVOS

Apresentar os componentes reais do circuito eletrônico e associá-los aos símbolos do diagrama. Montar o circuito eletrônico do sensor de pulsos.

CONTEÚDOS

- Identificação dos componentes eletrônicos reais do circuito.
- Estratégia de montagem do circuito eletrônico no *protoboard*.
- Conexão elétrica entre os componentes.

METODOLOGIA

- Na sala de aula, uma mesa será colocada de forma estratégica numa posição central em frente a lousa. Os componentes do sensor de pulsos serão colocados na mesma.
- Os alunos deverão sentar-se em torno da mesa para identificar os componentes eletrônicos em correspondência com os símbolos do diagrama, interagindo com o professor.
- Após a identificação de todos os componentes, o professor apresentará o funcionamento do protoboard, identificando suas conexões internas.
- A primeira etapa da montagem consistirá da fixação dos componentes no *protoboard*, onde alguns dos alunos, de forma voluntária e orientados pelo professor, irão fixar os componentes no *protoboard* de acordo com o diagrama.
- Após a fixação dos componentes o professor seguirá com a conexão elétrica entre os componentes, seguindo o fluxo do sinal. Cada novo estágio deverá ser conferido para garantir a conexão elétrica adequada.

RECURSOS UTILIZADOS

- Lousa e pincel;
- 01 amplificador operacional LM 358;
- 01 regulador de tensão LM 7805;
- 01 diodo emissor (Tx) infravermelho 5 [mm];
- 01 diodo receptor (Rx) infravermelho 5 [mm];
- 02 Baterias de 9 [V];
- 02 resistores 10 [kΩ], 1/8 [W];
- 01 resistor 100 [kΩ], 1/8 [W];
- 01 resistor 470 Ω, 1/8 [W];
- 01 resistor 120 Ω, 1/8 [W];
- 01 trimpot multivoltas 100 [kΩ];
- 03 capacitores cerâmicos 10 [nF];
- 01 borne duplo;
- 01 borne triplo;

- 02 bornes para pino banana;
- 02 suportes de conexão para bateria;
- 01 protoboard;
- *Jumpers* para *protoboard*;
- 01 Cabo coaxial;
- Cabos elétricos para conexões;
- 01 Multímetro.

REFERÊNCIAS

NICOLAU, G. F. TOLEDO, P. **Física Básica - Volume Único**. ed. Atual, 1998. ISBN: 85-7056-962-9.

AIUB, J. E. FILONI, E. **Eletrônica**. ed. Érika, 1997. ISBN: 8571941157.

BRAGA, N. C. **Curso Prático de Eletrônica**. Editora Saber Ltda. vol.2. 1993.

BOYLESTAD, R. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**. Pearson, 11^a ed.

ARDUINO, **Tutoriais de Uso**. (online) Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/HomePage>

PLANO DE AULA - Aula 06

DISCIPLINA: Física

TEMA(S): *Finalização da montagem e teste de funcionamento.*

DURAÇÃO: 1 hora-aula.

OBJETIVOS

Finalizar a montagem do circuito com a conexão da parte analógica com a parte digital. Efetuar testes de funcionamento. Estabelecer os parâmetros de interdisciplinaridade entre os conceitos físicos (ótica e eletricidade), tecnologia (eletrônica, programação e microcontroladores) e biologia (fisiologia, sistema cardíaco).

CONTEÚDOS

- Sistema digital.
- Síntese de conhecimentos e interdisciplinaridade.

METODOLOGIA

- Nessa etapa, os alunos de posse do circuito montado, conectará o dispositivo a uma fonte de alimentação, utilizando cabos polarizados padrão (preto – polo negativo e vermelho polo positivo).
- É sugerido que, antes de ligar uma fonte de tensão no circuito, seja feita uma verificação minuciosa das conexões dos componentes no geral, principalmente da alimentação no dispositivo, evitando qualquer incidente.
- Com o circuito alimentado, o professor certificará, juntamente com os alunos, o funcionamento do aparato, através da conexão do sensor com o Arduino.
- O professor explicará as conexões entre o sensor, o Arduino e o computador com suas relações de interdependências tecnológicas. Com todos os estágios do aparato em funcionamento, o professor fará uma exposição de todas as áreas envolvidas,
- Os aspectos da interdisciplinaridade serão reforçados pelo entendimento global do circuito, do funcionamento, e dos gráficos apresentados,

RECURSOS UTILIZADOS

- Lousa e pincel;
- Diagrama esquemático do circuito;
- Protótipo montado em circuito impresso;
- Protoboard e componentes eletrônicos;
- Arduino;
- Notebook;
- Multímetro.

REFERÊNCIAS

NICOLAU, G. F. TOLEDO, P. **Física Básica - Volume Único**. ed. Atual, 1998. ISBN: 85-7056-962-9.

AIUB, J. E. FILONI, E. **Eletrônica**. ed. Érika, 1997. ISBN: 8571941157.

BRAGA, N. C. **Curso Prático de Eletrônica**. Editora Saber Ltda. vol.2. 1993.

BOYLESTAD, R. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**. Pearson, 11^a ed.

ARDUINO, **Tutoriais de Uso**. (online) Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/HomePage>

CALIL, S. J. GOMIDE, E. T. **Equipamentos Médico-Hospitalares e o Gerenciamento da Manutenção - Capacitação a distância**. Ministério da Saúde, 2002. Brasília-DF. Secretaria de Gestão de Investimentos em Saúde. Projeto REFORSUS

HENEINE, I. F. **Biofísica Básica**. Atheneu, 2004. ed. 2.

PLANO DE AULA - Aula 07

DISCIPLINA: Física

TEMA(S): *Conclusão do trabalho, avaliação coletiva e síntese dos conceitos.*

DURAÇÃO: 1 hora-aula.

OBJETIVOS

Avaliar o interesse diante da proposta e o entendimento adquirido pelos alunos ao longo do trabalho.

CONTEÚDOS

- Funcionamento do dispositivo.
- Reavaliação do questionário
- Apresentação oral sobre o funcionamento e relato de impressões.

METODOLOGIA

- Os grupos, usando o conjunto do aparato montado, explicará de uma forma dinâmica e prática o princípio de funcionamento do sensor de pulsos, delineando sobre as principais áreas envolvidas e podendo usar se necessário, recursos disponíveis tais como lousa, desenhos, instrumento de medidas e o próprio dispositivo montado.
- Na apresentação de cada grupo, os demais, terão que participar de forma interativa, fazendo observações e comentários que possa acrescentar detalhes importantes. Será elaborada perguntas argutivas feitas pelo professor durante a apresentação, permitindo assim, que os alunos possam

manifestar dúvidas ainda remanescentes. Porém as dúvidas, serão direcionadas aos grupos ouvintes, dando oportunidades a outros alunos de explicá-las com o auxílio do professor.

- Analisar as questões do questionário aplicado na primeira aula, revendo os conceitos e o entendimento da turma.
- Promover um relato pessoal e coletivo sobre a proposta metodológica, extraindo informações e impressões sobre o desenvolvimento.

RECURSOS UTILIZADOS

- Lousa e pincel;
- Câmera de vídeo / celular.
- Material de apoio.

REFERÊNCIAS

NICOLAU, G. F. TOLEDO, P. **Física Básica - Volume Único**. ed. Atual, 1998. ISBN: 85-7056-962-9.

AIUB, J. E. FILONI, E. **Eletrônica**. ed. Érika, 1997. ISBN: 8571941157.

BRAGA, N. C. **Curso Prático de Eletrônica**. Editora Saber Ltda. vol.2. 1993.

4. ROTEIRO PARA MONTAGEM DO SENSOR DE PULSOS CARDÍACOS

Este capítulo descreve o funcionamento do sensor de pulsos e apresenta o roteiro para sua montagem.

4.1 Princípio de funcionamento do sensor de pulsos cardíacos

O aparato experimental do sensor de pulsos cardíacos é formado de duas partes: o hardware e o software. A parte de hardware é composta por: sensores responsáveis pela transdução do sinal biológico; por circuitos eletrônicos para o condicionamento do sinal eletrônico; e por um Arduino que digitaliza o sinal e o transmite para o computador. A parte de software recebe o sinal e propicia sua adequada apresentação aos usuários. A Figura 4.1 apresenta o diagrama simplificado de funcionamento.

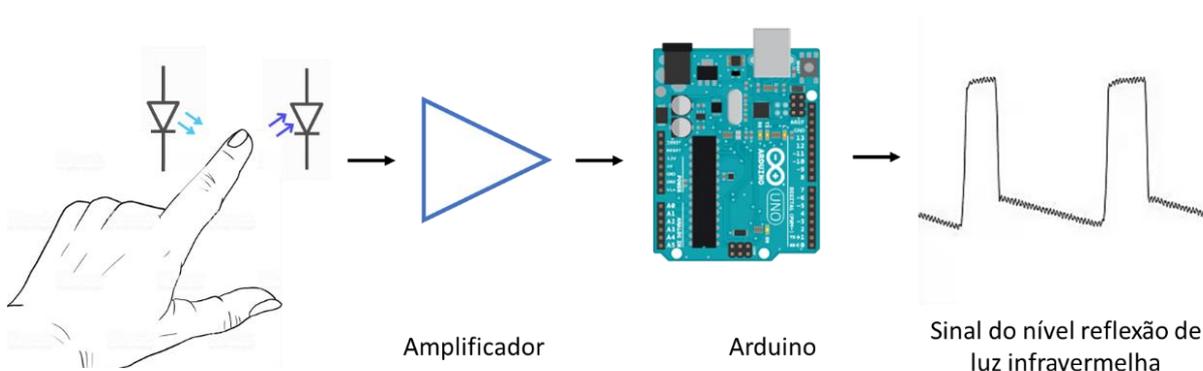


Figura 4.1 – Diagrama de funcionamento do sistema eletrônico computacional. Fonte: o próprio autor (2020)

O fluxo de sangue no corpo apresenta um valor médio com uma variação modulada pelos ciclos de batimentos cardíacos. Utilizando um LED emissor de infravermelho (Tx) e um fotodiodo, receptor de infravermelho (Rx), é possível captar a variação do fluxo de sangue. Como ilustrado na Figura 4.1 e apresentado na Figura 4.5, o dedo é colocado sobre o conjunto formado pelo Tx e Rx, que estão paralelos, juntos e apontando no mesmo sentido. Assim, as emissões em infravermelho de Tx são parcialmente refletidas pelo sangue e retornam para Rx. Quando esse fluxo aumenta o sinal luminoso é mais refletido e quando o fluxo diminui a intensidade

refletida é menor. O LED infravermelho é polarizado por uma tensão fixa e se torna uma fonte de luz infravermelha constante. O fotodiodo é um sensor que capta o nível de reflexão do sinal e o converte para um sinal elétrico proporcional.

O sinal elétrico resultante precisa ser tratado para poder passar pelo processo de digitalização do Arduino, antes de ser enviado para o computador. Essa etapa de processamento do sinal analógico é realizada pelo estágio condicionador e amplificador de sinais. O sinal deve chegar ao microcontrolador entre 0 [V] e 5 [V], para poder ser digitalizado. O microcontrolador envia o sinal para o computador em formato digital e este é reproduzido na tela, por meio de um gráfico.

O estágio amplificador é responsável por tornar o sinal obtido do transdutor ótico (Rx) em uma faixa de tensão compatível com a entrada do conversor analógico digital do Arduíno. O desenvolvimento do circuito analógico partiu de um diagrama esquemático disponível em um site de projetos de eletrônica, apresentado na Figura 4.2.

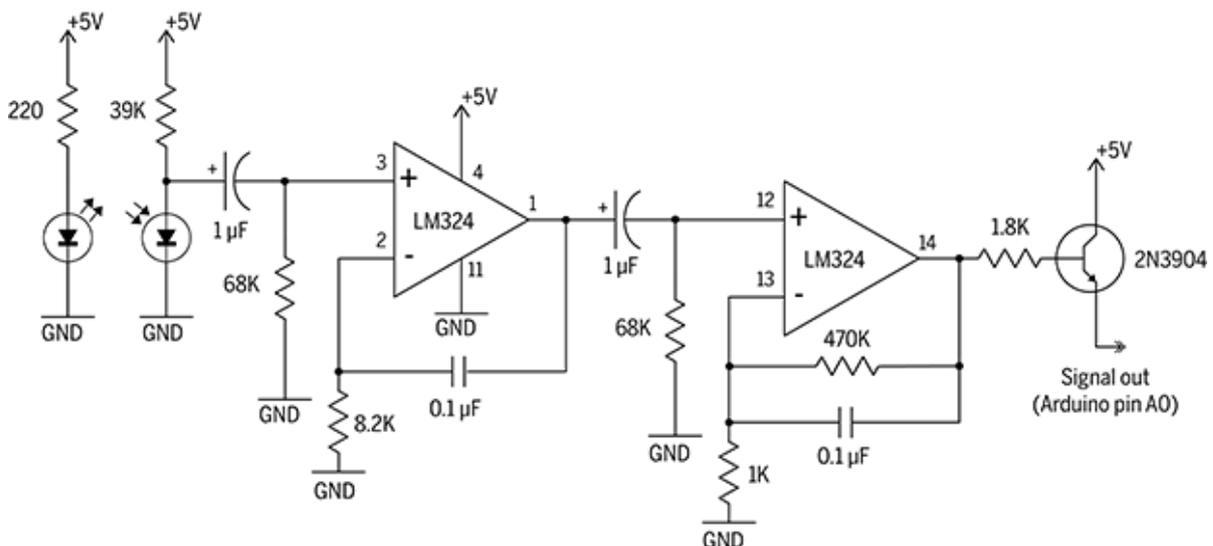


Figura 4.2 – Diagrama esquemático inicial do circuito sensor de pulsos cardíacos. Fonte: Circuito obtido em: <https://makezine.com/projects/ir-pulse-sensor/> (2019)

A partir desse circuito, foram realizadas algumas modificações e adaptações dos componentes utilizados, devido à dificuldade de encontrar os sensores originais ou compatíveis. O resultado de dois meses de desenvolvimento resultou no circuito apresentado na Figura 4.3. Este representa o diagrama esquemático do circuito final, com a indicação dos componentes utilizados e suas conexões elétricas.

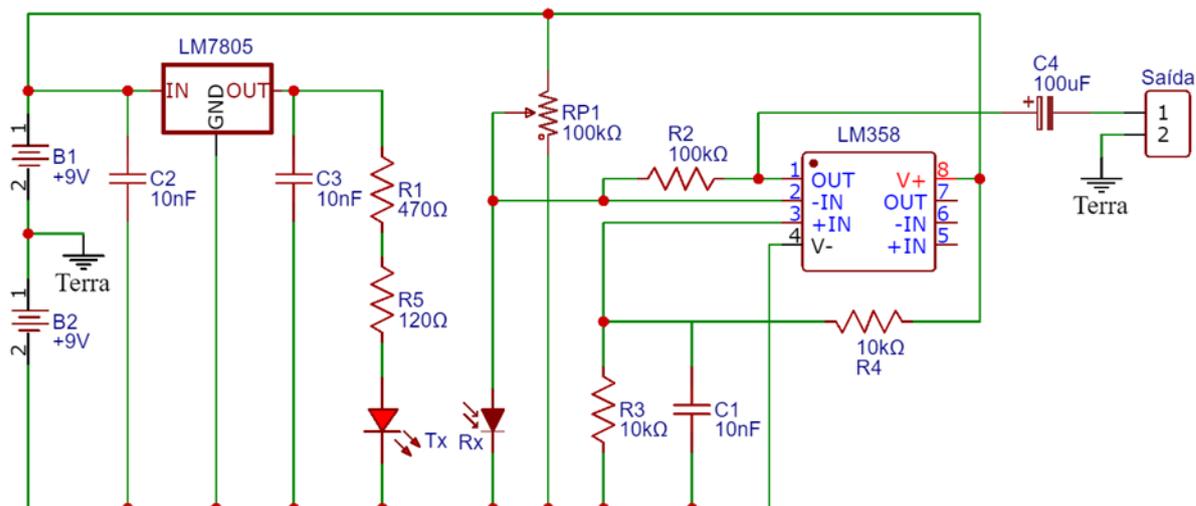


Figura 4.3 – Diagrama esquemático do circuito sensor de pulsos cardíacos. Fonte: o próprio autor (2020).

Para permitir a mobilidade, o circuito é alimentado por duas baterias, itens B1 e B2. O diodo emissor de luz infravermelha (Tx) é alimentado com uma tensão de 5 [V], fornecida pelo regulador de tensão LM7805. O fotodiodo (Rx) está ligado ao trimpot RP1, de valor 100 [kΩ]. Essa configuração opera como um divisor de tensão e permite regular a sensibilidade do fotodiodo. Em síntese, a corrente elétrica no componente do fotodiodo irá variar de acordo com a intensidade de luz refletida pelo sangue. Essa variação é detectada no pino 2 do amp-op LM358, onde será amplificada por ele. O sinal de saída é conectado ao Arduino para ser digitalizado.

A Figura 4.4 apresenta o protótipo montado em uma placa perfurada. Este protótipo é o resultado do desenvolvimento prévio do circuito e foi apresentado como exemplo e backup para as aulas práticas.

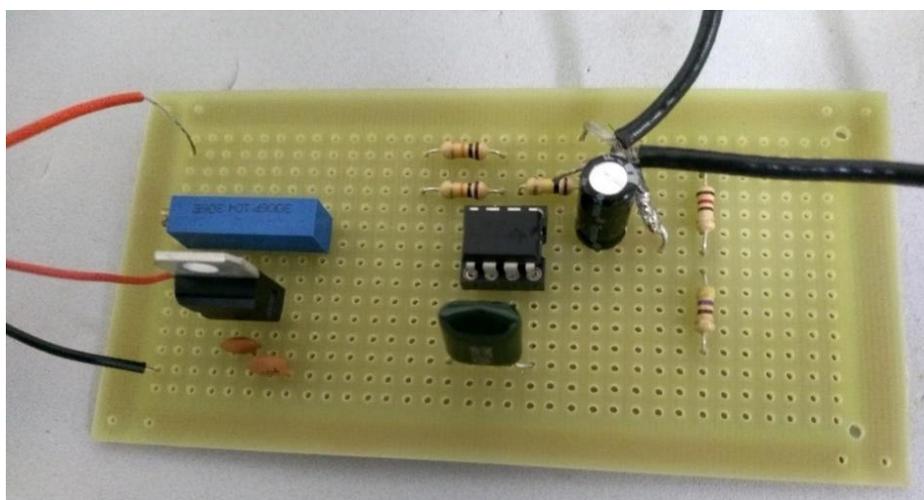


Figura 4.4 – Protótipo de componentes montado e soldado em uma placa de fenolite perfurada. Fonte: o próprio autor (2019)

A Figura 4.5 ilustra a medição da parte analógica do sinal, sendo exibido os pulsos cardíacos no osciloscópio.

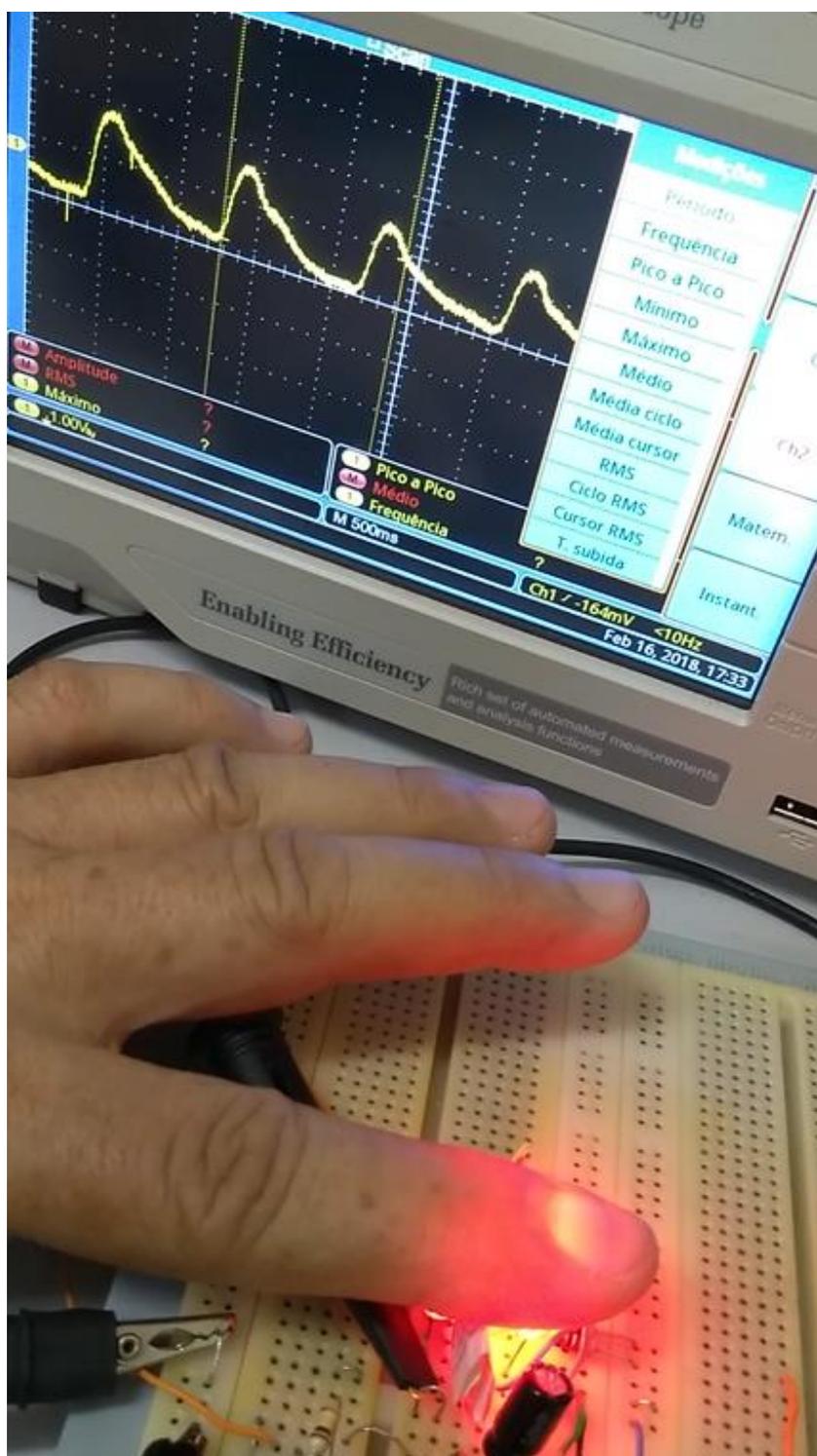


Figura 4.5 – Sinal analógico dos pulsos cardíacos, mostrado em um osciloscópio. Fonte: o próprio autor (2019)

A Figura 4.6 apresenta o diagrama de pinos do Arduino.

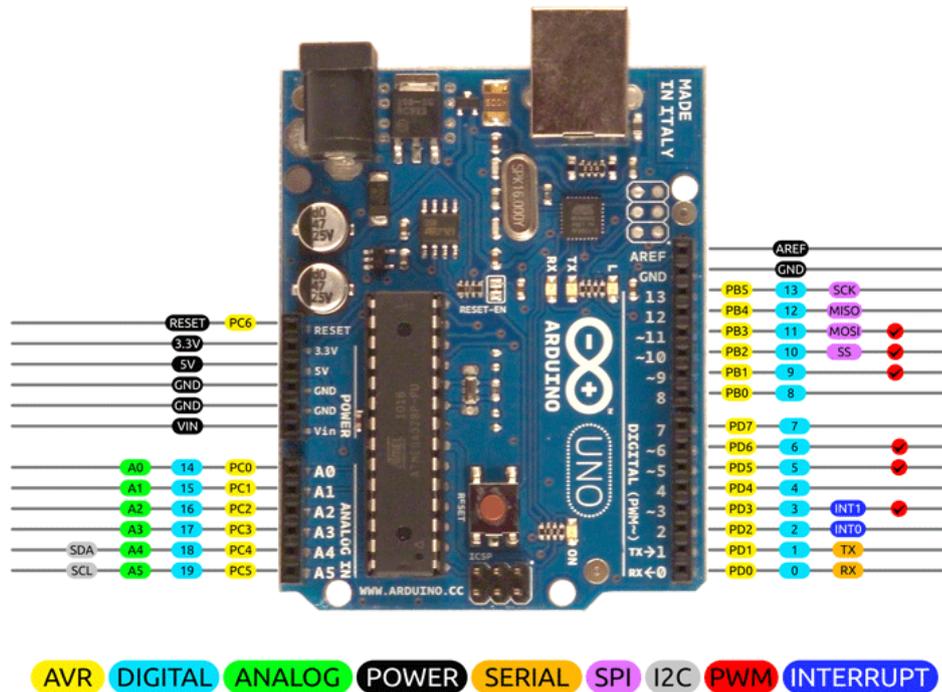


Figura 4.6 – Pinout do Arduino Uno R3. Fonte: www.arduino.cc

O Arduino será programado pelo código apresentado na Figura 4.7.

```

1 void setup() {
2   pinMode(A0, INPUT); // Pino A0 como entrada
3   Serial.begin(115200); // Velocidade da porta serial
4 }
5
6 void loop() {
7   // Faz a leitura do conversor ADC
8   int adc = analogRead(A0);
9   // Envia o dado ao computador
10  Serial.println(adc);
11
12  // espera 5 ms
13  delay(5);
14 }

```

Figura 4.7 – Código Arduino utilizado para a captura de dados. Fonte: o próprio autor (2020)

Por fim, a Figura 4.8 apresenta o resultado do sinal digitalizado e exibido no computador.

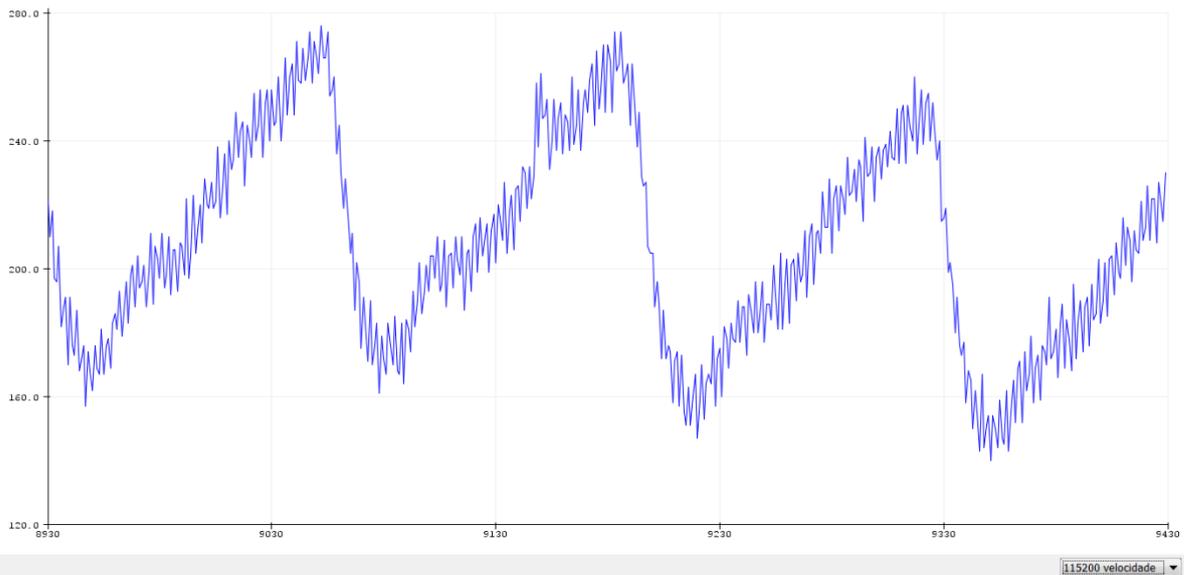


Figura 4.8 – Resultado do sinal digitalizado e apresentado como um gráfico no software. Fonte: o próprio autor (2020)

4.2 Lista de Materiais

A lista completa de componentes necessários à montagem do circuito, incluindo o custo estimado, é:

- 01 Arduíno Uno (R\$ 60,00);
- 01 amplificador operacional LM 358 (R\$ 3,20);
- 01 regulador de tensão LM 7805 (R\$ 2,00);
- 01 diodo emissor (Tx) infravermelho 5 [mm] (R\$ 1,89);
- 01 diodo receptor (Rx) infravermelho 5 [mm] (R\$ 1,34);
- 02 Baterias de 9 [V] (R\$ 9,00 cada);
- 02 resistores 10 [kΩ], 1/8 [W] (R\$ 0,10 cada);
- 01 resistor 100 [kΩ], 1/8 [W] (R\$ 0,10);
- 01 resistor 470 Ω, 1/8 [W] (R\$ 0,10);
- 01 resistor 120 Ω, 1/8 [W] (R\$ 0,10);
- 01 trimpot multivoltas 100 [kΩ] (R\$ 6,38);
- 03 capacitores cerâmicos 10 [nF], isolação 50 [V] (R\$ 0,57 cada);
- 01 capacitor de 100 [μF], isolação 25 [V] (R\$ 0,90);
- 01 borne duplo (R\$ 2,14);

- 01 borne triplo (R\$ 3,00);
- 02 bornes para pino banana (R\$ 4,00);
- 02 suportes de conexão para bateria (R\$ 0,50);
- 01 protoboard (R\$ 25,00);
- *Jumpers* para *protoboard* (R\$ 1,00 a unidade);
- 01 Cabo coaxial (R\$ 2,50);
- Cabos elétricos para conexões (R\$ 5,00).

Para as aulas práticas, também foram necessários o uso de multímetro, computador, fonte de tensão regulável (ou baterias) e Arduíno.

4.3 Procedimento Experimental

De posse do *protoboard* e do diagrama esquemático do circuito, Figura 4.3, o primeiro passo consiste em identificar e separar cada um dos componentes do circuito.

Para a montagem do circuito, sugere-se a seguinte sequência:

1. Ligar os conectores de baterias entre si, para configurá-las em série, e os terminais das mesmas aos bornes do *protoboard*;
2. Conectar os bornes de alimentação às trilhas de distribuição de tensão (positivo e negativo) do *protoboard*;
3. Montar o regulador de tensão LM7805 próximo aos bornes de alimentação do *protoboard* e conectar os capacitores C2 e C3 com o regulador;
4. Ligar o diodo transmissor Tx à saída do regulador LM7805, por meio das resistências R1 e R5;
5. Ligar o diodo receptor Rx à fonte, próximo do Tx, através do trimpot RP1;
6. Fixar o amplificador operacional LM358 próximo ao Rx, mas com espaço suficiente para acomodar os componentes restantes;
7. Conectar os outros componentes: R2, R3, R4, C1 e C4 ao LM358;
8. Adicionar jumpers para o borne de saída do sinal analógico;
9. Conectar as baterias e verificar o funcionamento do circuito.

O sinal da saída do circuito amplificador deve ser ligado ao Arduino. Para tal, o circuito analógico será conectado ao Arduino por meio de um cabo coaxial interligando a saída do circuito analógico com a entrada do conversor analógico/digital A0 (ver Figura 4.6) e um jumper que interconecta o terra do circuito analógico com o terra do Arduino, um dos pinos GND. O Arduino deve estar conectado ao computador e programado com o código apresentado na Figura 4.7. No computador, é aberta a interface do monitor do sistema, no software de programação do Arduino (encontrado em www.arduino.cc). Ao se posicionar o dedo no sensor ótico, o sinal obtido deve ser semelhante ao apresentado na Figura 4.8.

5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

5.1 A eletricidade

A eletricidade está presente em nosso cotidiano, no funcionamento dos eletrodomésticos, nos aparelhos de entretenimentos, nos equipamentos médicos-hospitalares usados nos diagnósticos e tratamento de doenças e em muitas outras aplicações. Os conceitos de eletricidade, quando abordados através da análise e compreensão de circuitos eletroeletrônicos, proporcionam uma alternativa prática e didática de aquisição destes conhecimentos. A eletrodinâmica trata das cargas elétricas em movimento e está obrigatoriamente presente no funcionamento de todos os dispositivos eletroeletrônicos.

A Figura 5.1 apresenta uma lista com símbolos que serão utilizados na leitura de diagramas dos circuitos utilizados.

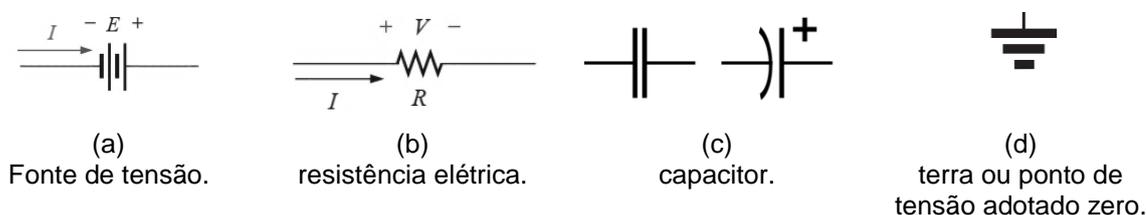


Figura 5.1 - Lista de símbolos utilizados na representação esquemática de circuitos elétricos. Fonte: o próprio autor (2020)

Em geral, foi adotado o Sistema Internacional (SI) de unidades para o desenvolvimento das atividades propostas. A Tabela 5.1 apresenta um resumo das unidades de medida e seus submúltiplos.

Tabela 5.1 – Submúltiplos de unidade de medida, em potência de dez.

Tensão (Volts)	Corrente (Ampere)	Potência (Watts)	Resistência (Ohm)	Capacitância (Farad)	Multiplicador
-	-	-	-	pF	10^{-12}
-	-	-	-	nF	10^{-9}
μV	μA	μW	-	μF	10^{-6}
mV	mA	mW	-	-	10^{-3}
V	A	W	Ω	-	1
kV	kA	kW	$k\Omega$	-	10^3
MV	MA	MW	$M\Omega$	-	10^6

5.1.1 Gerador de Corrente Contínua

Inicialmente, vamos falar sobre as fontes de alimentação, que são geradores de tensão, cuja função fundamental é fornecer energia para o funcionamento dos aparelhos elétricos. Destacamos que existem geradores de corrente alternada (CA) e geradores de corrente contínua (CC). A tensão elétrica fornecida nas residências é no modo CA. A energia fornecida por baterias e pilhas é no modo CC. Neste trabalho serão tratados apenas os geradores CC. A Figura 5.1(a) apresenta o símbolo que o representa em um diagrama esquemático.

Um gerador CC real é modelado pela equação matemática:

$$V = E - R_{int} \times I, \quad (5.1)$$

denominada equação característica do gerador, onde $V [V]$ é a tensão medida nos terminais da fonte, $E [V]$ é a tensão ideal da fonte, $R_{int} [\Omega]$ é o valor da resistência interna da fonte e $I [A]$ é a corrente drenada da fonte. Essa relação está esquematizada na Figura 5.2.

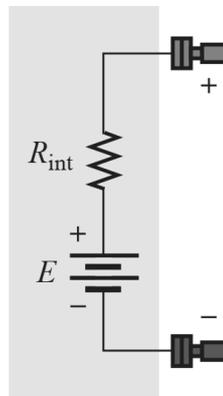


Figura 5.2 – Fonte de tensão com resistência interna. Fonte: Boylestad (2012, p. 135)

A corrente elétrica pode ser representada de duas formas: ou pelo fluxo de cargas positivas (sentido convencional) ou pelo fluxo de cargas negativas (sentido real). No sentido convencional o movimento das cargas é do polo positivo (maior potencial), da fonte, para o polo negativo (menor potencial). No sentido real as cargas se movimentam no sentido inverso, do polo negativo da fonte para o polo positivo. Nesse trabalho será adotado o sentido convencional de corrente para as explicações (cargas positivas). Essas relações podem ser visualizadas na Figura 5.3.

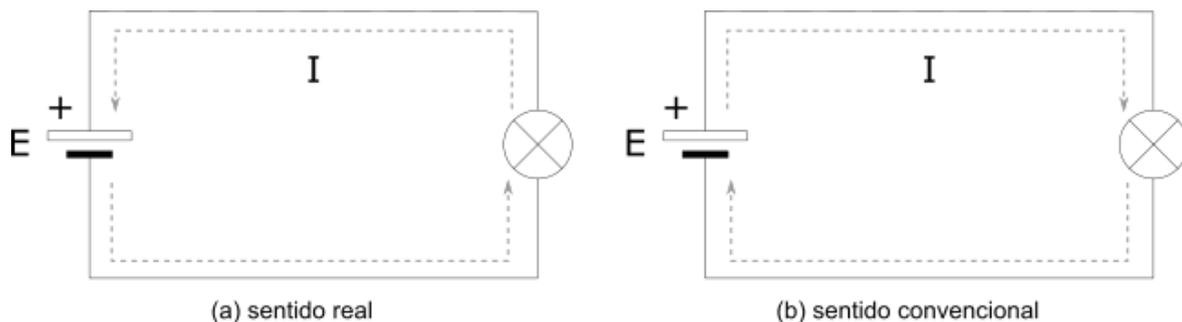


Figura 5.3 – Sentidos de representação da corrente elétrica. Fonte: o próprio autor (2020)

Um gerador CC mantém em seus terminais uma ddp (diferença de potencial), ou tensão elétrica, que ao ser conectada a um circuito externo, faz as cargas elétricas se deslocarem do terminal de maior potencial para o terminal de menor potencial (sentido convencional). Essas cargas elétricas possuem energia elétrica que são transformadas em outros tipos de energia ao longo do circuito, como exemplo, temos a energia térmica nos resistores. A função do gerador é manter essa energia constante, e pode ocorrer de várias formas. Uma delas é a transformação de energia química em energia elétrica, como nas pilhas e baterias. Outros tipos de geradores também são frequentemente usados e pertencem a outras categorias, como: as hidrelétricas, os dínamos (geradores mecânicos), termelétricos (gerador térmico) e as usinas nucleares (reatores nucleares).

A energia é a capacidade de realizar trabalho, e a razão entre o trabalho e a carga descolada por essa fonte determina a força eletromotriz (fem) da fonte, expressada por:

$$E = \frac{\tau}{q} \tag{5.2}$$

A unidade de força eletromotriz no SI é a mesma que a ddp ou tensão, isto é, Volt ou Joule por Coulomb $[V] \equiv \left[\frac{J}{C}\right]$.

O gerador, ou a associação deles, fornece energia para o circuito que está conectada a ele. O princípio de conservação da energia diz que: a energia fornecida deve ser igual a soma das energias dissipadas no circuito. De outra forma, isso se traduz por: a soma de tensões ao longo de qualquer caminho fechado no circuito é igual a zero. Esse princípio representa a Lei de Kirchoff para as tensões.

Para a Equação (5.1), ou equação característica do gerador, podemos desenvolver uma análise gráfica do comportamento de tensão pela corrente ($V \times I$). O gráfico é uma equação do primeiro grau e é determinado por dois pontos: a tensão

de circuito aberto e a corrente de curto-circuito. Para a tensão de circuito aberto, temos que $I = 0$, logo $V = E$. Para a corrente de curto-circuito, temos $V = 0$, logo $I_{CC} = \frac{E}{R_{int}}$. Assim, obtêm-se a curva do gerador apresentada na Figura 5.4.

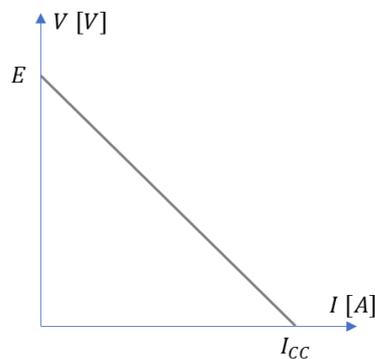


Figura 5.4 – Curva do gerador real. Fonte: o próprio autor (2020)

5.1.2 Associação de Geradores

- Associação em série

Os geradores pode ser associados em série ou em paralelo. Na associação em série, os geradores são ligados de tal forma que o polo positivo de um gerador está ligado no polo negativo do gerador seguinte, fazendo com que a corrente seja a mesma em todos os geradores que participam da associação. A tensão será a soma das tensões de cada gerador. O objetivo dessa associação é de conseguir uma tensão maior, quando não se dispõem de um único gerador com voltagem necessária, ilustrado na Figura 5.5.

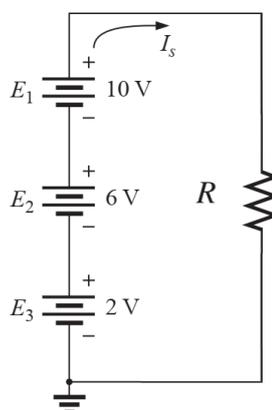


Figura 5.5 – Associação de geradores em série. Fonte: Boylestad (2012, p. 121)

- Associação em paralelo

A associação em paralelo de geradores é conseguida conectando dois ou mais geradores de forma que os polos negativos dos mesmos estejam ligados entre si e os polos positivos, também, entre si. Esta associação tem como característica a obtenção de uma maior corrente, que representa a soma da capacidade de corrente de cada gerador, individualmente. A tensão resultante da associação permanece a mesma de cada gerador, que devem ser iguais entre si, veja um exemplo na Figura 5.6.

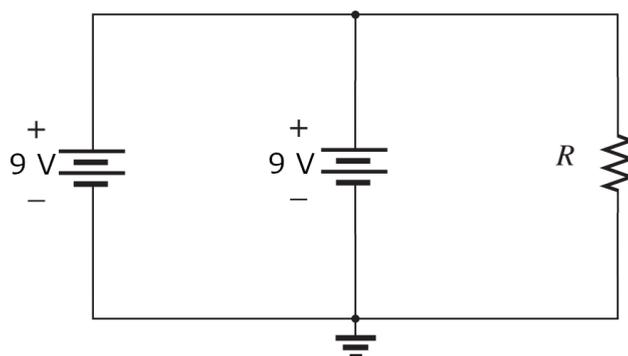


Figura 5.6 – Associação de geradores em paralelo. Fonte: o próprio autor (2019)

5.1.3 Corrente elétrica

A corrente elétrica é decorrente da movimentação das cargas elétricas de forma ordenada, sob a influência de um campo elétrico. Duas condições são necessárias para ocorrer um estabelecimento de corrente elétrica: primeiro, esse meio (circuito elétrico) tem que se caracterizar como condutor; e segundo, tem que haver uma fem, proveniente de um campo elétrico, que obrigue as cargas a se movimentarem de forma ordenada.

A corrente é determinada pela equação:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}, \quad (5.3)$$

em que, para o caso apresentado na Figura 5.7, uma quantidade de cargas elétrica ΔQ [C], atravessa uma seção transversal A [m²], em um intervalo de tempo Δt [s].

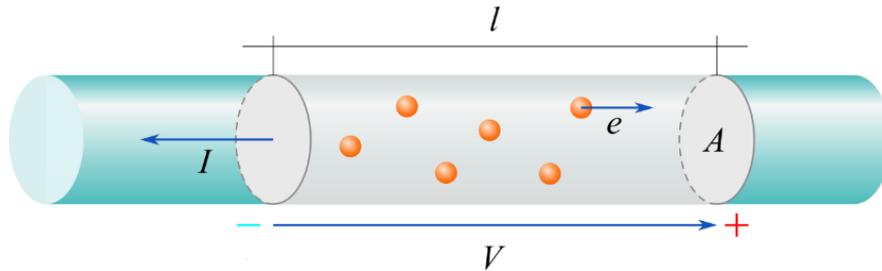


Figura 5.7 – Movimentação de cargas em um condutor uniforme, submetido à uma diferença de potencial. Fonte: o próprio autor (2020)

A medição da corrente elétrica em circuitos é realizada por um amperímetro, que é conectado em série com o ramo do circuito a que se deseja efetuar obter o seu valor. A Figura 5.8 ilustra essa montagem.

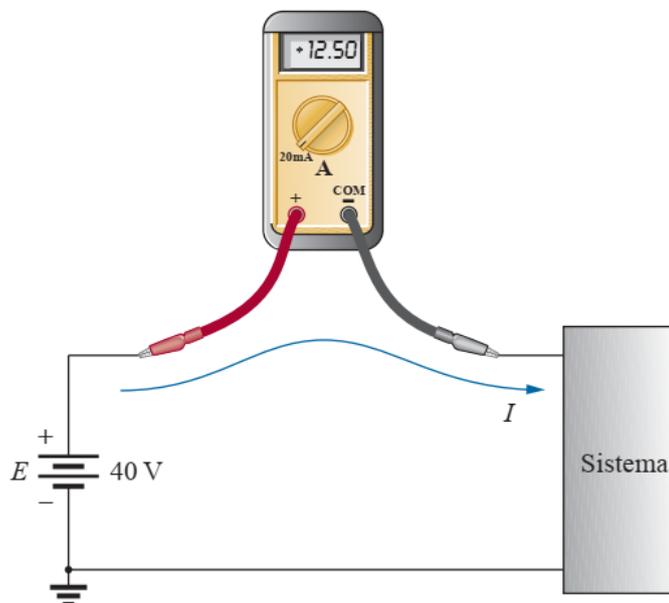


Figura 5.8 – Conexão em série de um amperímetro para a medição de corrente elétrica. Fonte: Boylestad (2012, p. 42)

5.1.4 Condutores e Isolantes

- Condutores

Os condutores elétricos se caracterizam por facilitar o fluxo de cargas elétricas através deles. Eles possuem características próprias, onde suas formações atômicas apresentam elétrons livres nas suas últimas camadas, permitindo uma maior mobilidade dos mesmos entre os átomos do material. Os metais, em geral, estão designados como bons condutores elétricos. Estes são utilizados para a construção de cabos e fios e são utilizados na interconexão entre os componentes de um circuito eletroeletrônico. Como exemplo, temos o cobre, o alumínio, a prata, o ouro e algumas

ligas metálicas.

- Isolantes

Quando um material oferece grande resistência a passagem da corrente elétrica, esse material é denominado isolante elétrico. Nesse caso, os átomos dos materiais isolantes não possuem elétrons livres, que são os responsáveis pelo fluxo de cargas elétricas. Estes são utilizados para isolar eletricamente as partes de um circuito. A borracha, o plástico, a cerâmica, o poliéster, a mica, o vidro e muitos outros materiais possuem esse comportamento e, por isso, são usados caracterizados como isolantes.

5.1.5 Resistência Elétrica

Todo material oferece algum grau de resistência à passagem de corrente elétrica, dos bons condutores até aos isolantes. Ao ser percorrida por uma corrente elétrica, a resistência elétrica converte parte da energia elétrica em energia térmica (calor). Essa energia térmica (efeito Joule) é devido ao choque mecânico dos elétrons com os átomos do material e pode ser aproveitada para algumas aplicações, como fontes de aquecimento em fornos elétricos, chuveiros, aquecedores de água, secadores de cabelo etc. O resistor é representado graficamente pelo símbolo da Figura 5.1(b).

As resistências elétricas são medidas pelo instrumento denominado Ohmímetro. Ele deve ser ligado em paralelo ao elemento resistivo, tomando-se o cuidado de certificar-se de que o resistor não está ligado a um circuito elétrico (energizado), que poderá danificar o instrumento e interferir na leitura, veja sua representação na Figura 5.9.

A unidade de medida de resistência elétrica é o Ohm [Ω] em homenagem ao físico George Ohm (1787 - 1854), que estudou e verificou em um dispositivo de resistência fixa, a relação da tensão pela corrente resulta em uma constante, denominada resistência elétrica. Esse estudo ficou conhecido como 1ª Lei de Ohm, representado pela seguinte relação:

$$R = \frac{V}{I}. \quad (5.4)$$

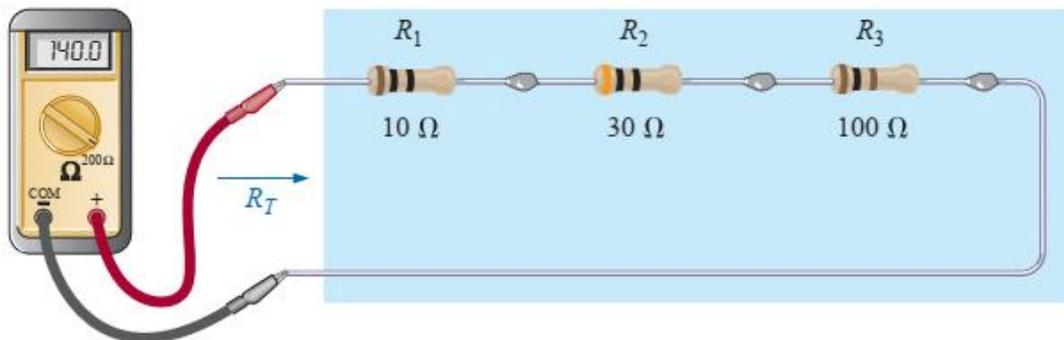


Figura 5.9 – Uso de um ohmímetro para medir a resistência equivalente de um circuito série. Fonte: Boylestad (2012, p. 116).

De outro modo, ela pode ser escrita como:

$$V = R \times I. \quad (5.5)$$

A segunda lei de Ohm permite determinar o valor da resistência para um condutor uniforme, tal como o apresentado na Figura 5.7, pela seguinte relação:

$$R = \rho \frac{l}{A}. \quad (5.6)$$

A uma temperatura constante, foi verificado que a resistência R de um condutor, tal como apresentado na Figura 5.7, é diretamente proporcional ao seu comprimento e inversamente proporcional à área da seção, representado pela Equação (5.6), sendo ρ definido pelo tipo de material que constitui a resistência.

5.1.6 Associação de Resistores

- Associação de resistores em série

Quando ligados em série, os resistores são percorridos pela mesma corrente elétrica. Na ligação em série, todos os elementos ligados estão conectados no mesmo ramo do circuito, de modo que o terminal de um dos resistores está diretamente ligado ao terminal do próximo resistor. A Figura 5.10 mostra como é feita uma ligação em série e como essa ligação é representada.

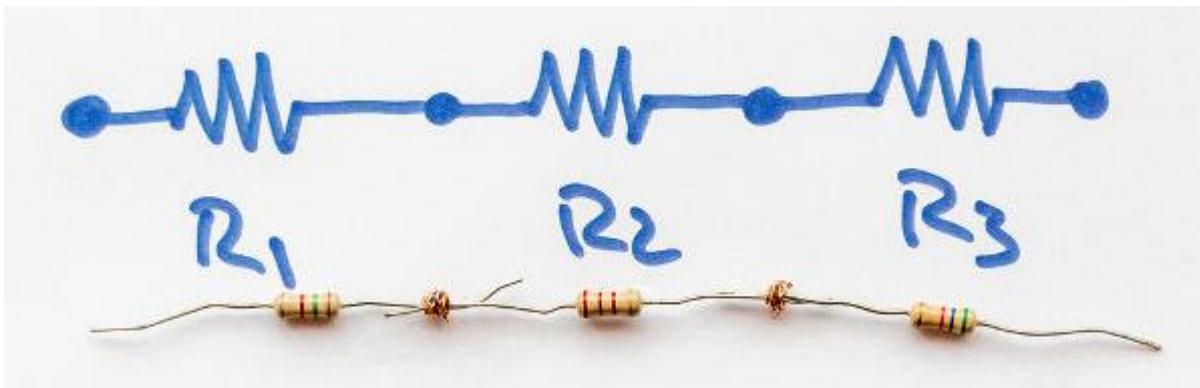


Figura 5.10 – Associação de resistores em série. Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/associacao-resistores.htm>

Quando os resistores são ligados em série, o potencial que é aplicado sobre os terminais do circuito é distribuído entre as resistências, em outra palavra, toda a tensão aplicada cai gradativamente no sentido do maior potencial para o menor ao longo de um circuito. Nesse tipo de ligação, as resistências elétricas individuais somam-se, de modo que a resistência equivalente do circuito é dada pela soma das resistências individuais ligadas em série. Veja um resumo na Figura 5.11, onde:

- Na ligação em série, as resistências somam-se;
- Na ligação em série, os potenciais elétricos somam-se;
- Na ligação em série, a corrente elétrica é igual para todos os resistores.

E resistência equivalente de um circuito série é:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots + R_n. \quad (5.7)$$

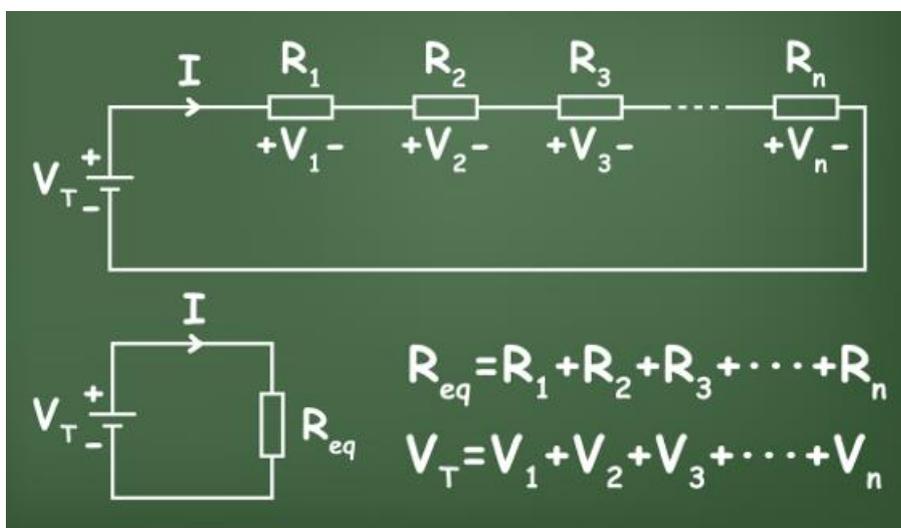


Figura 5.11 – Ilustração da associação de resistores em série. Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/associacao-resistores.htm>

- Associação em paralelo

Na associação em paralelo, os resistores encontram-se sob à mesma ddp, no entanto, a corrente elétrica que atravessa cada resistor pode ser diferente, caso os resistores tenham resistências elétricas diferentes. Veja Figura 5.12.

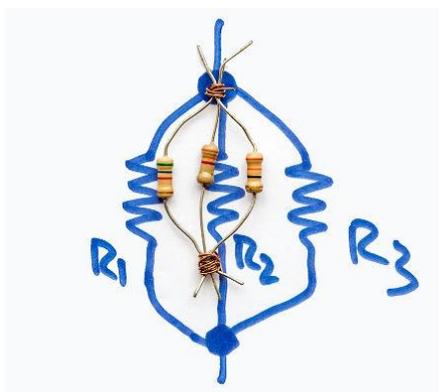


Figura 5.12 – Associação de resistores em paralelo. Fonte: <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/associacao-resistores.htm>

Na associação em paralelo, a corrente elétrica é dividida entre os diferentes ramos do circuito. A associação em paralelo é obtida quando os resistores são ligados de modo que a corrente elétrica, divide-se ao passar por eles. Nesse tipo de associação, a resistência elétrica equivalente será sempre menor do que o menor valor entre as resistências.

Para a associação de resistências em paralelo, temos que o inverso da resistência equivalente é igual a soma do inverso das resistências individuais, conforme:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}. \quad (5.8)$$

Uma ilustração dessa relação está apresentada na Figura 5.13.

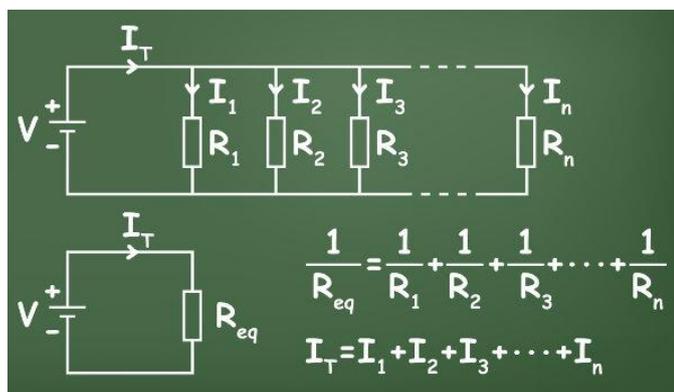


Figura 5.13 - Ilustração da associação de resistores em paralelo. Fonte: <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/associacao-resistores.htm>

Resumindo:

- Na ligação em paralelo, a corrente elétrica divide-se de acordo com a resistência elétrica de cada ramo;
- Na ligação em paralelo, a resistência equivalente é menor que a menor das resistências;
- Na ligação em paralelo, todos os resistores encontram-se ligados sob o mesmo potencial elétrico.

Dois casos especiais que geram fórmulas particulares, derivadas da Equação (5.7), são quando temos:

- N resistores em paralelo de mesmo valor: nesse caso a resistência equivalente é dada por $R_{eq} = \frac{R}{N}$;
- Dois resistores de valores diferentes: aqui a resistência equivalente resulta de $R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$.

5.1.7 Efeito Joule

Como foi mencionado, se nos terminais de um determinado resistor for aplicado uma tensão elétrica, uma corrente elétrica o percorrerá e, em consequência, o resistor irá aquecer devido a transformação da energia elétrica em energia térmica; esse fenômeno é denominado efeito Joule. Joule também representa a unidade de energia e é expressa por J .

O trabalho $T [J]$ de um campo elétrico que movimenta uma quantidade de cargas $\Delta Q [C]$, sob uma ddp $V_{AB} [V]$, é determinado pela seguinte equação:

$$T = \Delta Q \cdot V_{AB}. \quad (5.9)$$

Ao dividirmos ambos os lados pelo intervalo de tempo em que o processo ocorreu, temos $P = \frac{T}{\Delta t} [W]$, representando a potência dispendida pela fonte, e $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} [A]$ como a corrente total, que resulta em:

$$P = I \cdot V_{AB}. \quad (5.10)$$

5.1.8 Capacitores

Os capacitores são elementos de um circuito elétrico que possuem um comportamento que o define como armazenador de cargas elétricas. A forma mais simples de compreender seu funcionamento é admitir que eles são formados por duas placas metálicas paralelas, onde entre essas placas existe um espaço vazio (ar), ver Figura 5.13, ou que pode ser preenchido por um material isolante qualquer (dielétricos) como papel, cerâmica, mica poliéster, óleo etc. Por via experimental, comprovou-se que quanto maior for a área das placas e menor distância entre elas, maior será a capacitância, ou seja a capacitância é diretamente proporcional a área das placas e inversamente proporcional a distância entre elas. Assim demonstrado pela equação:

$$C = \varepsilon \frac{A}{d}. \quad (5.11)$$

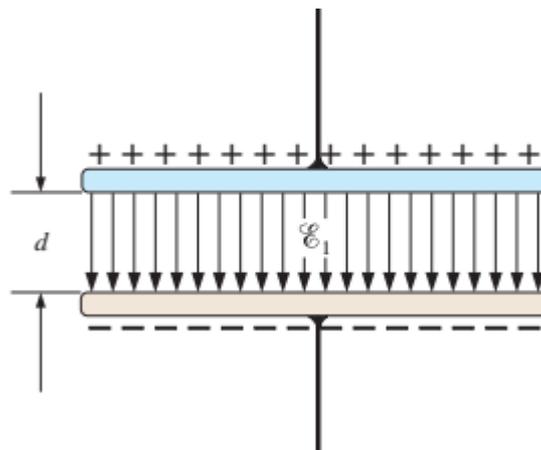


Figura 5.14 – Capacitor carregado de placas paralelas, separado por uma distância d . Fonte: Boylestad (2012, p.338)

Nessas placas, também chamadas de armaduras, existe fixado em cada uma, um terminal condutor que serve para conectar o capacitor ao meio externo. Se aplicarmos através destes terminais uma ddp de uma fonte CC, ver Figura 5.14, uma delas será carregada com cargas negativas e a outra com cargas positivas, ambas com a mesma quantidade de carga, assim estabelecendo entre elas um campo elétrico.

A capacitância, já apresentada na Equação (5.11), também pode ser estabelecida pela relação da quantidade de cargas que o capacitor pode acumular sob uma ddp aplicada. Essa nova relação é dada por:

$$C = \frac{q}{v}, \quad (5.12)$$

onde a capacitância no SI é dada em Farad $[F] \equiv \left[\frac{C}{V}\right]$.

Um capacitor é representado pelos símbolos dispostos da Figura 5.1(c).

- Associação de Capacitores em Série

A conexão em série de capacitores resulta em um valor equivalente semelhante à associação de resistores em paralelo:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}. \quad (5.13)$$

Uma representação pode ser vista na Figura 5.15.

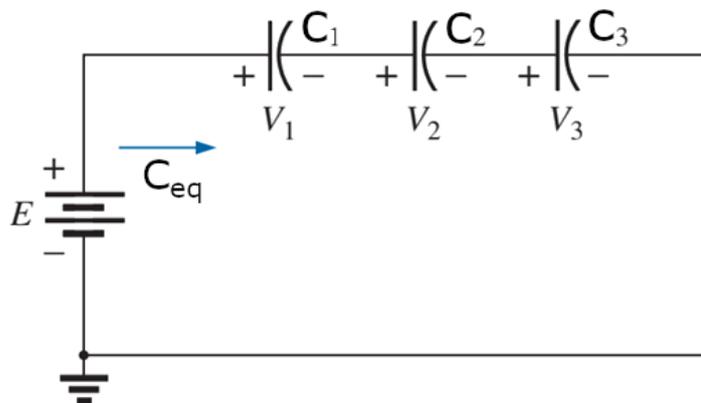


Figura 5.15 – Exemplo de associação de capacitores em série. Fonte: Boylestad (2012, p. 365)

- Associação de Capacitores em Paralelo

Nesse tipo de associação de capacitores, todos estão submetidos a mesma tensão. A Figura 5.16 exemplifica essa forma de associação.

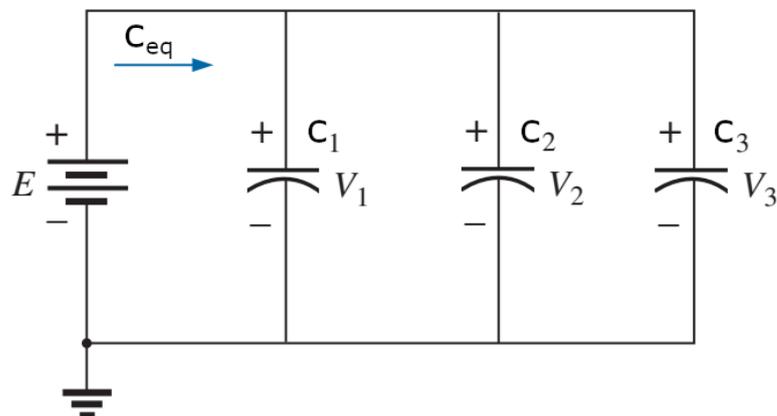


Figura 5.16 – Associação de capacitores em paralelo. Fonte: Boylestad (2012, p. 366)

Para esse caso, a equação que calcula o valor da capacitância equivalente é semelhante à associação de resistores em série e é dada por:

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + \dots + C_n. \quad (5.14)$$

5.2 Dispositivos Semicondutores

Os semicondutores é um tipo de material que se encontram entre os materiais bons condutores (metais em geral) e os isolantes (borracha, plástico, vidro etc). Eles, tem um comportamento térmico diferentes dos metais que quando é aumentada a sua temperatura, sua resistência elétrica diminui, contrariando assim a questão do coeficiente de temperatura. Os elementos semicondutores mais conhecidos na natureza são o silício e o germânio, que por sinal são muitos utilizados na fabricação de componentes eletrônicos, exemplificados na Figura 5.17.

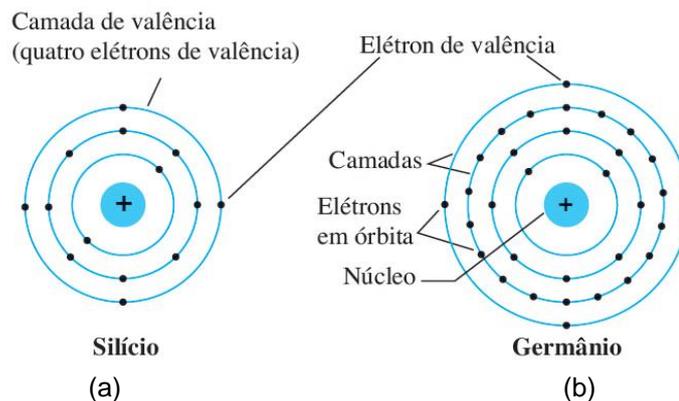
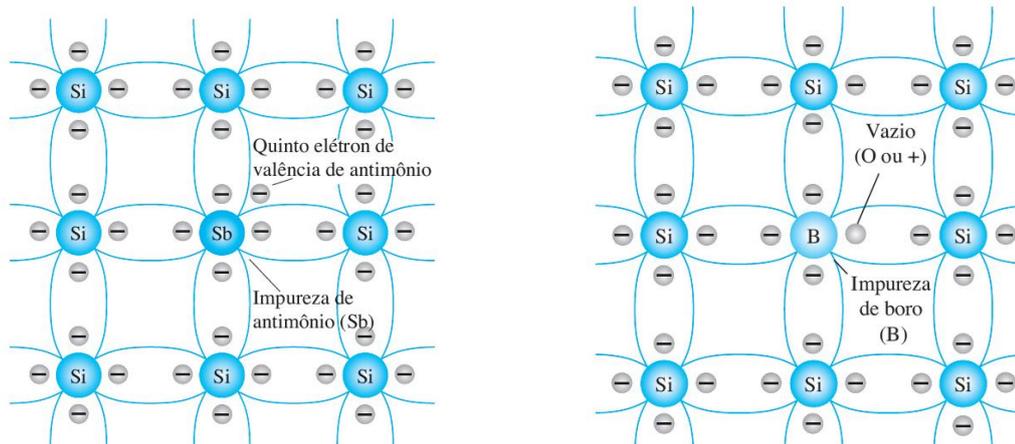


Figura 5.17 - Modelo atômico dos átomos de: (a) silício e (b) germânio. Fonte: Boylestad (2013, p. 3)

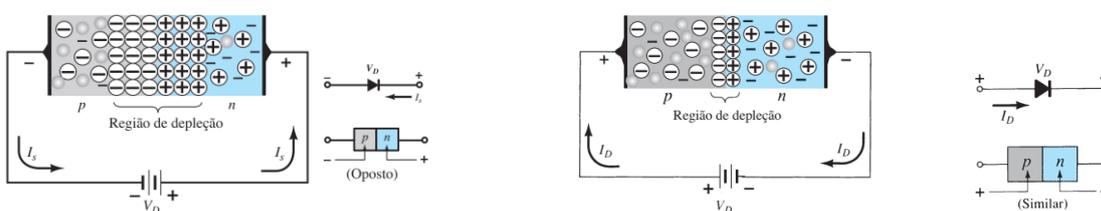
Verificou-se que adicionando a um material semiconductor uma outra substância devidamente selecionada, que denominaram de impureza, o material semiconductor modifica seu comportamento elétrico. Conforme o tipo de substância adicionada no semiconductor, ele se comporta também de maneira diferente. A exemplo temos a adição da substância Antimônio (Sb) em a uma amostra de silício, obtendo um condutor elétrico que se comporta como um metal, isto é, a condução elétrica nessa mistura é feita pelos elétrons livres, veja Figura 5.18(a). O semiconductor dessa forma obtido é denominado de material tipo-*n*, ou seja, feita por portadores de carga negativa, excesso de elétrons. Se depositarmos uma amostra de outro tipo de substância, como o Boro (B), ao mesmo material silício, obtemos um material tipo-*p*, que apresenta um comportamento diferente, em que os portadores de cargas são como cargas positivas, falta de elétrons, Figura 5.18(b).



(a) pentavalentes. Fonte: Boylestad (2013, p. 7) (b) trivalentes. Fonte: Boylestad (2013, p. 10)
Figura 5.18 – Estrutura atômica após a dopagem com impurezas.

Para exemplificar o funcionamento do diodo, ao ligarmos uma bateria em um cristal np, de modo que o polo positivo dessa bateria esteja em contato com o lado n do cristal e o polo negativo da bateria com o lado positivo p do cristal (polarização inversa), ver Figura 5.19(a), observa-se um acúmulo de cargas negativas do lado p e um acúmulo de cargas positivas do lado n do cristal. Esse processo aumenta a região de depleção e dificulta a passagem de corrente através da junção. Nesse estado o diodo entra em corte, ou seja, impede (idealmente) a passagem de corrente elétrica.

Invertendo-se a polaridade da bateria, ligando o polo positivo da bateria no lado p do cristal e o polo negativo no lado n do cristal (polarização direta), mostrado na Figura 5.19(b), observa-se uma diminuição considerável da região de depleção, facilitando a passagem de corrente elétrica. Esse processo permite (idealmente) a passagem de corrente pelo diodo.



(a) diodo polarizado inversamente. (b) diodo polarizado reversamente.
Figura 5.19 – Características de um diodo. Boylestad (2013, p. 11)

5.3 Sistema Circulatório

O coração é um órgão do sistema cardiovascular, do tamanho aproximado de um punho, com massa de aproximadamente 300 [g], e, por meio de duas bombas, impulsiona o sangue para o corpo (BORON e BOULPAEP, 2015, p. 429). Está

localizado entre os pulmões, no meio do peito, com leve deslocamento para a esquerda. Ele tem a função de bombear o sangue através dos vasos sanguíneos para todo o corpo. Funciona como uma dupla bomba. O lado esquerdo dele bombeia o sangue arterial para todo o corpo e o lado direito bombeia o sangue venoso para os pulmões.

O coração tem quatro cavidades internas, denominadas câmaras cardíacas. As câmaras superiores são os átrios e as inferiores são os ventrículos. Cada par átrio-ventrículo formam uma bomba. O átrio direito se comunica com o ventrículo direito através da válvula tricúspide. Já o átrio esquerdo se comunica com o ventrículo esquerdo através da válvula bicúspide ou mitral. O fluxo da circulação dentro das cavidades se dá sempre em um único sentido, que é dos átrios para os ventrículos e isso é garantido pelas válvulas atrioventriculares.

A contração de uma câmara do coração é denominada de sístole e a descontração diástole. A frequência dos batimentos cardíacos, variam conforme o esforço físico e situações emocionais e em média em condições normais está em torno de 70 batimentos por minuto (bpm). Durante o sono, por exemplo, os batimentos cardíacos podem estar entre 35 a 50 bpm e conforme o esforço físico de maior intensidade pode chegar a mais de 180 bpm (CALIL, 2002).

- Anatomia do coração

O suprimento sanguíneo para as diversas partes do corpo é mantido no sistema circulatório de acordo com o aumento ou diminuição da resistência sistêmica ao fluxo de sangue. Quando em repouso, o fluxo de sangue no ser humano adulto é de aproximadamente 5 l/min, o que equivale a 60-80 batimentos do coração por minuto.

Em exercício, o fluxo aumenta para 15 a 25 l/min e o número de batimentos do coração por minuto fica entre 120 a 160. Na Figura 5.20 é apresentado um corte do coração, com 4 câmaras (átrios esquerdo e direito (AD e AE), ventrículos esquerdo e direito (VE e VD)); a veia cava superior e o sistema de condução elétrico do coração: nodos sinoatrial.

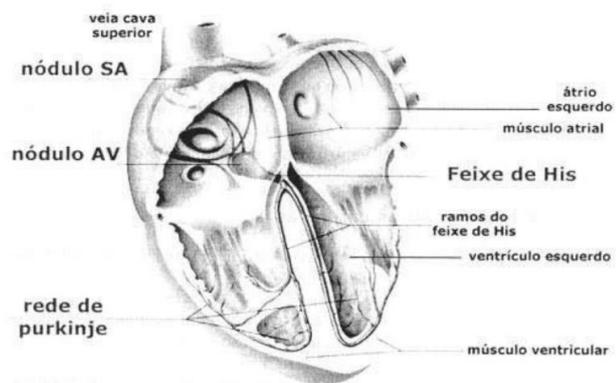


Figura 5.20 – Corte do coração apresentando as quatro câmaras e o sistema de condução elétrica.
Fonte: Calil (2002, p. 335)

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOYLESTAD, R. **Introdução à Análise de Circuitos**. Pearson Universidades, 2012. 12. ed.
- BOYLESTAD, R. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria dos Circuitos**. Pearson Universidades, 2013. 11. ed.
- CALIL, S. J. GOMIDE, E. T. **Equipamentos Médico-Hospitalares e o Gerenciamento da Manutenção - Capacitação a distância**. Ministério da Saúde, 2002. Brasília-DF. Secretaria de Gestão de Investimentos em Saúde. Projeto REFORSUS.
- BORON, W. F. BOULPAEP, E. **Fisiologia Médica**. GEN Guanabara Koogan, 2015. 1. ed.
- FLOYD, T. L. **Electronic Devices**. Pearson, 2005. 7. ed.
- HALL, J. E. **Guyton & Hall Tratado de fisiologia médica**. 13 ed. GEN Guanabara Koogan, 2017.
- MELLO, H. A. BIASI, D. R. S. **Introdução à Física dos Semicondutores**. Ed. Edgard Blucher LTDA, 1975.
- TORTORA, G. J. DERRICKON, B. **Princípios de anatomia e fisiologia**. Guanabara Koogan, 2016. 14. ed.