



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Susana  
Dia 15 agosto 5a fev  
17:00 horas

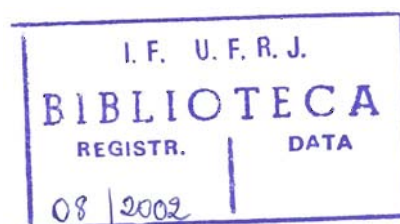
PAULO CESAR BAPTISTA TRAVASSOS

# Abordagem da Eletrodinâmica e da Eletrônica Elementar no Ensino Médio, com Apoio de Software Para Simulação Eletrônica

Projeto de final de curso, apresentado  
no Instituto de Física, da  
Universidade Federal do Rio de  
Janeiro, para obtenção do grau em  
Licenciatura de Física.

Orientadora: Lígia de Farias Moreira

- Julho de 2002 -



# DEDICATÓRIA

Aos meus pais, à Lidyane e à Gabriela.

## AGRADECIMENTOS

Ao coordenador do curso de Licenciatura Artur Chaves, aos professores que lecionam neste curso, e ao Carlinhos (UERJ).

Em especial, à orientadora Ligia Moreira, pela dedicação, paciência, e apoio incondicional em todas as fases do projeto.

A todos aqueles que me apoiaram, meus amigos da UERJ, da Santa Úrsula e da UFRJ: Antônio (USU), Arnaud, Artur, Bernardino, Bárbara, Carlos (UERJ), Carlos Afonso, Carlos (Remo), Cláudio, Gleide, Germano, Jorge Wagner, Josefina, Levi Junior, Lisboa, Otavio, Paulo Barros, Rachel, Rogério, Wanderclakson, Yasuda.

# SUMÁRIO

RESUMO.....	7
1. INTRODUÇÃO.....	8
2 METODOLOGIA.....	10
3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....	11
3.1 CRONOGRAMA.....	11
3.2 PLANEJAMENTO.....	13
4. BREVE HISTÓRIA DOS COMPONENTES.....	15
5 FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	19
5.1 Introdução.....	19
5.2 Carga Elétrica.....	19
5.3 Campo Elétrico.....	20
5.4 Potencial Elétrico.....	20
5.5 Diferença de Potencial.....	20
5.6 Corrente Elétrica.....	21
5.6.1 Condução Iônica.....	21
5.6.2 Intensidade da Corrente Elétrica.....	21
5.6.3 Corrente Contínua.....	22
5.6.4 Corrente Alternada.....	22
5.7 Resistência Elétrica.....	23
5.7.1 Primeira Lei de Ohm.....	23
5.7.2 Resistividade e Segunda Lei de Ohm.....	23
5.7.3 Condutores e Isolantes.....	24
5.7.4 Mau Condutores e Efeito Joule.....	24
5.7.5 Resistores.....	25
5.7.5.1 Associação de Resistores em Série.....	25
5.7.5.2 Associação de Resistores em Paralelo.....	26
5.7.5.3 Leis de Kirchhoff: Nós e Malhas.....	28
5.8 Instrumentos de Mediadas Elétricas.....	30
5.8.1 Amperímetro.....	30
5.8.2 Voltímetro.....	30
5.8.3 Ohmímetro.....	31
5.8.4 Ponte de Wheatstone.....	31
5.8.5 Osciloscópio.....	32

5.8.6	Multímetro.....	32
5.9	Fonte de Tensão ou gerador.....	33
5.10	Receptores.....	35
5.11	Potência Elétrica.....	36
5.11.1	Potência Dissipada.....	37
5.11.2	Rendimento.....	37
5.11.3	Cálculo de gasto de energia elétrica em uma residência.....	38
5.12	Capacitores.....	39
5.12.1	Associação de Capacitores em série.....	40
5.12.2	Associação de Capacitores em paralelo.....	41
5.12.3	Circuito RC em regime CA.....	41
5.13	Semicondutores.....	42
5.13.1	Base das junções P-N.....	42
5.13.2	Diodos.....	43
5.13.3	Transistores.....	43
5.13.4	Circuitos Integrados (CI).....	45
5.13.5	Circuitos Retificadores e fonte de tensão.....	46
5.14	Componentes que interrompem ou desviam a corrente.....	47
5.14.1	Interruptores.....	47
5.14.2	Relé.....	47
5.14.3	Comutadores e seletores.....	48
6.	Experimentos.....	49
6.1	Simulações.....	49
6.1.1	Aula 2 – Circuitos <u>Simple</u> $V - R - i$ .....	49
6.1.2	Aula 7 – Circuitos com Malhas.....	49
6.1.3	Aula 11 – Circuitos com Receptores, geradores, chaves trheeway.....	50
6.1.4	Aula 21 – Circuitos CC e CA – osciloscópio.....	50
6.1.5	Aula 22 – Circuitos com Capacitores.....	50
6.1.6	Aula 31 – Circuitos com Diodos e circuitos com diodos retificadores.....	51
6.1.7	Aula 34 – Simulação de uma Fonte de Tensão.....	52
6.1.8	Aula 45 – Circuitos RC como filtros.....	52
6.2	Experiências.....	53
6.2.1	Lâmpadas em série e em paralelo.....	53
6.2.2	Caixa de Som.....	55
6.2.2.1	Estrutura Física da Caixa.....	55

6.2.2.2 Amplificador.....	57
6.2.2.3 Pré-amplificador para microfone.....	59
6.2.2.4 Fonte de Tensão.....	60
6.2.3 Painel de componentes.....	61
7. Conclusão.....	62
8. Referências Bibliográficas.....	64
ANEXO I.....	66
Roteiro para o uso do <i>Software Electronic Workbench</i>	
I.1 Considerações gerais.....	66
I.2 Utilização dos botões.....	66
I.3 Exemplo de Aplicação.....	67
ANEXO II.....	70
Técnicas Experimentais	
II.1 Circuitos Impressos .....	70
II.2 Solda.....	71
II.3 Cuidados com a montagem de kits eletrônicos.....	71
ANEXO III.....	73
Ficha de Consumo Residencial de Energia Elétrica.....	73

## RESUMO

O presente trabalho teve por finalidade ministrar um curso de eletrodinâmica simultaneamente com eletrônica elementar, com duração 48 aulas, sendo 4 tempos semanais, divididos 2 a 2, isto é, em períodos de 1h 40 min

A metodologia aplicada foi aulas com simulações em computadores, aulas teóricas, aulas de exercícios e aulas experimentais, visando um melhor aproveitamento dos alunos e aproximando-os do seu cotidiano.

Neste curso foram utilizados computadores, um recurso com que muitas escolas hoje podem contar. O computador serviu para a simulação de circuitos eletrônicos com segurança e baixo custo, sendo utilizada a versão demo do *software Electronic Workbench*. O *software* fornece uma ótima visualização da geometria de um diagrama esquemático, de maneira simples.

Foram sugeridas também algumas experiências de baixo custo para serem realizadas pelo professor e/ou pelos alunos. Para isto, houve a necessidade da utilização de técnicas básicas de confecção de circuitos impressos.

No final do curso, os alunos escolheram dentre vários projetos propostos, a confecção de uma caixa acústica amplificada. Aproveitou-se para incentivar o uso da Internet, como complementação ao material teórico, visitando-se algumas páginas de fabricantes de alto-falantes, sugeridas pelo professor.

# 1. INTRODUÇÃO<sup>1</sup>

Este trabalho tem como objetivo aumentar a segurança, no que diz respeito aos conhecimentos de eletrodinâmica adquiridos. Familiarizar os alunos com termos como: Transistor, Capacitor, Circuito Integrado, Resistor, Fusível, Disjuntor, etc..., assim como ter noção de suas utilizações no cotidiano, identificá-los em placas de circuito impresso, e até compreender um diagrama esquemático simples, tornando os alunos capazes de montar pequenos esquemas eletrônicos. Enfim, fazer a transposição do saber conceitual para a prática:

*“Para que a aprendizagem provoque uma efetiva mudança de comportamento e amplie cada vez mais o potencial do educando, é necessário que ele perceba a relação entre o que está aprendendo e a sua vida. O Aluno precisa ser capaz de reconhecer as situações em que aplicará o novo conhecimento ou habilidade. Tanto quanto possível, aquilo que é aprendido precisa ser significativo para ele.” [José, 2001]*

Foi ministrado um curso de eletrodinâmica e eletrônica básica interligados, para uma turma de terceira série do ensino médio, com 18 alunos, em uma escola da rede particular, na zona norte do Rio de Janeiro. Este projeto propõe uma nova maneira de se abordar este assunto, utilizando-se simulações no computador com uma participação ativa do educando na construção do conhecimento.

Existe dificuldade no Ensino Médio em se lidar com a eletrônica. Muitas vezes é difícil para o educando, e até para o professor, o simples ato de identificar um componente eletrônico, e quanto mais manipulá-lo, mesmo tendo o professor um certo domínio do modelo teórico.

*“Em seu processo de construção, a Física desenvolveu uma linguagem própria para seus esquemas de representação, composta de símbolos e códigos específicos. Reconhecer a existência mesma de tal linguagem e fazer uso dela constitui-se competência necessária, que se refere à representação e comunicação.” [PCN].*

Os modelos teóricos, muitas vezes, necessitam de cálculos que envolvem números complexos, e até mesmo integrais e derivadas, inviabilizando-se a compreensão de certos conceitos de eletrônica básica, para o aluno do Ensino Médio. Abordar a eletrônica de forma experimental ajudaria ao educando a adquirir a compreensão da eletrodinâmica, e sua aplicação prática, sem necessitar de uma ferramenta matemática mais avançada para isto.

Hoje em dia, muitas escolas possuem computadores, e assim, a simulação de experimentos simples de eletrônica, pode auxiliar no aprendizado de eletrodinâmica, através de ações como: manipular os símbolos utilizados em eletrônica para a construção de diagramas esquemáticos; perceber que um circuito pode ser representado de várias

---

<sup>1</sup> A redação deste trabalho segue normas constantes em:

SÁ, Elizabeth Schneider. Manual de Normalização de Trabalhos Técnicos, Científicos e Culturais. Ed. Vozes. 4ª Edição. 1998;

Lakatos, Eva Maria; Marconi, Marina de Andrade. Metodologia do Trabalho Científico. Ed. Atlas. 1992



maneiras diferentes sem perder as suas características originais; visualizar e conferir os resultados comparando-os com o modelo teórico:

*“(...) A utilização destes mundos virtuais, pode também ajudar a esclarecer aspectos, às vezes sutis, de um sistema físico. Aliado a isso, temos o grande interesse demonstrado pelos alunos no manuseio do computador, e que pode ser canalizado para o aprendizado dos mais variados temas”. [Barbeta, 2001].*

Porém, a simples utilização do computador não garante que o conhecimento será absorvido pelo aluno:

*“desempenho do”*

*“Como auxiliar do processo de construção do conhecimento, o computador deve ser usado como uma máquina para ser ensinada. Nesse caso, é o aluno quem deve passar as informações para o computador (...) tem que **depurar** a idéia original através da aquisição de conteúdos ou de estratégias”. [Valente, 1997].*

Os alunos poderam observar, por exemplo, quando um circuito é dimensionado de maneira incorreta, levando-os a refletir se houve sobrecarga, curto-circuito, ou se os componentes escolhidos não são adequados àquela aplicação. Poderá então modificá-lo completamente, ou tão somente alterar atributos de alguns componentes do circuito.

A montagem de circuitos, que foram simulados no computador, incluindo algumas técnicas básicas para a confecção de circuitos impressos, e mesmo o processo de aquisição de componentes, completa o trabalho.

## 2. METODOLOGIA

Este curso foi programado para 48 aulas, com quatro tempos semanais, divididos 2 a 2, isto é, em períodos de 1h 40 min. Havia disponíveis 20 computadores, para um total de 18 alunos.

A idéia central foi abordar certos conceitos básicos de eletrodinâmica, tais como corrente elétrica, condutores, isolantes, resistência elétrica e geradores e receptores, entre outros, tomando por base uma abordagem experimental prévia, sempre que possível. Ao longo das explicações teóricas, introduzimos, como apoio, experimentos simples simulados em computadores, utilizando a versão demo do *software Electronic Workbench*<sup>2</sup>.

Durante as simulações, os alunos foram incentivados a desenhar seus próprios circuitos e tomarem nota dos resultados obtidos, para serem utilizados posteriormente nas aulas de exercícios, estimulando-os desta forma, já que puderam gerar seus próprios problemas resolvíveis, uma vez que, os esquemas impossíveis são rejeitados na simulação.

Foram também realizadas experiências demonstrativas, como a associação de resistores. Finalizou-se o curso com a elaboração de um projeto escolhido pelos alunos. Neste ano foi a montagem de uma caixa de som, com um amplificador. Este projeto acabou por se desdobrar em alguns subprojetos: Fonte de tensão, para alimentar o circuito da caixa; amplificador de áudio; pré-amplificador para microfone, construção da caixa de madeira.

Por se tratar de uma caixa de som, surgiu uma excelente oportunidade de se rever alguns tópicos de acústica sob uma ótica experimental. Foi sugerida aos alunos uma pesquisa na Internet, em algumas páginas de fabricantes de alto-falantes. Pode-se então, constatar algumas limitações nos projetos de caixas acústicas, que possuem motivos fundamentados na Física. Por exemplo, as dimensões internas da caixa de som é um fator importante nas caixas acústica, devem ser escolhidas de modo a evitar o aparecimento de ondas estacionárias; existem alto-falantes melhores para reproduzir uma determinada faixa de frequência, e inadequados para outras, etc.

A caixa de som ainda se tornou uma boa motivação para que os alunos aprendessem um pouco sobre alguns tipos de madeira e compensados, locais de venda, custo; despertou-se a atenção para a existência de materiais alternativos, como o aglomerado e o MDF; ainda serviu de pretexto para se trabalhar com ferramentas em geral.

Para complementar o trabalho, recorreu-se a Internet para uma pesquisa teórica, servindo como apoio, e até mesmo para a procura de alguns projetos de eletrônica, enriquecendo um pouco mais o nosso curso.

---

<sup>2</sup> Obtido na página <http://www.interactiv.com>.

## 3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.

### 3.1 CRONOGRAMA

Este curso foi programado para 48 aulas, com quatro tempos semanais, divididos 2 a 2, isto é, em períodos de 1h 40 min. O cronograma adotado pode ser visto na Tabela 1.

Aula	Desenvolvimento
1	Aula inaugural, aprendizado de como utilizar o <i>software</i> . Desenhar alguns circuitos se familiarizando com os componentes disponíveis.
2	Simulação de circuitos propostos, atribuição de valores para os componentes, tomada de dados. Conscientização das observações e gerenciamento de dados.
3	Aula teórica sobre corrente elétrica e Lei de Ohm
4	Resolução de alguns exercícios
5	Aula na qual se demonstra um experimento com associação de lâmpadas em série e em paralelo
6	Aula de exercícios e comparação com os dados obtidos nas simulações
7	Simulação de circuitos resistivos em série e paralelo (Malhas)
8	Discussão para se chegar à segunda lei de Ohm e Kirchhoff
9	Instrumentos de medidas elétricas
10	Aula de exercícios
11	Simulação de circuitos diversos, tais como: <i>threeway</i> , receptores, geradores, mudança de alguns parâmetros como potência elétrica, etc.
12	Aula de exercícios
13	Aula teórica sobre potência elétrica
14	Aula teórica sobre potência elétrica
15	Aula de exercícios
16	Cálculo de consumo residencial de energia elétrica
17	Efeitos térmicos: Efeito Joule e Efeito Edison
18	Aula de exercícios
19	Corrente contínua e corrente alternada
20	Aula de exercícios
21	Simulação de circuitos CC e CA, utilizando-se o osciloscópio virtual do <i>software</i> de eletrônica.
22	Simulação de carga e descarga em capacitores, preparando para a aula teórica.
23	Teoria de Capacitores
24	Teoria de Capacitores
25	Aula de exercícios
26	Aula de exercícios
*	PRIMEIRA AVALIAÇÃO ESCRITA

27	Noção sobre a História da eletricidade e da eletrônica
28	Noção sobre a História da eletricidade e da eletrônica
29	Breve Estudo sobre os materiais semicondutores
30	Junções P-N
31	Diodos e circuitos com diodos retificadores
31	Simulação de alguns circuitos com diodos
33	Transistores e amplificadores
34	Simulação do funcionamento de uma fonte de tensão estabilizada
35	Led, Circuitos Integrados, e outros componentes. Apresentação do painel de componentes eletrônicos
36	Escolha dos projetos
37	Leitura de esquemas e desenho da placa impressa
38	Técnicas manuais de confecção de circuitos impressos
39	Alguns conceitos físicos associados à caixas acústicas
40	Circuito amplificador – fonte de tensão
41	Breve análise das especificações técnicas de alto- falantes.
42	Montagem dos projetos
43	Montagem dos projetos
44	Montagem dos projetos.
45	Simulação de Circuitos RC utilizados como filtros de frequência
46	Visita a páginas de fabricantes de alto falantes na internet
47	Apresentação dos projetos
48	Comentários finais sobre o trabalho.
*	SEGUNDA AVALIAÇÃO ESCRITA

Tabela 1 - Cronograma das atividades

\*As avaliações foram realizadas em tempos fora do horário normal, como norma da escola.

### 3.2 PLANEJAMENTO

Ao iniciarmos esta parte da matéria, devido à falta de interesse demonstrada pelos alunos, no ano 2000, resolvemos modificar a metodologia utilizada iniciando no 1º Semestre de 2001. Os alunos tiveram acesso aos computadores, que até a presente data estavam servindo apenas ao curso de Informática. Nesse trabalho nos limitaremos apenas a desenvolver o 2º e o 3º bimestres da 3ª série do ensino médio, o que representa o conteúdo de Eletrodinâmica.

O planejamento do curso foi feito para ser desenvolvido da seguinte forma:

Os alunos começarão pela aprendizagem de um *software* simples de eletrônica, criando alguns circuitos. Uma vez dominado o *software*, será proposto variarem os componentes daqueles circuitos, atribuindo valores e anotando os dados obtidos de uma forma ordenada. Estes dados serão resistência, voltagem e corrente. Os alunos serão alertados a desenhar cada circuito, anteriormente em papel, após passar para o computador. Os primeiros circuitos serão propostos pelo professor e depois os alunos deverão criar seus próprios circuitos. Serão estimulados, por exemplo, a demonstrar o comportamento de lâmpadas ligadas em série, acrescentando-se uma a uma, ou fazer uma associação em paralelo. No decorrer da aula, será aberta uma discussão sobre possíveis explicações para o que for observado, fazendo com que os alunos verifiquem a dependência de corrente elétrica, tensão e resistência elétrica, isto é, a lei de Ohm. Os alunos poderão fazer simulações, onde lâmpadas estourarão, ou não acenderão, inclusive mostrar, sem risco, como ocorre um curto-circuito.

Será, então, introduzido, formalmente, os conceitos de carga, campo elétrico, potencial elétrico, corrente elétrica e a primeira Lei de Ohm.

Com a formalização teórica dos conceitos de associação em série e em paralelo de resistores, iniciar-se-á o cálculo de resistência equivalente, voltagens e amperagens, comparando com os valores anotados nas simulações. Os alunos poderão simular no computador mais alguns circuitos, ou conferir outros.

Na aula seguinte, os alunos montarão um experimento com lâmpadas em série e em paralelo (ou observarão a demonstração do experimento), para que possam observar a luminosidade das lâmpadas em cada uma das situações, abrindo-se uma nova discussão para chegarmos à segunda lei de Ohm. Nesta aula, serão introduzidos os conceitos de condutores, isolantes e resistividade.

Em seqüência, será mostrado como funciona e como se utiliza um multímetro para obtenção de medidas elétricas. Será ensinado os princípios básicos de voltímetro, amperímetro, ohmímetro, ponte de Wheatstone, osciloscópio (simulado no *software*), e multímetro comercial.

Dando prosseguimento ao curso, os alunos também poderão simular uma instalação elétrica de lâmpadas de uma residência, e circuitos com chaves monopolares e bipolares como o *Threeway*.

Desta forma, os alunos serão considerados aptos ao estudo teórico de circuitos, geradores e receptores reais. Os estudantes farão algumas simulações com geradores e receptores.

Este passará a ser um bom momento para se introduzir, teoricamente e experimentalmente, o conceito de Potência Elétrica. Na aula seguinte, os alunos levarão os valores das potências de todas as lâmpadas e aparelhos elétricos de sua casa. Será estimado o tempo de uso diário e mensal, e se fará o cálculo do consumo total mensal e custo de energia elétrica de uma casa.

Aproveitando o tema de potência elétrica será colocada a dependência da resistência elétrica com a temperatura; o Efeito Joule será explicado; falar-se-á de rendimento elétrico de aparelhos e de lâmpadas comuns e das chamadas lâmpadas frias.

A seguir, será rediscutido o conceito de corrente contínua e alternada, sendo simulados no computador alguns circuitos, antes de apresentarmos os capacitores. Os alunos farão as curvas características da corrente contínua e alternada utilizando o osciloscópio do *software* de eletrônica.

Os capacitores serão introduzidos partindo-se de problemas práticos como, por exemplo, dar a partida em um motor elétrico, observando o funcionamento do motor com e sem este capacitor, estes são apenas exemplos de aplicação prática (para isto é necessário um outro *software*, como o *Circuit Maker* e o *Edison*, citados no anexo I). Simular no computador uma descarga de capacitor sobre um resistor é uma alternativa. Concluir-se-á esta etapa do curso com uma noção teórica de capacitores, e associações em série e paralelo.

A partir deste ponto, as aulas passarão a ser mais informativas. Uma breve história da eletrônica será contada, mostrando a evolução da eletricidade, passando pelas válvulas eletrônicas até chegar aos semicondutores. Uma rápida menção aos materiais que formam as Junções P-N poderá ser feita, explicando os rudimentos do funcionamento de: diodos, transistores, led, circuitos integrados, etc, mostrando as características físicas de cada um. Um painel foi montado, para que os alunos possam conhecer os componentes mais comuns e sua utilidade. No final do curso será proposta a construção de um equipamento eletrônico.

No presente semestre o projeto escolhido foi a construção de uma caixa de som de 10 W de potência. A turma foi dividida, cabendo a cada grupo uma parte do projeto: um grupo ficou com a construção dos circuitos impressos, outro grupo construiu um conversor de CC/CA, outro grupo fez a montagem da caixa, um outro a construção de um pré-amplificador para microfone.

## 4. BREVE HISTÓRIA DOS COMPONENTES ELETRÔNICOS<sup>3</sup>

Um dos primeiros relatos sobre a eletricidade coincide com a época a que se atribui o nascimento da Física ocidental. Tales de Mileto<sup>4</sup>, cerca de 600 anos antes de Cristo, teria, uma certa vez, tentado polir um pedaço de âmbar, que estava em sua mesa de trabalho. Para isto ele friccionou o âmbar contra uma peça de seu vestuário. Ao colocar o âmbar novamente sobre a mesa, reparou em um pequenino pedaço de madeira que se moveu em direção ao âmbar, ficando preso a ele. Mesmo sem ter uma explicação para o fenômeno, Tales documentou cuidadosamente o fato ocorrido<sup>5</sup>.

Pareceu estranho para Tales que o âmbar só apresentasse a qualidade de atração, quando friccionado. Era conhecida a lenda sobre um tal pastor Mages, que sentiu algum objeto de ferro ser atraído por um tipo de rocha. A rocha recebeu o nome de *magnetita*, em homenagem ao tal pastor. Mas a rocha não precisava ser friccionada para que apresentasse o poder de atração, mas o âmbar sim.

O primeiro a dar uma explicação para estes fenômenos foi um médico Inglês, Sir William Gilbert, no ano de 1600 DC, com a publicação de seu livro chamado *De Magnete*. Neste livro, foram relatados descobertas, experimentos, dados, e explicações sobre fenômenos de atração. Dentre outras coisas, ele descobriu que algumas outras substâncias, além do âmbar, também apresentavam propriedades de atração, quando atritadas; descobriu que algumas substâncias possuíam um poder de atração maior do que outras; construiu um aparelho capaz de indicar a magnitude do poder de atração de uma determinada substância: O Eletroscópio. A própria palavra eletricidade foi apresentada neste livro, sendo tirada de *Elektra*, que quer dizer âmbar em grego. Gilbert é tido como o pai da eletricidade.

Pouco a pouco foram surgindo novas descobertas acerca da eletricidade. Na segunda metade do século XVII, em Magdeburgo, na Alemanha, Otto Von Guericke construiu uma máquina capaz de gerar eletricidade estática: O Gerador Eletrostático. Este gerador foi amplamente utilizado para a realização de experimentos.

Já em 1729, o inglês Stephen Gray conseguiu que uma carga de eletricidade fosse conduzida de um ponto a outro, através de um fio metálico de 292 m de comprimento. Gray descobriu mais tarde que algumas substâncias são boas condutoras, e outras, não. Classificou, então, estas substâncias em condutores e isolantes. O conceito de condutores e isolantes também foi utilizado pelo francês François Du fay, naquela mesma época.

Du fay explicava os fenômenos elétricos admitindo a existência de dois tipos de fluidos elétricos, com qualidades distintas: o fluido vítreo e o fluido resinoso. Quando a quantidade dos dois fluidos fosse a mesma em um corpo, ele não apresentaria a capacidade de atrair outros corpos. Quando fossem diferentes, ele apresentaria tal

<sup>3</sup> Esta seção foi retirada de (Mandelbaum, 1963) e de (Máximo, 2000)

<sup>4</sup> Ao se utilizar a expressão Tales de Mileto, nos reportamos as considerações que seguem uma certa linha de pensamento, adotada pelos filósofos Jônios (da Jônia ou antiga Grécia), em épocas próximas a 600 AC . Não se tem certeza se estas idéias foram concebidas por uma só pessoa, ou por vários pensadores.

<sup>5</sup> Pode ser mostrado que serragem ou papel podem ser atraídos por um pedaço de PVC, após ser atritado em uma flanela.

capacidade. Quando, então, atritasse um corpo, dependendo da substância que o compunha, seria retirada uma parte do fluido resinoso, ou do fluido vítreo. Desta forma, o corpo adquiriria a capacidade de atração.

Na universidade de Leyden, Holanda, em 1744, foi inventada uma garrafa que poderia armazenar eletricidade. Porém, somente em 1750, Benjamin Franklin utilizou uma garrafa de Leyden para demonstrar que os relâmpagos eram eletricidade. Franklin ainda criou o conceito de eletricidade positiva e eletricidade negativa, admitindo que um Fluido Elétrico poderia abandonar um corpo, tornando-o negativo, e ser absorvido por um outro corpo, tornando-o positivo: A Teoria do Fluido Único. Esta idéia, de certo modo, é utilizada até hoje.

Já em 1791, o italiano Luigi Galvani, renomado professor de anatomia da universidade de Bolonha, na Itália, publica um artigo em que descreve a Eletricidade Animal. Ela seria gerada nos corpos de todos os animais. Rapidamente, o mundo inteiro passou a discutir a eletricidade animal. Porém, logo se descobriu que a eletricidade não era gerada pelos corpos dos animais, e a teoria foi esquecida. Mas Galvani jamais foi esquecido, sendo homenageado com a criação da palavra *galvanizar*, que significa eletrificar.

Um dos que não aceitavam a eletricidade animal, foi o Conde italiano Alessandro Volta, da universidade de Pavia. Uma de suas contribuições para a eletricidade foram as melhorias que fez na garrafa de Leyden, aumentando muito a sua eficiência. Volta havia refeito as experiências descritas por Galvani, com o intuito de descobrir a verdadeira origem daquela eletricidade. Finalmente, já nos princípios do século XIX, Volta descobriu que, aquele tipo de eletricidade, era gerado quando metais diferentes eram submetidos a uma solução ácida. Então a eletricidade era de origem química, e não animal.

Com a sua nova descoberta, Volta pode construir um dispositivo capaz de gerar uma quantidade de eletricidade de maneira contínua, empilhando várias camadas de metais. Este dispositivo ficou conhecido como a Pilha de Volta. A pilha acabou substituindo o gerador eletrostático, e a garrafa de Leyden, nas experiências de eletricidade. A palavra *volt* foi introduzida como unidade de medida elétrica, em homenagem a Volta.

Em 1801 o Royal Institute, em Londres, contratou Humphrey Davy, com o objetivo de atrair o público para conferências e demonstrações das últimas maravilhas científicas, no campo da eletricidade. Com isto, o instituto pretendia levantar fundos para poder continuar em funcionamento. Davy apresentava suas conferências como uma espécie de espetáculo de magia, e fez muito sucesso.

Mas Davy não se deteve nas apresentações ao público leigo. Ele realizava uma série de experiências, já que tinha acesso a um dos mais equipados laboratórios do mundo. Em uma delas, Davy conseguiu provar que ao se passar uma corrente elétrica pela água, surgem bolha de hidrogênio e oxigênio: a eletrólise da água. Já se tinha conhecimento do aparecimento de gases em experimentos semelhantes, mas não se sabia que gases eram aqueles.

Na Dinamarca, por volta de 1820, na universidade de Copenhague, Hans Oersted descobriu acidentalmente, que um fio que conduz eletricidade poderia gerar o magnetismo. Realizou experiências, e publicou os resultados detalhadamente. André Ampère, da Escola Politécnica de Paris, leu a publicação de Oersted, e tomou-a como base para seu trabalho.

Ampère descobriu que o magnetismo criado por um fio que conduz eletricidade se estende por todo o fio, possuindo uma simetria circular. Colocando as suas idéias sob uma base matemática, deu origem a uma das mais importantes equações da Física



contemporânea: A lei de Ampère. Ele foi homenageado, tendo seu nome utilizado como unidade de medida elétrica.

Em 1827, o alemão Georg Simon Ohm, publica um relatório no qual consta uma equação matemática que acabou conhecida como a Lei de Ohm. Ohm se tornou então o nome da unidade de medida utilizada para resistência elétrica.

Em 1831, Michael Faraday, no Royal Institute, descobre que o magnetismo pode criar eletricidade. Porém, em Nova York, no mesmo ano, Joseph Henry chega à mesma conclusão que Faraday. Tanto Henry quanto Faraday, poderiam ser o pai do primeiro gerador magnético de eletricidade. Seus nomes figuram entre as unidades de medidas elétricas. Faraday, mais tarde, acabou se tornando presidente do Royal Institute.

Estas descobertas possibilitaram que um escocês chamado James Clerk Maxwell, elaborasse um modelo matemático que descrevia como se comportam as linhas de força magnética, as chamadas Equações de Maxwell. Porém, o mundo só daria atenção ao trabalho de Maxwell cerca de 50 anos depois, quando se descobririam evidências experimentais para certos aspectos de sua teoria. As equações de Maxwell são a base para o eletromagnetismo moderno.

Desta época em diante, várias aplicações práticas para as descobertas no campo da eletricidade, foram surgindo. Em meados do século XIX, Samuel Finley Breese Morse inventou um aparelho de comunicação que utilizava pulsos elétricos: o Telégrafo. Em 1876 Alexander Graham Bell inventa o primeiro telefone. Em 1878, Thomas Alva Edison cria a primeira lâmpada elétrica, em Nova Jersey, nos EUA. No final do século XIX, Charles Hall descobriu um método de refinar o alumínio por meio da eletricidade. Esta descoberta foi tão importante, porque fez com que o alumínio se tornasse acessível a todos, pois o seu refinamento passou a ser muito mais barato. Até hoje, se utiliza um processo semelhante, chamado de *galvanoplastia*, para se revestir objetos metálicos com uma camada de algum outro metal.

Em 1897 nasce o elétron. Joseph Thomson, em Cambridge, na Inglaterra, realizou experiências utilizando um tubo de vidro, chamado de ampola de Crookes, concluindo que o átomo poderia ser subdividido. Desta subdivisão surgiram os *elétrons*, partículas assim chamadas atualmente. Thomson ganhou o prêmio Nobel de física em 1906, por sua descoberta.

Comparativamente com o período de 600 AC (Tales de Mileto) até 1600 DC (Gilbert), nos séculos XVIII e XIX ocorreu uma grande explosão de descobertas científicas acerca da eletricidade. Mas foi no século XX que a humanidade adotou incondicionalmente a utilização da eletricidade em seu cotidiano. Em 1908, Lee D Forest registrou a patente de uma válvula eletrônica, que permitia o controle no fluxo de elétrons. Consistia em uma ampola de vidro, com vários eletrodos, com gás em seu interior. Esta invenção foi utilizada no aprimoramento dos aparelhos de telecomunicação. Em 1920 já eram comuns aparelhos como Torradeiras, Geladeiras, Máquinas de costura, de lavar roupa, e até mesmo toca discos. Quando o rádio chegou às residências, em algumas cidades já havia eletricidade em praticamente todas as casas do perímetro urbano.

Quando se estava acreditando que muito já se havia feito com a eletricidade, os físicos John Bardeen, William Shockley e Walter Houser Brattain, ganharam o prêmio Nobel de Física, em 1956. Os motivos foram os seus trabalhos sobre os semicondutores, e a criação do transistor. A palavra transistor tem origem na expressão inglesa *transfer resistor*, que quer dizer resistor de transferência. Os transistores servem para controlar o fluxo de eletricidade, assim como as válvulas eletrônicas, mas com a vantagem de serem menores, mais baratos, e consumirem pouca energia em seu funcionamento. Nasceu então a eletrônica do estado sólido. Os aparelhos passaram a ser menores e mais eficientes.

Um filósofo Jônico jamais poderia imaginar o mundo de hoje, com tantos avanços no campo da eletricidade. E para nós é difícil imaginar um mundo sem iluminação elétrica, aquecimento elétrico, refrigeração elétrica, televisão, geladeira elétrica, etc.

# 5. FUNDAMENTOS TEÓRICOS<sup>6</sup>

## 5.1 INTRODUÇÃO<sup>7</sup>

Vários são os modelos atômicos, cada um com a sua história e propósito. Admitir ou não a existência de um átomo já foi, por si só, uma grande batalha epistemológica. Aqui cabe de maneira muito satisfatória o modelo atômico de Niels Bohr, utilizando-o para explicar a movimentação de cargas elétricas.

A estrutura dos metais é composta por ligações químicas iônicas, de maneira tal que os átomos se dispõem em uma estrutura geométrica (figura 1). Como esta estrutura é comum em metais, prefere-se chamar estas ligações de *Metálicas*. Cada átomo do metal doa elétrons de valência (aqueles disponíveis para as ligações químicas), se transformando em um íon positivo. Os elétrons doados passam a pertencer a qualquer ligação química, de qualquer átomo do corpo, não pertencendo a nenhuma ligação especificamente.

Desta forma, estes elétrons se tornam livres para se movimentarem, fazendo-o com grande facilidade, por todo o corpo. Acabam por formar o que se pode chamar de *Nuvem Eletrônica*, *Mar de Elétrons*, ou *Mar de Fermi* (para homenagear o Italiano Enrico Fermi, um dos primeiros a estudar este fenômeno). Os elétrons da nuvem eletrônica normalmente se movimentam de maneira aleatória (figura 2).

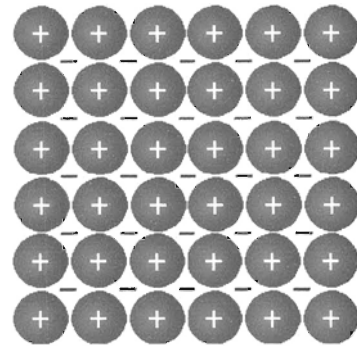


Figura 1 – Modelagem da estrutura cristalina típica de um metal. O símbolo + indica cada átomo da rede. O símbolo – representa os elétrons livres da rede.

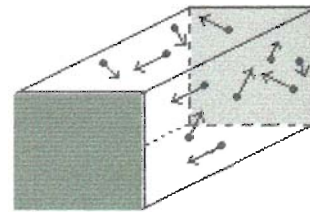


Figura 2 – As setas indicam a direção e sentido de alguns elétrons livres.

## 5.2 CARGA ELÉTRICA

Um corpo que possui a mesma quantidade de elétrons e prótons é dito eletricamente neutro. Mas um corpo que possui prótons e elétrons, em quantidades desiguais, é dito eletrizado.

Um corpo eletrizado, em certas condições, adquire a qualidade de atrair outros corpos. Esta qualidade está relacionada a uma grandeza que permite uma análise quantitativa deste poder de atração. Esta grandeza é chamada de *Carga Elétrica*. Então, um corpo eletricamente neutro possui uma carga elétrica total nula. Um corpo eletrizado possui uma carga total diferente de zero.

<sup>6</sup> O texto desta seção é original, inspirado em: Purcell, 1973; Máximo, 2000; Amaldi, 1995; Blackwood, 1971; Scientific América, 2000; Melo, 1974; Horowitz, 1986; Nussenzveig, 1997; Ference.

<sup>7</sup> Salvo comentários em contrário, todas as figuras desse capítulo foram feitas pelo autor.

Por definição, os elétrons possuem carga negativa, e os prótons, positiva. Um corpo positivamente eletrizado possui então uma quantidade de prótons maior do que a de elétrons. Da mesma forma, um corpo negativamente eletrizado possui uma maior quantidade de elétrons.

Admite-se que a quantidade de carga do elétron é a quantidade de carga mínima que se pode encontrar na natureza. O seu valor, no Sistema Internacional, é medido em Coulombs (C), e vale  $1,6021773819 \times 10^{-19}$  C. Admite-se também que todas as outras quantidades de cargas sejam múltiplos inteiros deste valor<sup>8</sup>.

### 5.3 CAMPO ELÉTRICO

Uma certa quantidade de carga elétrica pode atrair ou repelir outras cargas elétricas, criando uma certa condição espacial que denominaremos de campo de força. Este campo é chamado de Campo Elétrico.

Podemos, portanto, definir campo elétrico como a região do espaço em que se pode sofrer a ação de uma força elétrica. Um fato curioso é que mesmo longe da carga que originou o campo elétrico, outra carga sofrerá os efeitos daquele campo.

### 5.4 POTENCIAL ELÉTRICO

É uma grandeza física que indica que em uma determinada região do espaço existe um campo elétrico. Desta forma, um corpo com carga elétrica nesta região sofrerá ação de uma força elétrica.

O potencial elétrico pode servir para definir energia potencial elétrica:  $E = q \times V$ , onde  $q$  é a carga de um corpo sujeito a um potencial  $V$ . Um corpo tende a permanecer em seu estado de energia mínima. Então, se este corpo está em uma região do espaço na qual o potencial possui um valor diferente em cada ponto, ele será atraído ou repellido para uma região na qual exista um potencial menor, dependendo do sinal de sua carga.

### 5.5 DIFERENÇA DE POTENCIAL ELÉTRICO

Diferença de Potencial, em um corpo, quer dizer que em uma parte do corpo existe um certo valor de potencial elétrico, e em outra parte existe um outro valor. De acordo com a seção 5.4, uma partícula no interior deste corpo sofrerá força elétrica. Nesta situação podemos dizer que existe uma tensão elétrica entre estas partes do corpo. É o mesmo caso de uma partícula com uma certa carga elétrica, sendo submetida a um campo elétrico, que a atrai ou a repele.

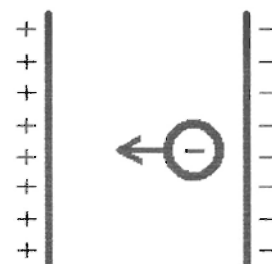


Figura 3 – Duas placas planas paralelas criam uma DDP, atraindo uma partícula carregada.

<sup>8</sup> Existem modelos teóricos que atribuem aos Quarks, um certo tipo de partícula, cargas com valores equivalentes a frações da carga do elétron. Entretanto, ainda não houve comprovação experimental deste fato.

Por exemplo, em um campo uniforme criado por duas placas planas, paralelas, com cargas de sinais opostos (figura 3), a partícula sofrerá a ação de uma força elétrica.

A DDP pode ser fornecida também por um dispositivo próprio para este fim, como uma pilha ou gerador de tensão. Genericamente, podemos designar por Fonte de Tensão, a todo dispositivo utilizado para fornecer DDP a um circuito elétrico ou Eletrônico. Quando o corpo é submetido a uma Diferença de Potencial (DDP), os elétrons da nuvem eletrônica podem ser facilmente deslocados em uma determinada direção e sentido.

## 5.6 CORRENTE ELÉTRICA

A quantidade de cargas elétricas que atravessam uma certa área de um corpo, em um mesmo sentido e mesma direção, em um certo intervalo de tempo, pode ser chamada de *Intensidade de Corrente Elétrica* (figura 4).

Em outras palavras, a corrente elétrica pode ser explicada, considerando que cargas elétricas, submetidas a um campo elétrico, sofrem uma força elétrica, e por isso se deslocam. Sendo assim, estando elas livres para se movimentar, se movimentarão segundo a resultante de força que nelas atua.

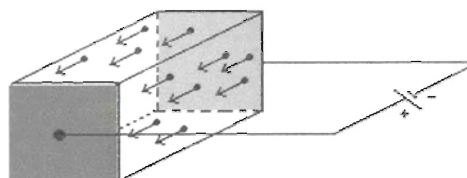


Figura 4 – Com a introdução de uma pilha cria-se uma DDP, e então os elétrons se movimentam de forma ordenada<sup>9</sup>.

### 5.6.1 Condução Iônica

Deve-se ainda observar que, correntes elétricas, nos casos abordados aqui, são quase sempre formadas por elétrons, dado que os prótons estão presos nos núcleos dos átomos. Mas mesmo assim, é possível imaginar uma situação na qual se tenha uma certa quantidade de prótons se movimentando. É o caso de um gás composto pelo cátion  $H^+$ , resultado da ionização do Hidrogênio. Como o elemento hidrogênio só possui um próton e um elétron, ao ser ionizado podemos obter um gás de  $H^+$ , ou seja, um gás de prótons.

Outra situação é aquela em que uma solução iônica é submetida a uma DDP. Neste caso, tanto os íons negativos quanto os positivos, possuem mobilidade suficiente para formar corrente elétrica.

### 5.6.2 A Intensidade de Corrente Elétrica

A intensidade de corrente elétrica  $i$  que flui por um corpo, é escrita matematicamente como:

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad 1$$

<sup>9</sup> Esta figura pretende uma simplificação do fenômeno. Na verdade, esta movimentação não é tão ordenada como a figura sugere. O que existe é uma tendência para que as partículas, em média, se movimentem de forma ordenada.

Onde  $\Delta q$  é a quantidade de carga que atravessa a seção reta de um condutor, e  $\Delta t$  é o tempo que foi necessário para que isto acontecesse (figura 5).

Se a carga for medida em Coulomb, e o intervalo de tempo for em segundos, a corrente elétrica será medida em Coulomb por segundos (C/s). Esta unidade foi batizada de Ampère (A), em homenagem ao físico francês André Marie Ampère. Por isto, a corrente elétrica também é conhecida como amperagem. Um Ampère representa uma carga de 1 C (equivalente a  $6,25 \times 10^{20}$  elétrons) atravessando a seção reta de um condutor em 1 s.

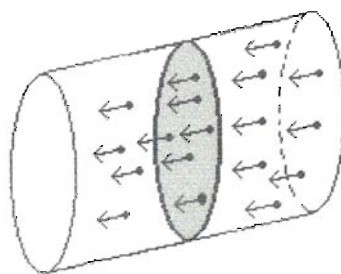


Figura 5 – As cargas elétricas atravessam a área marcada, em um dado intervalo de tempo.


### 5.6.3 Corrente Contínua

A movimentação dos elétrons pode ser orientada em um determinado sentido, e sempre neste sentido. A este tipo de corrente elétrica chamamos de Corrente Contínua, ou CC. Este é o tipo de corrente elétrica utilizada em vários circuitos alimentados por pilhas.

Este efeito de se manter o sentido da condução sempre constante, é obtido mantendo-se invariável a polaridade da fonte de tensão, mesmo que se modifique a intensidade da tensão.

### 5.6.4 Corrente alternada

Corrente alternada (CA) significa que as cargas elétricas se movimentam ora em um sentido, ora em outro. É este o tipo de corrente que as companhias elétricas fornecem as residências. Define-se então 1A de corrente alternada como a intensidade de corrente correspondente 1A de corrente contínua percorrendo um condutor.

Para que haja corrente alternada, também deve haver uma DDP alternada. Ou seja, a polaridade da fonte de tensão deve ser alternada. O valor de uma DDP alternada oscila entre um máximo positivo e um mínimo negativo. Estes valores muitas vezes seguem uma senóide (figura 6). Por este motivo, o símbolo para uma fonte CA é . Outras formas de correntes alternadas podem ser utilizadas (figura 7).

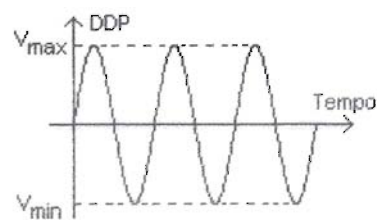


Figura 6 - Representação gráfica da variação senoidal da DDP de uma fonte CA.

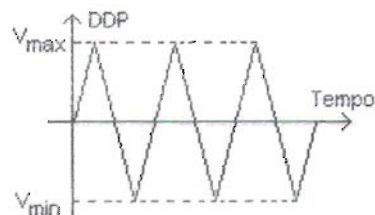


Figura 7 - Representação gráfica da variação triangular da DDP de uma fonte CA.

## 5.7 RESISTÊNCIA ELÉTRICA

### 5.7.1 Primeira Lei de Ohm

Condutor ou não, um corpo sempre será atravessado por uma certa corrente elétrica, quando submetido a uma DDP. Para alguns corpos esta corrente tem grande intensidade, e para outros nem tanto.

Então, se uma certa DDP é aplicada em vários corpos diferentes, surgirão provavelmente correntes de intensidades diferentes para cada corpo; por outro lado, se a DDP é gradativamente aumentada em um mesmo corpo, a corrente elétrica aumenta também. Conclui-se, então, que a corrente elétrica é diretamente proporcional a DDP aplicada, tendo menor intensidade à medida que os materiais utilizados apresentem maior dificuldade à passagem de elétrons.

Define-se uma grandeza, que representa esta dificuldade que um corpo possui em conduzir eletricidade, chamada de *Resistência Elétrica*, que deve ser inversamente proporcional a intensidade de corrente elétrica, como:  $R = \frac{V}{i}$ , onde  $V$  é a DDP aplicada ao corpo, e  $i$  é a intensidade de corrente elétrica neste corpo.

A equação anterior é chamada de Lei de Ohm, e pode ser escrita como:

$$\boxed{V = R \times i} \quad 2$$

A unidade de medida de resistência elétrica é Volt por Ampère (V/A). Em homenagem a Georg Simon Ohm, físico alemão, esta unidade de medida foi chamada de Ohm ( $\Omega$ ). Uma resistência de  $1\Omega$  representa um corpo que permite a passagem de uma corrente de 1A, quando submetido a uma DDP de 1 V.

### 5.7.2 Resistividade e Segunda Lei de Ohm

Consideremos agora qualquer um destes corpos, condutores, isolantes ou mal condutores, que possuem um certo valor de resistência elétrica, tendo o formato de um fio. Pode-se afirmar que, quanto maior for o comprimento deste fio, maior será a sua resistência elétrica, dado que haverá maior quantidade de matéria a ser percorrida pelas cargas em movimento.

Por outro lado, quanto maior for o diâmetro do fio, maior será a área da seção reta transversal deste fio. Desta forma, uma maior quantidade de cargas elétricas poderá atravessar esta área, sem que se altere o valor da DDP, no circuito em questão. Pela a lei de Ohm, a única forma de se justificar este aumento de intensidade de corrente, é admitindo-se a diminuição da resistência elétrica. Conclui-se então que: a resistência elétrica diminui, quando a área da seção reta transversal do fio aumenta.

Matematicamente, a resistência elétrica é diretamente proporcional ao comprimento do fio, e é inversamente proporcional a área de sua seção reta transversal:

$$\boxed{R \propto \frac{l}{A}} \quad 3$$

Onde  $l$  é o comprimento do fio,  $A$  é a área da seção reta transversal deste fio.

Define-se uma grandeza física chamada Resistividade Elétrica ( $\rho$ ), como a capacidade que um determinado material possui em resistir à passagem de corrente elétrica. Esta grandeza é a constante de proporcionalidade na expressão anterior. Reescrevendo aquela expressão, temos a Segunda Lei de Ohm:

$$R = \rho \times \frac{l}{A} \text{ ou } \boxed{\rho = R \times \frac{A}{l}}. \quad 4$$

A resistividade é medida em Ohm metro ( $\Omega \cdot m$ ). Um corpo de seção reta transversal igual a  $1 \text{ m}^2$ , e  $1 \text{ m}$  de comprimento, possuirá resistência de  $1\Omega$  se sua resistividade for de  $1 \Omega \text{ m}$ . Se este corpo for de cobre, por exemplo, com  $\rho = 1,7 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ , sua resistência será de  $1,7 \times 10^{-8} \Omega$ , que são dezessete bilionésimos de Ohm.

### 5.7.3 Condutores e Isolantes

Dependendo da disponibilidade de elétrons livres em um certo material, poderá ocorrer uma corrente elétrica de maior ou de menor intensidade, quando houver uma DDP aplicada a um corpo composto por este material. Os corpos que permitem a livre passagem de elétrons são chamados de Condutores Elétricos. Aqueles que dificultam a movimentação de elétrons são chamados de Isolantes Elétricos.

É válido lembrar que conduzir ou não corrente elétrica, além de depender do material que compõe o corpo, está diretamente associado ao valor da DDP aplicada ao mesmo. Por exemplo, um raio consegue atravessar uma camada de ar que mede quilômetros de espessura, até atingir o solo, originando uma corrente elétrica muito intensa. Porém, o ar normalmente é um bom isolante.

### 5.7.4 Maus condutores<sup>10</sup> e Efeito Joule

Os maus condutores, chamados de materiais resistivos, permitem a passagem de corrente elétrica de maneira moderada. São as bases para a fabricação dos componentes utilizados em vários aparelhos elétricos, como chuveiros elétricos, lâmpadas incandescentes, aquecedores elétricos, etc. São utilizados, também, em aparelhos eletrônicos, como televisão, computadores, rádios, etc.

Pelo fato destes materiais oferecerem uma certa resistência à passagem de cargas elétricas, eles acabam, em certas situações, absorvendo parte da energia destas cargas. Esta energia é, então, transformada em calor. Este fato é conhecido como Efeito Joule. Em um condutor, a nuvem eletrônica se forma pelo fato dos elétrons possuírem grande mobilidade. Mesmo assim, cada elétron que começa a se movimentar, acaba por colidir com um átomo, causando agitação molecular.

---

<sup>10</sup> Um erro muito comum consiste em se confundir um semicondutor com um mau condutor. Os semicondutores são materiais que possuem características muito singulares, a começar por sua estrutura molecular, constituída por ligações covalentes, muitos diferentes dos metais, por exemplo.



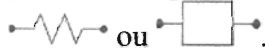
Em outros materiais, além deste fato, as ligações químicas podem ser tão fortes, que dificultam a formação de uma nuvem eletrônica, tornando mais difícil à movimentação dos elétrons de valência, entre átomos diferentes. Daí então, é necessária uma maior DDP para possibilitar a passagem de corrente elétrica. Isto causa uma agitação molecular ainda maior, traduzida na emissão de calor.

E, mesmo nos bons condutores, pode ser observado o efeito Joule, embora seja de uma forma mais amena, uma vez que ocorre também um aumento na agitação molecular.

### 5.7.5 Resistores

Existem situações nas quais se deseja que um corpo tenha um determinado valor de resistência, previamente estabelecido. Por exemplo, quando é necessário obter calor, pode-se utilizar um corpo que aqueça por Efeito Joule; quando se deseja limitar a intensidade de corrente que circula em um corpo bom condutor, pode-se ligar este corpo a um outro que seja resistivo.

Corpos que são construídos com o objetivo de possuir um valor bem definido de resistência elétrica são chamados de Resistores. Em um circuito podemos representar um resistor pelos símbolos



Quando fornecemos uma DDP a um resistor, utilizando uma fonte de tensão, podemos representar esquematicamente conforme a figura 8. Surgirá então uma corrente elétrica cuja intensidade pode ser calculada pela lei de Ohm:

$$i = \frac{V}{R} \Rightarrow i = \frac{1,5}{10} \Rightarrow i = 0,15A.$$

#### 5.7.5.1 Associação de Resistores em Série

Suponhamos que uma torneira seja ligada a uma mangueira de jardim, e esta mangueira seja ligada a uma outra, idêntica à primeira. O fluxo de água em uma mangueira será o mesmo que o fluxo de água na outra. Isto acontece também com resistores, quando os ligamos em série (figura 9).

A corrente elétrica em um resistor deve ser igual à corrente elétrica no outro resistor. Portanto, a resistência total, equivalente a combinação desses resistores, será igual soma destes:

$$R_1 + R_2 = R_{total}$$

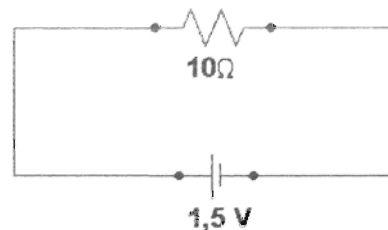


Figura 8 – Esquema de um resistor de resistência igual a  $10\Omega$ , submetido a uma DDP de 1,5V.

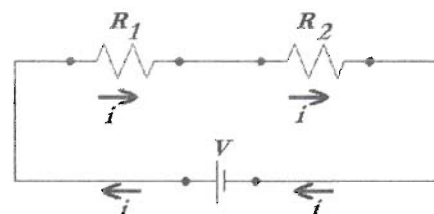


Figura 9 – Esquema de dois resistores ligados em série a uma fonte de tensão.

Em alguns circuitos de lâmpadas de árvore de Natal, as lâmpadas são ligadas em série. Por exemplo, um circuito com 10 lâmpadas em série, tendo cada uma  $12\ \Omega$ , é ligado em  $120\ \text{V}$  (figura 10). Qual será a intensidade de corrente que atravessa cada lâmpada?

A resistência total será:  $R_{total} = 120\ \Omega$ .

Utilizando-se a lei de Ohm, temos

$$i = \frac{V}{R} \Rightarrow i = \frac{120}{120} \Rightarrow i = 1\ \text{A}.$$

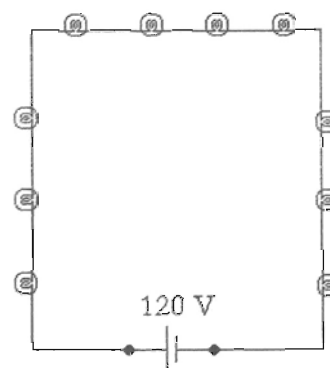


Figura 10 – Esquema de dez lâmpadas ligadas em série a uma fonte de tensão.

Um fato interessante é que cada lâmpada sofre apenas o efeito de parte da DDP total que atua no circuito. Se, no circuito da figura 10, aplicamos a lei de Ohm, para apenas um único resistor, teremos:  $V = R \times i \Rightarrow V = 12 \times 1 \Rightarrow V = 12\ \text{V}$ . Concluímos, então, que em cada resistor, atua  $12\ \text{V}$ , que é a décima parte da DDP total fornecida.

De fato, em uma associação em série, mesmo que cada resistor possua um valor de resistência diferente, sempre, em cada resistor, se obterá uma DDP que será apenas uma fração da DDP total aplicada. Esta fração é diretamente proporcional ao valor da resistência do respectivo resistor. Este efeito pode ser chamado de Queda de Tensão.

Uma importante observação deve ser considerada. Se retirarmos uma das lâmpadas deixando um bocal vazio no circuito, a corrente elétrica será interrompida, e as demais lâmpada se apagarão, o mesmo ocorrendo caso tenhamos uma lâmpada queimada.

#### 5.7.5.2 Associação de Resistores em Paralelo

Se uma extremidade de uma mangueira, posicionada horizontalmente, for conectada a uma torneira, e a outra extremidade for lacrada, não haverá fluxo de água. Se houverem furos circulares, de diferentes diâmetros, por toda a mangueira, o fluxo de água em um determinado furo não será necessariamente igual ao de outro furo de diâmetro diferente, apesar da pressão interna ser a mesma em todos os pontos da mangueira. Porém, o total de água que flui por todos os furos, deverá ser o total de água que flui pela torneira.

Encontramos comportamento semelhante em circuitos formados por resistores em paralelo (figura 11), ou seja, a corrente total fornecida pela fonte de tensão, é a soma de todas as correntes elétricas que passam em cada resistor. Desta forma, quando aparelhos são ligados a uma fonte de tensão, cada um deles é submetido a uma mesma DDP, que é a DDP total fornecida por esta fonte. Esta é uma associação em paralelo.

Em uma fonte de tensão, ligamos três resistores em paralelo. Qual será a corrente em cada um deles (figura 11)?

Pode-se observar que  $i_{total}$  é dividida em três partes,  $i_1$ ,  $i_2$ , e  $i_3$ . Aplicando-se a lei de Ohm para cada resistor, temos:

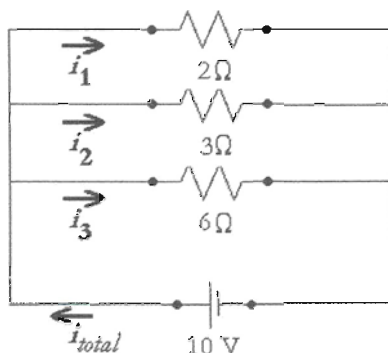


Figura 11 – Associação de resistores em paralelo.

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

$$i_1 = \frac{V}{R_1} \Rightarrow i_1 = \frac{10}{2} \Rightarrow i_1 = 5A$$

$$i_2 = \frac{V}{R_2} \Rightarrow i_2 = \frac{10}{3} \Rightarrow i_2 = 3,33A$$

$$i_3 = \frac{V}{R_3} \Rightarrow i_3 = \frac{10}{6} \Rightarrow i_3 = 1,67A$$

$$i_{total} = 5 + 3,33 + 1,67 \Rightarrow i_{total} = 10A$$

Concluimos então que, a corrente elétrica em cada um dos resistores, é inversamente proporcional ao valor da resistência de cada resistor. O valor equivalente a todos os resistores combinados, será dado por:

$$i_{total} = \frac{V}{R_{total}} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} \Rightarrow \boxed{\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} \quad 6$$

As instalações residenciais são elaboradas com ligações em paralelo entre tomadas, lâmpadas, e todos os aparelhos da residência. Isto garante que sempre em cada aparelho haverá um mesmo valor de DDP, independente de ter apenas uma lâmpada acesa, ou todos os aparelhos ligados ao mesmo tempo. Se o circuito residencial fosse ligado em série, o valor da DDP em cada aparelho dependeria da quantidade de aparelhos ligados, e do valor da resistência de cada um deles.

É importante chamar a atenção para o fato de que, quanto mais aparelhos elétricos estiverem ligados em paralelo, menor será a resistência equivalente, e, portanto, se a voltagem fornecida permanecer a mesma ocorrerá um aumento de corrente. Assim, quando ligamos, em nossa casa, muitos aparelhos elétricos numa mesma tomada, o aumento da corrente pode gerar o aquecimento e derretimento do fio da rede provocando um curto-circuito. Por outro lado, se ligarmos muitos aparelhos elétricos, ao mesmo tempo, mesmo que não seja na mesma tomada, a corrente total da residência irá aumentar, e em geral, no relógio de entrada da rede elétrica, temos um dispositivo de segurança, chamado fusível ou disjuntor, que queima ou desarma, respectivamente, quando a corrente ultrapassa 30 A, evitando, assim que a fiação interna da casa derreta provocando incêndio.

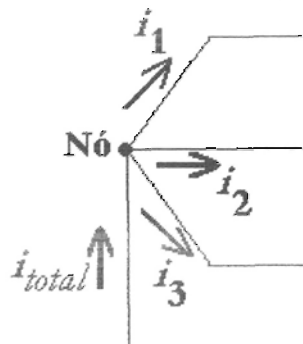
Para circuitos de corrente alternada, também vale a primeira lei de Ohm. Porém, no lugar da resistência elétrica, chamamos o impedimento à corrente elétrica de impedância. A impedância é, também, medida em Ohm, e é representada por Z:

$$\boxed{Z = \frac{V}{i}} \quad 7$$

Em circuitos puramente resistivos, a impedância total do circuito possui o mesmo valor que a resistência total deste circuito. Porém, alguns outros circuitos podem apresentar um comportamento diferente.

### 5.7.5.3 Leis de Kirchhoff: Nós e Malhas

Foi Kirchhoff que descobriu que se em um determinado ponto de um circuito elétrico, existirem derivações (nós), a corrente total neste ponto de origem será dada pela soma de todas as correntes das derivações. A figura 12 ilustra este fato:



seria:

$$i_{total} = i_1 + i_2 + i_3$$

8

Figura 12 - Nó em um determinado circuito.

Uma expressão matemática adequada a esta figura seria:

Uma segunda contribuição, também de Kirchhoff, nos permite a resolução de circuitos complicados, ligados em paralelo, com várias fontes de tensão. Na figura 13, cada parte ligada em paralelo é chamada de malha. Então temos as malhas A, B e C.

Para resolver este circuito, somamos a tensão, ou queda de tensão, de cada componente, respeitando-se as polaridades, em cada malha separadamente. Para isto, devemos percorrer o circuito em um determinado sentido, mantendo-se este sentido para todas as malhas. A soma de todas as tensões, ou quedas de tensões, em cada malha, deverá ser igual a zero.

Devemos observar também que, em princípio, arbitraremos os sentidos das correntes, não importando qual seja. Depois ao se resolver o sistema de equações, as correntes que estiverem com sinal negativo, serão aquelas que tiveram seus sentidos arbitrados de maneira errônea.

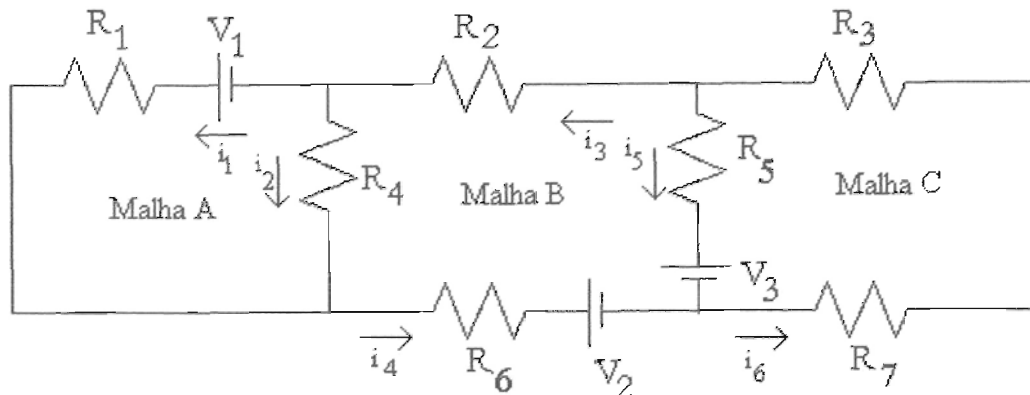


Figura 13 - Circuito composto por várias fontes de tensão e resistores, dispostos em 3 malhas A, B e C

Na figura 13 temos um circuito complicado. As correntes foram arbitradas, e agora começa a fases de resolução. Primeiramente, escrevemos a lei dos nós:

Malha A :  $i_3 = i_1 + i_2$

Malha B:  $i_4 = i_1 + i_2$

Malha B:  $i_7 = i_5 + i_3$

Malha C:  $i_6 = i_5 + i_4$

Estas equações podem ser reduzidas a:

$$i_3 = i_4 \quad 9$$

$$-i_3 = i_1 + i_2 \quad 10$$

$$i_6 = i_7 \quad 11$$

$$i_7 = i_4 + i_5 \quad 12$$

Agora, utilizando-se a lei das malhas, e percorrendo-as no sentido anti-horário, temos:

Malha A:

$$V_1 - R_1 \times i_1 + R_4 \times i_2 = 0 \quad 13$$

Malha B:

$$-R_2 \times i_3 - R_4 \times i_2 - R_6 \times i_4 - V_2 + V_3 + R_5 \times i_5 = 0 \quad 14$$

Malha C:

$$-R_3 \times i_7 - R_5 \times i_5 - V_3 - R_7 \times i_6 = 0 \quad 15$$


É necessário dizer que os sinais de soma e subtração, nas equações acima, obedecem a uma regra:

- Se a fonte estiver no mesmo sentido em que se percorre o circuito,  $V$  é positivo; Se estiver se opondo ao sentido em que se percorre o circuito,  $V$  é negativo.
- Se a corrente que passa pelo resistor for no sentido em que se percorre o circuito,  $V$  é negativa, pois é uma queda de tensão; Se a corrente estiver no sentido oposto ao que se percorre o circuito,  $V$  é positiva.

Substituindo-se os valores de resistores e fontes, temos um sistema com sete equações e sete incógnitas, possível de ser resolvido. Para as correntes cujos valores foram negativos, arbitramos os seus sentidos de maneira oposta à correta.

## 5.8 INSTRUMENTOS DE MEDIDAS ELÉTRICAS<sup>11</sup>


### 5.8.1 Amperímetro

O Amperímetro é um instrumento utilizado para medir intensidade de corrente elétrica, simbolizado por . É sempre ligado em série, no trecho do circuito a ser feita a medida. Deve possuir uma resistência interna muito pequena. Caso contrário, interferirá no circuito em prova, adicionando seu valor de resistência ao circuito.

Para a maioria dos cálculos realizados, considera-se a resistência interna do amperímetro como nula. Nestes casos, chama-se o instrumento de amperímetro ideal. Porém, em cálculos mais acurados, deve-se considerar o efeito desta pequena resistência interna.

Para medidas de intensidades de corrente muito pequenas, utiliza-se os submúltiplos do ampère:  $10^{-3}A$  ou mA, chamado de miliampère;  $10^{-6}A$  ou  $\mu A$ , chamado de microampère. Aparelhos calibrados nestas unidades são chamados respectivamente de miliamperímetro e microamperímetro.

### 5.8.2 Voltímetro

É o instrumento utilizado para medir DDP, simbolizado por . É ligado em paralelo com o trecho do circuito a ser analisado. Deve possuir uma resistência interna muito alta. Caso contrário, adiciona um valor de resistência em paralelo ao circuito, aumentando a corrente total do circuito.

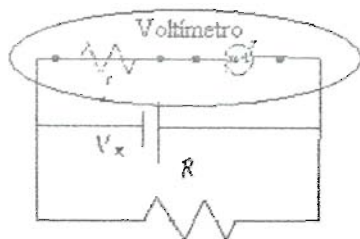


Figura 14 – Diagrama esquemático de um voltmímetro, suprimindo-se os dispositivos de proteção. O resistor interno do voltmímetro é  $r$ , e a DDP a ser medida é  $V_x$ .

Para a maioria das aplicações, considera-se a sua resistência interna como infinita. Assim, o instrumento é chamado de voltmímetro ideal. Para cálculos mais acurados, considera-se este valor de resistência interna.

Na verdade, o voltmímetro é composto por um resistor, de valor de resistência muito alto, e um miliamperímetro (ou microamperímetro), conforme a figura 14. Utilizando-se a lei de Ohm para se determinar  $V_x$  (figura 14), temos:  $V_x = r \cdot i$ . Basta multiplicar o valor da corrente elétrica medida, pelo valor da resistência interna  $r$ .

Um valor típico para a resistência interna de um voltmímetro é de  $10 \text{ M}\Omega$ , ou seja,  $10^6 \Omega$ . Para  $10 \text{ V}$ , teremos:

$$i = \frac{V_x}{r} \Rightarrow i = \frac{10}{10^6} \Rightarrow i = 10^{-5} A \text{ ou } i = 100 \mu A$$
. Este valor de intensidade de corrente é muito comum neste tipo de aparelho, o que justifica o uso de um miliamperímetro no lugar de um amperímetro. Quanto menor for o valor da intensidade de corrente no

<sup>11</sup> Esta seção refere-se a instrumentos analógicos. Os instrumentos digitais possuem um funcionamento bem diferente, utilizando uma eletrônica complicada.

voltímetro, ou seja, quanto maior a resistência interna do voltímetro, melhor será o instrumento. Ele pouco interferirá na medida realizada.

Os fabricantes de voltímetros utilizam uma grandeza, chamada *Sensibilidade*, para caracterizar a resistência interna de um voltímetro. É dada pelo valor da resistência interna, dividido pelo valor máximo de DDP que o aparelho é capaz de medir:

$$S = \frac{r}{V} \quad 16$$

A unidade de medida é Ohm por Volt ( $\Omega/V$ ). Um bom Voltímetro possui uma sensibilidade da ordem de  $10 \text{ M}\Omega/V$ .

### 5.8.3 Ohmímetro

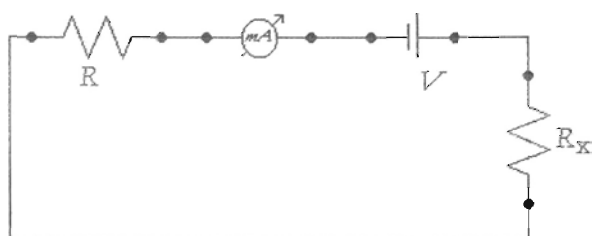


Figura 15 – Diagrama esquemático de um ohmímetro.  $R_x$  é o resistor cuja resistência será determinada.

O Ohmímetro é um instrumento utilizado para medir resistência elétrica. Consiste basicamente em uma pilha, um resistor e um miliamperímetro (figura 15).

Os valores de  $R$  e  $V$  no circuito são conhecidos previamente. Aplicando-se a lei de Ohm, temos:

$$V = (R + R_x) \times i \Rightarrow i = \frac{V}{R + R_x}. \text{ Logo,}$$

$R_x = \frac{V}{i} - R$ . Quanto maior for a intensidade da corrente medida pelo miliamperímetro, menor será o valor da resistência  $R_x$ .

### 5.8.4 A ponte de Wheatstone

Quando dois resistores estão em série, ligados a uma fonte de tensão, cada resistor provocará uma queda de tensão, que será proporcional a valor de resistência elétrica do respectivo resistor.

No circuito da figura 16, a única forma de não haver registro de intensidade de corrente pelo microamperímetro, é admitindo-se que não há DDP entre os pontos A e B.

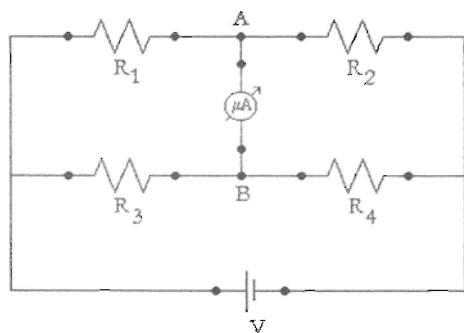


Figura 16 – Esquema para se equacionar o circuito da Ponte de Wheatstone

Para que isto aconteça, a queda de tensão em  $R_1$  deve ser a mesma que em  $R_3$ , e conseqüentemente, a queda de tensão em  $R_2$  deve ser idêntica a em  $R_4$ . Desta maneira, existe uma relação de proporcionalidade:

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4} \quad 17$$

Os resistores  $R_1$  e  $R_2$  podem ser substituídos por um fio resistivo, conforme a figura 17. Este fio resistivo pode ser conectado a um contato elétrico móvel no ponto A, ficando dividido em duas partes.

As partes do fio resistivo terão comprimentos  $l_1$  e  $l_2$ , e como já foi dito, substituem os resistores  $R_1$  e  $R_2$ , respectivamente.

Pela segunda lei de Ohm, o valor de  $R_1$  é proporcional a  $l_1$ , e o de  $R_2$  a  $l_2$ . Logo:

$$\frac{l_1}{R_3} = \frac{l_2}{R_4} \quad 18$$

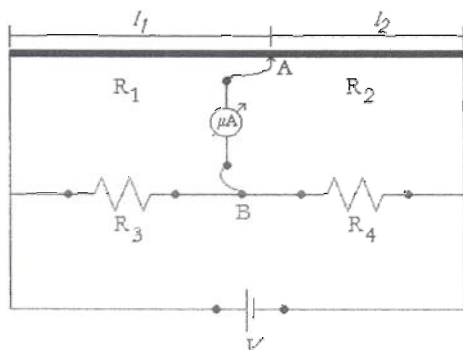


Figura 17 – Ponte de Wheatstone

A figura 17 representa um dispositivo conhecido como a ponte de Wheatstone. Ele serve para se determinar com precisão o valor de resistência de um resistor qualquer,  $R_4$ . Para isto, conhecendo-se antecipadamente o valor de  $R_3$ , movemos o cursor até que tenhamos um registro de corrente elétrica igual a zero, no micro-amperímetro e fazendo a leitura dos valores de  $l_1$  e  $l_2$ , obteremos  $R_4$ .

### 5.8.5 Osciloscópio

É um instrumento de medida de alta fidelidade. O fato de possuir uma alta impedância interna faz com que a sua utilização não interfira no funcionamento do circuito em estudo, mesmo naqueles circuitos mais sensíveis.

Esse aparelho, em princípio, serve para se visualizar num monitor a variação temporal do valor da tensão elétrica, através de um gráfico de tensão em função do tempo, semelhante ao apresentado na figura 6. Porém existem aplicações específicas em eletrônica, como, por exemplo, a soma de duas tensões alternadas, e outras que podem ser muito complicadas para o presente trabalho.

O preço de um osciloscópio é muito alto, porém o *software* utilizado, neste trabalho, nos proporciona um osciloscópio virtual satisfatório (para a sua utilização, veja anexo I).

### 5.8.6 Multímetro Comercial

Existe a venda, no mercado, um aparelho chamado Multímetro. Este aparelho possui várias funções, que dependem de seu modelo e fabricação. As funções mais comuns são:

- Função Voltímetro;
- Função Amperímetro;
- Função Ohmímetro.



Um modelo de baixo custo é mostrado na figura 18. O uso deste aparelho, assim como qualquer outro modelo, consiste basicamente em se posicionar o seletor de funções na posição adequada, e então se efetuar a medição desejada. Existe uma grande variedade de aparelhos como este no mercado. Alguns deles possuem display digital, e até mesmo, formato de alicate. O uso específico de um ou de outro, dependerá das instruções constantes no manual de instruções, fornecido pelo fabricante.

OBS: Nos multímetros temos leituras para CC e CA. Na escala de tensão em regime CA, a leitura indica a voltagem eficaz, ou seja, o valor médio do módulo do valor da tensão, ou valor médio quadrático (RMS, em inglês). Este valor eficaz equivale à tensão CC que acarretaria uma mesma intensidade de corrente em um circuito resistivo, se ele fosse submetido àquela tensão CA. Para uma variação senoidal, como na figura 6, este valor eficaz se relaciona com o valor máximo, da corrente alternada, da seguinte

$$\text{maneira: } V_{ef} = \frac{V_{MAX}}{\sqrt{2}} .$$



Figura 18 - Multímetro analógico modelo IK-180A, fabricado pela Icel®. Imagem obtida com um scanner.

## 5.9 FONTE DE TENSÃO OU GERADOR

É um dispositivo que fornece energia elétrica a um circuito, criando uma DDP entre dois pontos deste circuito. Idealmente, uma fonte pode fornecer tanta energia quanto solicitada pelo circuito. Porém, a capacidade de fornecimento de energia é limitada, resultado da própria construção da fonte. Esta limitação se manifesta sob a forma de resistência elétrica. Conseqüentemente, toda fonte de tensão sofre o efeito de uma resistência elétrica interna.

Em algumas aplicações, essa resistência interna não interfere significativamente no funcionamento do circuito, podendo até ser desconsiderada. Neste caso, a fonte é dita ideal.

Em muitas outras aplicações, entretanto, a resistência interna de uma fonte pode influenciar um circuito de maneira significativa. Esta resistência interna pode ser representada por um resistor ligado em série à fonte.

Por exemplo, se no circuito da figura 8 fosse considerada a resistência interna daquela fonte, e se ela correspondesse a um valor de digamos  $1 \Omega$  (figura 19), Isto resultaria em:

Da primeira Lei de Ohm, aplicada ao circuito, tem-se:

$$V = (R + r) \times I \Rightarrow 1,5 = (10 + 1) \times I \Rightarrow I = 0,14 A$$

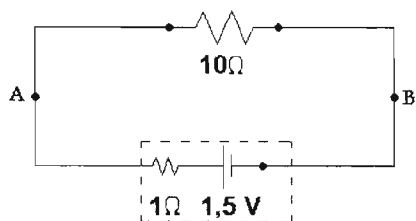


Figura 19 - Representação esquemática de um resistor ligado a uma fonte de tensão, que possui uma resistência interna.

No circuito da figura 8, a corrente era de 0,15A, e na figura 19 é de 0,14A. Este efeito indica que o resistor de  $10\Omega$  está submetido a uma DDP menor do que 1,5V. Esta DDP menor está aplicada entre os pontos A e B do circuito representado pela figura 19. Pode ser calculada da seguinte forma:  $V_{AB} = R \times i \Rightarrow V_{AB} = 10 \times 0,14 \Rightarrow V_{AB} = 1,4V$ . Apesar de a fonte fornecer 1,5V, o efeito de sua resistência interna ocasiona uma queda de tensão, de modo que, entre os pontos A e B, existe uma DDP de apenas 1,4V.

O valor de 1,5V está associado à força eletromotriz (f.e.m), representada por  $\varepsilon$ . Ela designa a potencialidade que uma fonte possui para fornecer energia a um circuito. O valor de 1,4 V é o valor da DDP entre os pontos A e B, representada por  $V_{AB}$ . Por efeito da resistência elétrica interna a fonte de tensão, quanto maior for a intensidade de corrente no circuito, menor será o valor de  $V_{AB}$ . Como  $\varepsilon = (R \times i) + (r \times i)$ , e  $V_{AB} = R \times i$ , escreve-se a seguinte expressão:

$$V_{AB} = \varepsilon - (r \times i)$$

19

Onde  $V_{AB}$  é efetivamente a tensão que a fonte está fornecendo ao circuito.

Os primeiros geradores foram construídos com base na teoria eletrostática. Dois corpos eletrizados possuem uma força de atração entre si. Podem também atrair ou repelir elétrons, podendo desta forma gerar uma corrente elétrica. Mais tarde, Volta inventou a pilha, que se mostrou muito mais prática. Até hoje as pilhas modernas utilizam o mesmo princípio de funcionamento, do que a pilha de Volta. As baterias automotivas são na verdade uma seqüência de pilhas, ligadas em série.

Um fato que pode ser percebido atualmente, é que existem vários tipos de pilhas: Pequenas (AA), Médias (B), Grandes (D), Palito (AAA), pilha utilizadas em relógios, agendas e calculadoras (normalmente de 3,0V), etc. Qual é a diferença entre uma e outra?

A diferença mais perceptível é o valor de tensão. Mais a principal diferença consiste no valor de resistência interna. Podemos utilizar como regra o seguinte: quanto maior for a pilha, menor será a sua resistência interna. A pilha poderá, então, fornecer a um circuito uma intensidade de corrente maior.

É válido lembrar que quando uma pilha fica "gasta", é porque o valor de sua resistência interna se tornou muito alto. A pilha, então, não consegue fornecer corrente suficiente para que o circuito funcione adequadamente.

Por que alguns aparelhos utilizam mais de uma pilha?

Existem vários motivos. Por exemplo, algumas agendas utilizam duas pilhas em paralelo, para que se possa manter o circuito com energia na ocasião da troca de baterias. Mas duas características são as principais: Quando se ligam pilhas em série, as tensões das pilhas se somam; quando se liga em paralelo, as correntes das pilhas se somam.

No início do século XX, Edison pôs em funcionamento o primeiro serviço elétrico, em Nova York, utilizando um gerador de corrente contínua, cujo funcionamento era baseado em propriedades magnéticas (dínamo).

Logo depois, George Westinghouse inventou um gerador CA. A corrente alternada possui algumas vantagens em relação à contínua, como a facilidade de se transformar o valor de tensão elétrica em um outro valor diferente, fato que a torna mais operacional do que a contínua.

Atualmente, ainda, se utiliza geradores de correntes alternadas. Na maioria das vezes, o gerador de energia elétrica se localiza a quilômetros de distância de nossas casas. Para que a energia chegue até o local de consumo, são construídas linhas de transmissão. Estas linhas podem atravessar várias cidades.

Parte da energia transmitida é perdida, principalmente por efeito Joule, nas linhas de transmissão. Para se atenuar estas perdas, é muito melhor que se utilize alta tensão nas linhas de transmissão (milhares de volts). Assim, uma corrente elétrica menor poderá ser utilizada, reduzindo-se o efeito Joule.

Para que se transforme a alta tensão, produzida nas usinas elétricas, em valores de tensão mais adequados para o consumo, se constrói próximo ao local de consumo, as subestações elétricas.

O que é uma fase elétrica?

O valor da tensão elétrica varia de acordo com uma senóide. As companhias elétricas, em geral, fornecem dois cabos elétricos para uma instalação monofásica. Um dos cabos é chamado de fase, possui um potencial elétrico que varia de acordo com esta senóide. Muitas vezes o valor deste potencial varia, aproximadamente, de +180 V a -180 V, no Rio de Janeiro (valor eficaz de 127V). O outro cabo, na verdade, é um fio terra. Desta forma, haverá uma DDP, entre estes dois cabos.

Em algumas instalações, as que são chamadas de bifásicas, existem dois cabos fase. Ambos possuem potencial senoidal, porém eles estão defasados de alguns graus, um em relação ao outro (daí o nome fase). Esta defasagem permite que entre eles exista uma DDP de, normalmente, 220V, e de 127V cada um em relação ao fio terra.

## 5.10 RECEPTORES

Qualquer aparelho, que a partir da energia elétrica, efetuar ações que resultem na realização de Trabalho, é chamado de Receptor Elétrico. Estão excluídos, desta definição, os aparelhos cujo funcionamento é dado somente pela dissipação de energia na forma de calor (efeito Joule), como aquecedores elétricos, chuveiros elétricos, ferro de passar roupas, etc.

De uma maneira quantitativa, podemos considerar que toda a energia fornecida por uma fonte de tensão a um receptor é dissipada na forma de calor, ou é utilizada na realização de trabalho, de acordo com a função destinada para este receptor. Neste caso, a DDP existente nos terminais de um receptor (V), será dada pela queda de tensão devida ao efeito Joule ( $r \times i$ ), e será dada pela queda de tensão devida ao trabalho realizado (a ddp útil) pelo receptor. Esta segunda é chamada de força contra-eletromotriz (f.c.e.m), podendo ser simbolizada por  $\varepsilon_c$ . A equação dos receptores é dada por:

$$V = \varepsilon_c + r \times i$$

20

A f.c.e.m atua em um circuito como uma opositora à passagem de corrente. Ela acarreta o mesmo efeito que uma fonte de tensão teria em um circuito, se fosse ligada com a polaridade oposta a de outra fonte.

Uma forma comum de se perceber este efeito é quando um motor elétrico potente de um aparelho, como o de uma geladeira, é acionado. Enquanto a rotação do motor é relativamente baixa, a f.c.e.m é pequena, ficando o motor sujeito somente a sua resistência interna.

Conseqüentemente, a intensidade da corrente elétrica que atravessa o motor é muito alta, e isto é percebido pela diminuição momentânea na luminosidade de alguma lâmpada da casa.

Quando o motor já atingiu a sua rotação máxima, a f.c.e.m é relativamente alta, ocasionando uma diminuição na intensidade de corrente que atravessa o motor, e a mesma lâmpada citada anteriormente, volta a sua luminosidade total.

## 5.11 POTÊNCIA ELÉTRICA

Para se realizar um determinado trabalho, é necessária uma certa quantidade de energia. Uma mesma quantidade de energia pode ser utilizada, para se realizar um trabalho em um espaço de tempo maior ou menor. Qual será então a diferença entre uma e outra maneira de se realizar trabalho?

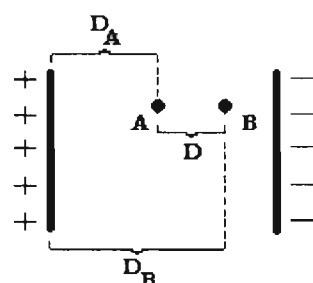


Figura 20 – Dois pontos A e B entre os quais existe uma DDP.

A Potência Elétrica contém esta informação, de forma quantitativa. Pode ser definida como o trabalho realizado, dividido pelo tempo que levou para realizar este trabalho. De forma algébrica:

$$P = \frac{W}{\Delta t} \quad 21$$

A unidade de medida, no Sistema Internacional, é o Joule por segundo. Esta unidade foi batizada de Watt, em homenagem ao inventor da máquina a vapor James Watt, e representada por W. Se a potência possuir um valor numérico relativamente alto, o trabalho será realizado mais rapidamente. Se for baixo, mais lentamente. Então, a potencia mede a rapidez com que se realiza um determinado trabalho.

O trabalho necessário para se deslocar uma partícula carregada com carga  $Q$ , de um ponto A até um Ponto B (figura 20), sob a ação de um campo elétrico uniforme  $E$ , é dado pela equação  $W_{AB} = F \times D$ . A força elétrica pode ser definida como:  $F = E \times Q$ . Então, o trabalho pode ser escrito como:  $W_{AB} = E \times Q \times D$ . O potencial elétrico pode ser definido como:  $V = E \times D$ . Então, a diferença de potencial entre os pontos A e B, será:  $V_{AB} = (E \times D_B) - (E \times D_A) \Rightarrow V_{AB} = E \times (D_B - D_A) \Rightarrow V_{AB} = E \times D$ . O trabalho pode ser escrito então como:

$$W = \frac{V_{AB}}{D} \times Q \times D \Rightarrow W_{AB} = V_{AB} \times Q \quad 22$$

Se agora uma certa quantidade de cargas elétricas  $\Delta q$ , se deslocarem da mesma maneira que  $Q$ , durante um intervalo de tempo  $\Delta t$ , a potência elétrica será dada por:

$$P = \frac{V_{AB} \times \Delta q}{\Delta t}, \text{ e como } i = \frac{\Delta q}{\Delta t}, \text{ a potência fica } \boxed{P = V_{AB} \times i}. \quad 23$$

### 5.11.1 Potência Dissipada

Em um circuito resistivo, tanto a queda de tensão  $V$ , quanto à intensidade de corrente  $i$ , estão relacionadas com o valor da resistência  $R$  do resistor, como foi comentado anteriormente. O termo queda de tensão é bem adequado para designar este efeito, pois se refere ao efeito que é causado pelo consumo de energia, por parte do circuito resistivo. Este consumo é a manifestação explícita do efeito Joule, também comentado anteriormente: - A Energia Elétrica é transformada em energia térmica.

A potência dissipada por um resistor, pode ser calculada pela equação anterior, na qual  $V_{AB}$  será a DDP nos extremos do resistor, ou seja, a queda de tensão  $V$ :

$$\boxed{P = V \times i} \quad 24$$

### 5.11.2 Rendimento Elétrico

Um trabalhador ao receber salário não pode gastá-lo somente com suas despesas extra profissionais. Ele deve reservar uma parte para a sua locomoção até o local de trabalho, outra parte para vestuário no local de trabalho, outra parte para se alimentar fora de casa, nos dias em que trabalha, etc, durante todo mês. Nem tudo que ele recebe é convertido em benefício direto. Uma parte é necessariamente gasta para prover meios para que ele possa se manter em seu local de trabalho, e fazendo jus a um próximo salário.

Situação semelhante ocorre na física. Quando empregamos uma certa quantidade de energia para realizar um determinado trabalho (grandeza física), não temos controle total da situação. Uma parte dela sempre realiza um trabalho para o qual não estávamos destinando esta energia.

Em outras palavras, quando se realiza trabalho, uma parte da energia é sempre perdida. Há casos em que esta quantidade é muito pequena, e podendo ser desprezada. Quando ela não é desprezível, podemos calcular o quanto de energia foi dissipada durante a realização deste trabalho.

No caso de geradores e receptores, podemos definir uma grandeza que relaciona a potência (trabalho por unidade de tempo) fornecida a um sistema, com a potência total gerada:

$$\eta = \frac{P_{liquida}}{P_{produzida}}$$

$\eta$  é chamado de rendimento de um gerador, que possui uma potência  $P_{produzida}$ , Mas só consegue fornecer ao circuito uma potencia  $P_{liquida}$ , devido a ação de sua própria resistência interna. Em termos de  $V$  (DDP) e  $\mathcal{E}$  (f.e.m), temos:

$$\eta = \frac{V}{\varepsilon}$$

25

O mesmo raciocínio deve ser empregado para os receptores. Daí então o rendimento é dado pela  $\varepsilon_c$  (f.c.e.m), e por  $V$  (DDP) fornecida ao receptor:

$$\eta = \frac{\varepsilon_c}{V}$$

26

O rendimento sempre está entre 0 e 1. Nos casos em que a perda de energia é mínima, o rendimento é bem próximo de 1.

### 5.11.3 Cálculo do Gasto de Energia Elétrica em uma Residência

Como já foi mencionada anteriormente, a unidade de medida de potência elétrica utilizada pelo Sistema Internacional é o Watt (W). Também foi mencionado que potência é o trabalho realizado (medido em Joule) por um determinado período de tempo (1 segundo).

Pode ser admitido que toda energia fornecida a um determinado sistema foi utilizada na realização de trabalho. Desta forma, é possível de se determinar a quantidade total de energia utilizada (E), a partir da potência total dissipada pelo sistema. Para isto, basta que se multiplique o valor da potência total dissipada pelo tempo total:  $E = P \times \Delta t$ .

Se forem utilizadas unidades do Sistema Internacional, o tempo será dado em segundos, a potência em Watt, e a energia em Joule. Porém, quando se calcula a quantidade total de energia elétrica consumida em uma residência, o tempo é medido em horas, a potência em kilowatt, e a energia em kilowatt-hora (kWh). As companhias de energia elétrica cobram ao consumidor o valor equivalente a quantidade de kWh de energia elétrica consumida.

Por exemplo, se um aparelho dissipa uma potência equivalente a 100W, ficando ligado 8 h por dia, durante 30 dias, qual será a quantidade total de kWh de energia elétrica, consumida neste período? Se a companhia elétrica cobra R\$0,31 por cada kWh, quantos reais serão cobrados pelo uso deste aparelho?

Considerando a equação  $E = P \times \Delta t$ , basta que se faça uma mudança no sistema de unidades:

$$P = 100W = 0,1kW$$

$$1kWh \Rightarrow R\$0,31$$

$$\Delta t = 8h \times 30dias = 240h$$

$$24kWh \Rightarrow 24kWh \times 0,31reais = R\$7,44$$

$$E = P \times \Delta t = 0,1 \times 240$$

$$\boxed{R\$7,44}$$

$$\boxed{E = 24kWh}$$

Efetuada este mesmo cálculo para cada aparelho utilizado durante um mês em uma residência, se determina o consumo mensal total de energia elétrica desta residência.<sup>12</sup>

<sup>12</sup> Deve-se ainda considerar a energia dissipada por efeito Joule na instalação elétrica.

## 5.12 CAPACITORES

A eletrização por indução ocorre quando um corpo eletrizado A, se aproxima de um corpo não eletrizado B, sem tocá-lo. Então, o corpo B fica eletrizado também. Quando os corpos forem separados, voltam ao seu estado original.

Porém, se antes do afastamento dos corpos, o corpo B for tocado por um fio ligado a terra, que passaremos a denominar fio terra, após o afastamento B estará eletrizado, com valor de carga de sinal contrário ao do corpo A. Neste último caso, os corpos servirão como armazenadores de cargas elétricas (figura 21).

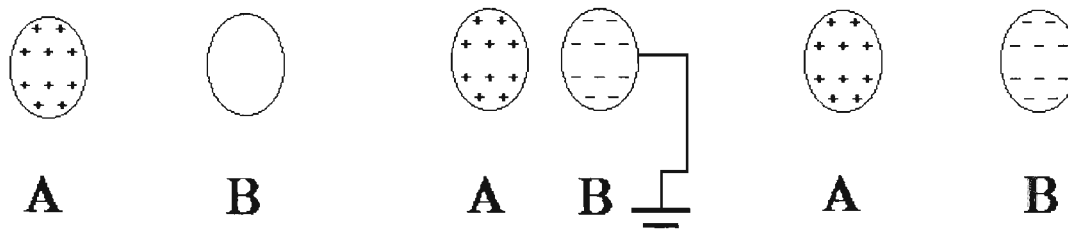


Figura 21 – O corpo A inicialmente carregado, eletriza o corpo B por indução. O corpo B recebe elétrons de um fio terra. Ao se afastar os corpos novamente, B se torna eletrizado de maneira permanente.

Se agora os corpos A e B inicialmente estiverem eletricamente neutros, e suficientemente próximos, ao serem ligados a uma fonte de tensão, por fios condutores, um em cada eletrodo, ficarão pouco a pouco eletrizados. Haverá corrente elétrica nos fios condutores utilizados, até que os corpos atinjam as suas capacidades máximas de armazenamento de cargas. Ao final, ficarão eletrizados, com cargas contrárias a polaridade da fonte (figura 21).

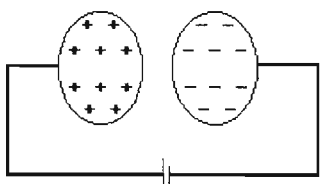
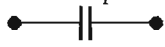


Figura 22 – Os corpos A e B ligados a uma fonte de tensão.

Ao se desconectar a fonte, os corpos A e B permanecerão carregados, armazenando as cargas elétricas que foram fornecidas pela fonte de tensão. Haverá ainda uma DDP entre os corpos, de mesmo valor que a voltagem da fonte.

Os acumuladores elétricos, também conhecidos como condensadores ou capacitores, são dispositivos que funcionam de maneira semelhante à descrição feita acima. Para se obter melhores resultados, os capacitores utilizam, no lugar dos corpos A e B da figura 22, corpos feitos em material condutor.

Estes corpos também possuem uma simetria bem definida. Comumente, eles possuem uma simetria plana, como placas planas paralelas (figura 23), muito próximas uma da outra. O símbolo utilizado para capacitor lembra este fato: . Porém, o formato dependerá somente de fatores relacionados ao projeto do capacitor, não sendo obrigatória deste ou daquele formato.

Como já foi dito, o capacitor será carregado de forma que entre as suas placa haja uma DDP igual a da fonte utilizada para carregá-lo. A quantidade de cargas elétricas acumuladas, por sua vez, dependerá diretamente desta DDP entre as placas, ou seja:  $Q \propto V$ .

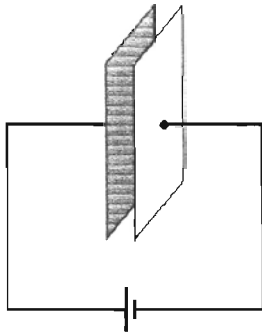


Figura 23 – Representação de um capacitor de placas planas, paralelas, ligado a uma fonte de tensão.

Dependerá também de outros fatores, como a distância que separa as placas do capacitor, o tamanho destas placas, e até mesmo o material existente entre elas. Estes outros fatores são intrínsecos de cada capacitor, e dependem de seu projeto e construção. Eles determinam se um capacitor pode armazenar muita ou pouca carga elétrica, para uma certa DDP entre suas placas.

A capacidade que um capacitor possui em submeter suas placas a uma DDP, quando armazena cargas elétricas, é chamada de Capacitância. Ela determina quantos Coulomb um capacitor armazena, para cada Volt que se aplica entre suas placas.

A capacitância, no sistema internacional, é medida em Coulomb por Volt (C/V). Esta unidade foi batizada como Faraday, em homenagem a Michael Faraday, famoso físico inglês.

A relação matemática entre carga total armazenada, capacitância e DDP, é a seguinte:

$$Q = C \times V \text{ ou } C = \frac{Q}{V} \quad 27$$

### 5.12.1 Associação de Capacitores em Série

Um circuito capacitivo pode consistir de vários capacitores, ligados em série, conforme a figura 24. Este circuito pode ser substituído por um outro que acumule a mesma quantidade de cargas, para uma mesma DDP, porém, composto por um único capacitor. O valor da capacitância deste único capacitor é chamado de capacitância equivalente.

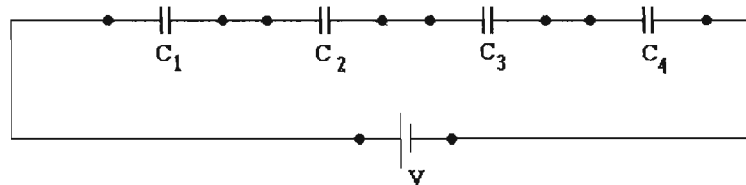


Figura 24 – Esquema de uma associação de capacitores em série.

Cada elétron que vai até a placa do lado direito de  $C_4$ , induz uma eletrização na placa do lado esquerdo de  $C_4$ . Esta por sua vez, induz uma eletrização na placa do lado direito de  $C_3$ , que induz eletrização na placa do lado esquerdo de  $C_3$ , e assim, sucessivamente, todos os capacitores serão carregados, com uma mesma carga  $Q$ . As DDP em cada capacitor, somadas, deverão ser iguais a DDP total fornecida pela fonte:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 \Rightarrow \frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} + \frac{Q}{C_4} \text{ . Como as cargas são iguais:}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4}$$

28



### 5.12.2 Associação de capacitores em Paralelo

Para o caso de um circuito capacitivo em paralelo (figura 25), o capacitor equivalente será igual à soma das capacitâncias de cada capacitor. Isto pode ser justificado: Como estão em paralelo, as DDP em cada capacitor são iguais; a carga total no circuito será a soma das cargas em cada capacitor. Logo:  $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$ , ou,  $C \times V = C_1 \times V + C_2 \times V + C_3 \times V + C_4 \times V$ . Simplificando,

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4$$

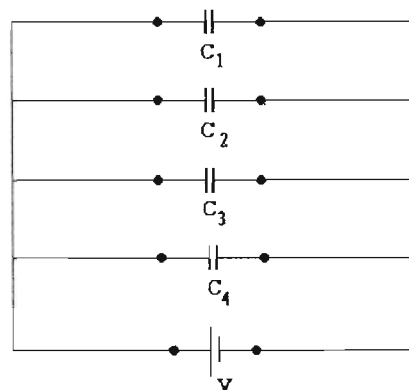


Figura 25 – Esquema da associação de capacitores em paralelo.

29

### 5.12.3 Circuito RC em regime CA

São circuitos compostos por capacitores e resistores, submetidos a uma fonte de corrente alternada. A impedância de um circuito simples, representado na figura 26, dependerá não só da capacitância do capacitor e da resistência elétrica, mas também da frequência ( $f$ ) com que a fonte muda a sua polaridade.

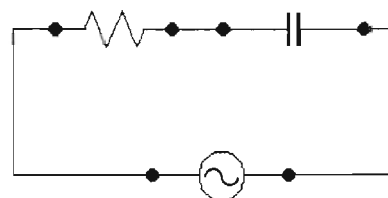


Figura 26 - Circuito RC em regime CA

O impedimento a corrente elétrica devido ao capacitor, é chamado de reatância capacitiva. A reatância capacitiva junto com a resistência elétrica formam a impedância total do circuito.

A reatância capacitiva  $X_C$  é dada por:  $X_C = \frac{1}{2\pi \times f \times C}$ <sup>13</sup>. Quanto maior for a frequência, menor será a reatância capacitiva, e menor será a impedância. A impedância total será dada por  $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$ .

É interessante notar que em um circuito CC, semelhante ao da figura 23 ou da figura 24, um capacitor não permitiria a passagem de corrente elétrica. Após se carregar totalmente, a DDP entre seus terminais se oporia a DDP da fonte de tensão, de tal forma que anularia o efeito desta fonte. Já em um circuito CA, o capacitor funciona em constante carga e descarga, e enquanto isto ocorre, existe uma corrente alternada circulando no circuito.

<sup>13</sup> Esta equação exige uma matemática mais avançada. Logo, nos limitaremos apenas a apresentar o valor teórico de  $X_C$ .

## 5.13 SEMICONDUTORES: AS JUNÇÕES P-N

### 5.13.1 Base das junções P-N

A eletrônica moderna tem seus alicerces construídos sobre os semicondutores. São materiais com características singulares. A começar por sua estrutura molecular cristalina, baseada em ligações covalentes, exemplificada na figura 27. Nesta figura, estão representados alguns átomos da rede cristalina do silício.

Cada átomo de silício possui 4 elétrons na sua última camada (tetra valente). Porém, cada átomo deve possuir 8 elétrons na última camada, para que possa ser estável (teoria dos octetos), como aprendido em química inorgânica. Para satisfazer a esta condição, cada átomo se liga a 4 outros átomos, compartilhando 2 elétrons com cada átomo, ficando assim com um total de 8 elétrons compartilhados, adquirindo então estabilidade.

Em um corpo feito em silício puro, não haverá elétrons disponíveis, pois todos eles estarão envolvidos em alguma ligação covalente. Mas se alguns átomos de silício forem substituídos por átomos de algum outro elemento, que não seja tetravalente, como por exemplo, o boro trivalente, haverá ligações covalentes pendentes, necessitando de elétrons. Dizemos então, que o silício foi dopado com boro. Cada ligação que não foi feita por falta de elétrons, pode ser chamada de buraco. Como cada buraco representa falta de um elétron, eles são considerados com carga positiva. Diz-se então que estes materiais são semicondutores do tipo positivo, ou simplesmente, do tipo P (figura 28).

Da mesma maneira, se a substância dopante for pentavalente, como o Arsênio, haverá elétrons em quantidade superior a necessária para as ligações covalentes. Por terem estes elétrons livres em grande quantidade, estes materiais são ditos semicondutores do tipo negativo, ou simplesmente, do tipo N (figura 29).

Combinando-se semicondutores do tipo P com os do tipo N, temos as junções P-N. Elas são a base para a construção de componentes eletrônicos como diodos, transistores, e circuitos integrados.

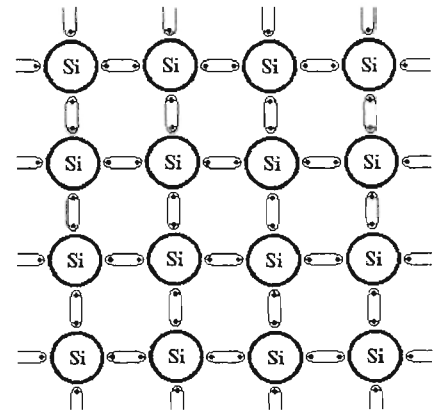


Figura 27 - Modelo bi dimensional da estrutura molecular do silício. Cada ponto indica um elétron compartilhado

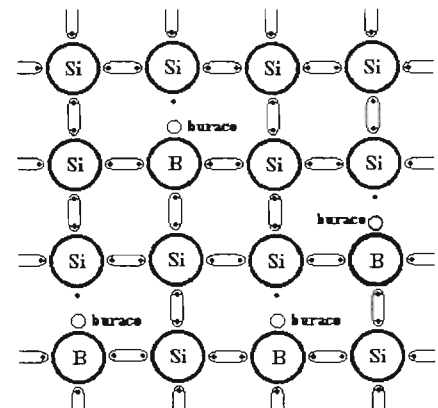


Figura 28 - Modelo bi dimensional da estrutura cristalina de um semiconductor do tipo P. A substância dopante é o boro.

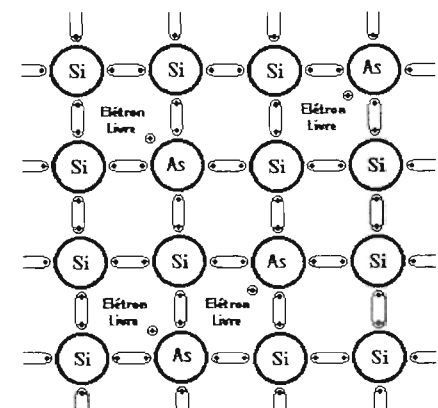



Figura 29 - Modelo bi dimensional de um semiconductor do tipo N. A substância dopante é o arsênio.

### 5.13.2 Diodos

São dispositivos que possuem, dentre outras funções, a de permitir a circulação de corrente elétrica em um único sentido. Na maioria das vezes são compostos por uma única junção P-N (figura 30). O sentido da corrente elétrica é representado pelo símbolo do Diodo . Neste caso, o diodo conduz uma corrente elétrica da esquerda para a direita.

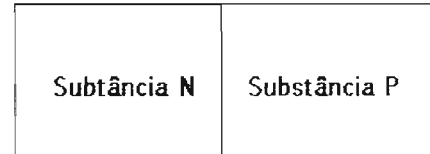


Figura 30 - Representação de uma junção P-N

Este dispositivo pode ser utilizado na conversão CA/CC, chamada de retificação de corrente elétrica. Também pode ser utilizado na proteção de equipamentos que só devem ser submetidos a uma DDP seguindo uma certa polaridade. Se esta polaridade for invertida, o diodo não deixa o circuito exposto.

### 5.13.3 Transistores

Como foi mencionado na seção 4, transistor é uma palavra que vem do inglês *transfer resistor*, que significa resistor de transferência. Este nome em si sugere a função deste componente eletrônico: controle de corrente elétrica.

Os transistores vieram a substituir as válvulas eletrônicas, em quase todos os locais em que elas eram aplicadas. Basicamente, um valor de corrente elétrica pode ser introduzido em um dos terminais de um transistor, sendo "copiado" e aumentado várias vezes em outro terminal do transistor.

O material semicondutor que compõe os transistores é semelhante àqueles que compõem os diodos. De fato, os transistores podem ser considerados como dois diodos fabricados em uma mesma pastilha semicondutora (figura 31). Porém, o seu comportamento é bem diferente ao de um diodo.

Serão abordados, aqui, dois tipos de transistores: Os NPN e os PNP. São assim chamados porque podem ser divididos em três partes básicas, dependendo de seu tipo: os NPN, que possuem duas partes compostas por material N, e uma parte por material P; os PNP, que possuem duas partes compostas por material P, e uma parte por material N. Em ambos, o material que fica nos extremos deve ser de mesma natureza (P ou N).

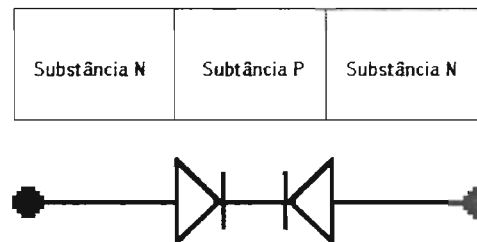


Figura 31 - Composição básica de um transistor do tipo NPN

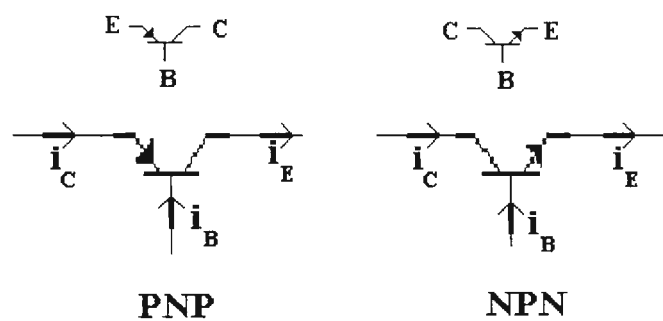


Figura 32 - Simbologia utilizada por transistores.

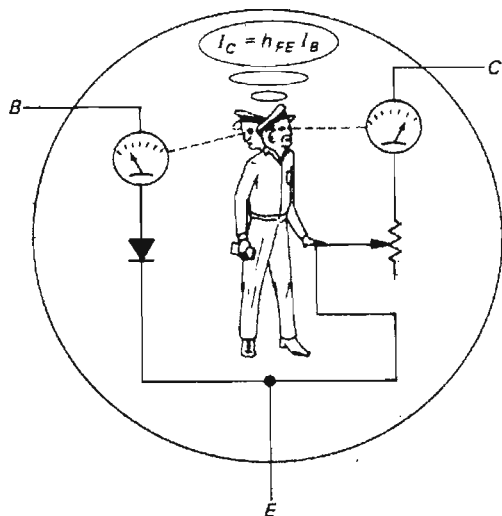


Figura 33 - "Transistor Man", o homem transistor. Ele observa o sinal que incide na base, e altera a impedância do transistor, com a sua mão esquerda, conforme aquilo que observou. [Horowitz, 1986].

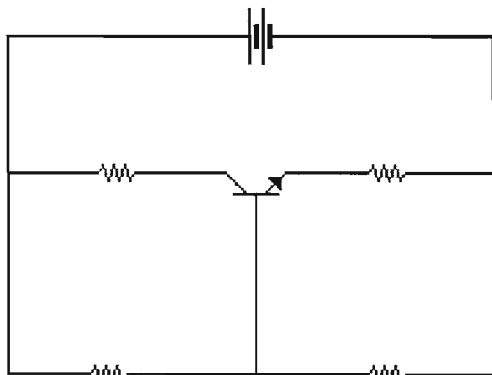


Figura 34 - O amplificador universal, também chamado de: transistor polarizado na configuração emissor comum.

amplificação do sinal, etc, são construídos os mais diversos transistores, privilegiando umas características em detrimento de outras, conforme a sua aplicação.

Não cabe aqui um estudo completo dos transistores. Nos limitaremos, apenas, apresentar alguns resultados prontos. Principalmente, o circuito de polarização universal, apresentado na figura 34.

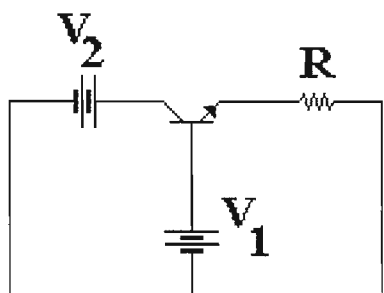


Figura 35 - Transistor como fonte de corrente

A simbologia utilizada em um transistor está representada na figura 32. No terminal chamado base, é introduzida a corrente que se deseja ampliar. Esta corrente de base ( $i_B$ ) também é chamada de sinal.

No terminal chamado coletor se introduz a corrente ( $i_C$ ), que vai ser "moldada" no formato do sinal. E no terminal emissor, a corrente ampliada ( $i_E$ ) é emitida, já com as características do sinal. Em termos gerais, pode-se admitir que  $i_C$  possui aproximadamente o mesmo valor que  $i_E$ .

De forma prática, podemos dizer que a corrente de base serve para alterar a impedância do transistor, aumentando ou diminuindo o seu valor. Uma pequeno ajuste em  $i_B$  ocasiona uma grande alteração em  $i_C$  e em  $i_E$ . A figura 33 representa de maneira figurativa esta situação.

Para que o transistor funcione a contento, devem-se observar as suas limitações. Nem todos os transistores servem para todas as aplicações. Dependendo do projeto em questão, da intensidade de corrente envolvida no projeto, das tensões, da potência dissipada pelo transistor, da frequência de oscilação do sinal, da magnitude da

O circuito da figura 34, o amplificador universal, é ainda muito utilizado para amplificar, por exemplo, o sinal de um microfone, antes que ele vá para o amplificador principal. Este tipo de amplificador utiliza um transistor de alto ganho (amplificação), e baixa potência.

Já na figura 35, o transistor é utilizado como fonte de corrente. A tensão no emissor, em relação ao fio terra, é aproximadamente

igual a tensão de base. Já a corrente do emissor, é dada pela corrente de base amplificada. Mantendo-se constante a tensão de base, fica constante também a tensão no emissor. Então, uma fonte de tensão de baixa potência, porém com grande precisão ( $V_1$ ), pode ser utilizada para fornecer um sinal a base do transistor, tornando preciso o valor de tensão no emissor. Uma fonte de alta potência, porém com baixa precisão ( $V_2$ ), pode servir para fornecer ao coletor, corrente em grande quantidade. Como resultado, o emissor do transistor terá uma grande precisão, e uma grande capacidade de fornecer corrente, alimentando o resistor R. Este tipo de aplicação utiliza um transistor de baixo ganho e alta potência.

### 5.13.4 Circuito Integrado (CI)

Um CI é composto por dezenas, ou até milhares, de junções P-N. Desta forma, pode-se construir, em alguns centímetros, vários componentes eletrônicos, ligados em um mesmo circuito (figura 36-A), tais como: diodos, capacitores, resistores, transistores, etc. Existem hoje em dia, uma infinidade de CIs, com as mais variadas funções.

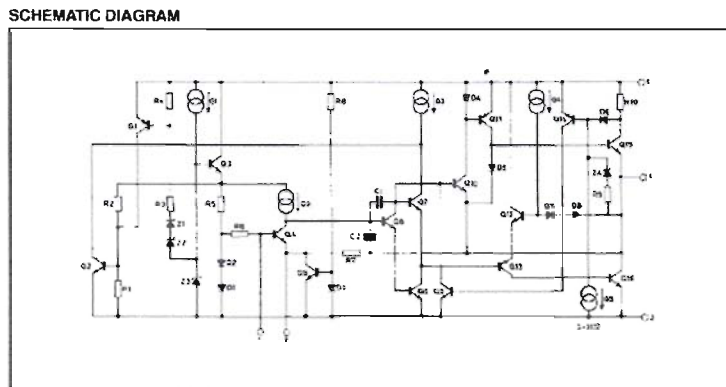


Figura 36-A - Diagrama esquemático do CI TDA 2003. Este complicado circuito é construído no interior de um componente eletrônico, que mede aproximadamente um centímetro de altura. [SGS-THOMSON MICROELETRONICS, 1995]



Figura 36-B - Aspecto físico do TDA2003, medindo menos de um centímetros. [SGS-THOMSON MICROELETRONICS, 1995].

O TDA2003 é um amplificador que funciona para as frequências de áudio, possuindo uma potência de saída de até 10W. Se o circuito apresentado em seu diagrama esquemático fosse construído: custaria 10 vezes mais; seriam necessárias algumas horas para a sua construção; provavelmente haveria perdas de energia, por efeito Joule, de maneira mais acentuada; seu tamanho seria dezenas de vezes maior.

A figura 36-C apresenta a imagem, obtida por um scanner, de um circuito integrado com 72 terminais, muito mais complicado do que o TDA2003.

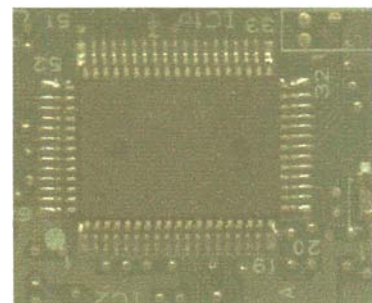


Figura 36-C - Imagem, obtida com um scanner, de um outro circuito integrado, mais complexo do que o TDA2003, soldado em uma placa de circuito impresso.

### 5.13.5 Circuito Retificador e Fonte de Tensão

Como foi dito anteriormente, servem para conversão CA/CC. É o caso dos carregadores de baterias automotivas, ou dos eliminadores de pilhas.

Uma variação senoidal da DDP, por exemplo, adquire o aspecto da figura 37 A, quando submetida ao circuito da figura 37 B, e o da figura 38 A, quando submetida ao circuito da figura 38 B.

Na figura 37 B, o diodo permite a passagem de corrente somente da esquerda para a direita, o que coincide com a parte positiva do gráfico. Quando a polaridade da fonte é invertida, a corrente tende também a inverter o seu sentido, mas o diodo não permite que isto aconteça. A tensão é parcialmente retificada.

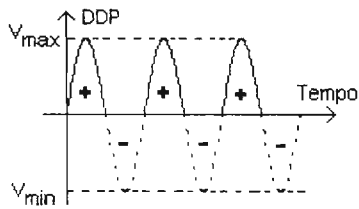


Figura 37-A - Após a retificação, metade da onda, a parte negativa da curva, que representa a inversão de polaridade da fonte, foi anulada. Este é o retificador de meia onda.

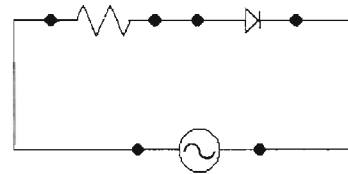


Figura 37-B - Diagrama de um circuito retificador de meia onda.

Na figura 38, são utilizados 4 diodos, formando a chamada ponte de diodos. Não importa a polaridade da fonte, sempre haverá um diodo conduzindo corrente elétrica em um determinado sentido, e um outro impedindo a corrente elétrica no sentido oposto.

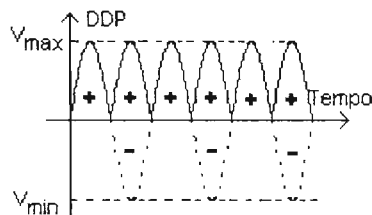


Figura 38-A - Após a retificação, a parte negativa foi convertida em positiva. Este é o retificador de onda completa

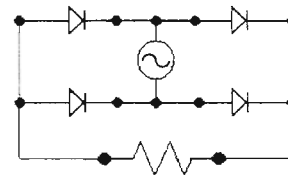


Figura 38-B - Diagrama de um circuito retificador de onda completa.

Uma fonte de tensão CC, ou eliminador de pilhas pode ser construído adicionando-se um capacitor ao circuito da figura 37-B, (Figura 39-B), obtendo-se como resultado circuitos semelhantes ao da figura 39-A. Pode-se também obter uma melhor retificação acrescentando um capacitor ao circuito da figura 38-B.

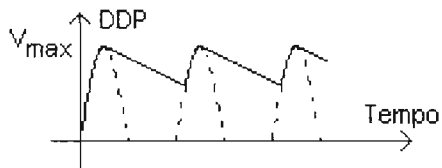


Figura 39-A - A parte mais retilínea do gráfico representa a descarga do capacitor da fonte.

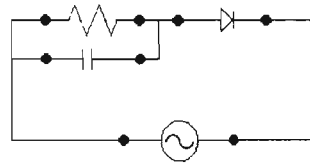


Figura 39-B - Diagrama do circuito retificador meia onda com filtro.

Dependendo da frequência de oscilação da fonte CA, e da capacitância, o capacitor se carregará completamente ou não. Para uma boa fonte CC, o capacitor deverá se carregar completamente em um tempo menor do que o período da fonte CA, e descarregar o mais lentamente possível. Desta maneira, reduz-se quase totalmente a variação do valor da DDP.

Na figura 39-A a curva mostra a carga e descarga típica de um capacitor em uma destas fontes. Nota-se que o capacitor funciona como um filtro, eliminando grande parte da variação da tensão retificada.

## 5.14 COMPONENTES QUE INTERROMPEM OU DESVIAM A CORRENTE

Alguns componentes são utilizados com o objetivo de controlar a passagem de corrente elétrica. Um deles já foi mencionado: o transistor. Porém, existem muitos outros. Vejamos alguns deles.

### 5.14.1 Interruptores

Servem para abrir ou fechar um circuito elétrico. Os mais comuns são chamados de chaves monopolares, que interrompem um único condutor. As chaves bipolares e tripolares interrompem mais de um condutor. Em um circuito, podem ser representados como na figura 40.



Figura 40 - Chave monopolar Equivale a um interruptor do tipo mais comum, utilizado, por exemplo, em residências.

### 5.14.2 Relé

São chaves que possuem acionamento remoto, ou seja, ligam ou desligam um circuito, sob determinadas condições. Em geral, servem para ativar um determinado circuito quando entre dois de seus terminais existe uma determinada DDP. Assim, se estabelece um limite mínimo de tensão para que um circuito funcione.

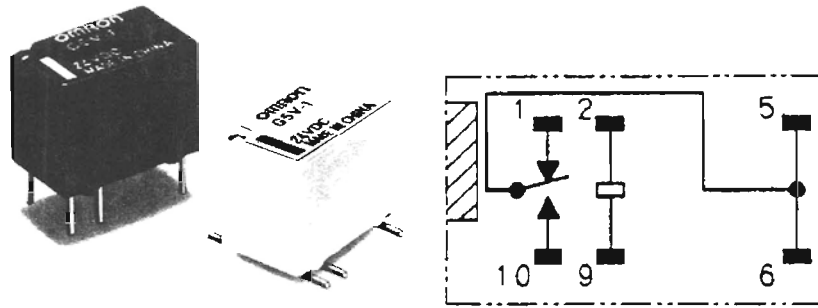


Figura 41 - Fotografia e esquema de um relé. Neste componente especificamente, quando entre os terminais 1 e 5 existe uma DDP igual ou maior do que 5V, a chave é acionada. Este componente mede cerca de 1cm. [Mouser Eletronic, 2001]

### 5.14.3 Comutadores e Seletores

São utilizados para desviar o caminho dos elétrons em um circuito. Normalmente, ativam partes específicas de um circuito. Um comutador que possua três terminais (*threeway*), pode ser utilizado para que um mesmo circuito possa ser acionado ou desligado em dois pontos diferentes. Este circuito é muito utilizado na construção civil (figura 42B).

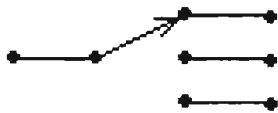


Figura 42A - Símbolo para uma chave comutadora de vários terminais

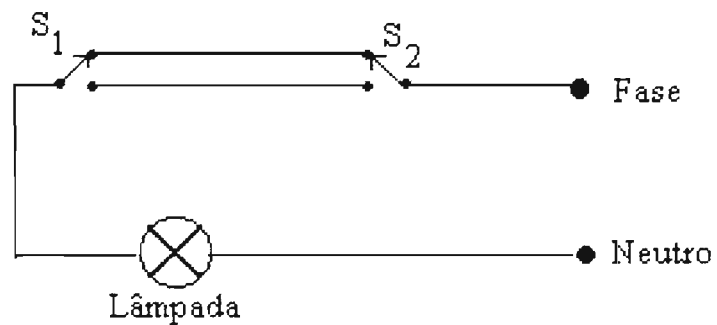


Figura 42B - Um exemplo de aplicação do threeway. As chaves  $S_1$  e  $S_2$  acionam a lâmpada.



## 6. EXPERIMENTOS

### 6.1 SIMULAÇÕES

Descreveremos a seguir, apenas algumas simulações feitas em sala de aula. Dividimos as simulações por aula.

#### 6.1.1 Aula 2

Na primeira aula de simulação, a aula 2, os alunos foram estimulados a criar circuitos no computador, anotando os resultados obtidos. Alguns destes circuitos estão demonstrados nas figuras 43 e 44. Estes circuitos serviram, posteriormente, nas aulas de exercícios, como problemas propostos.

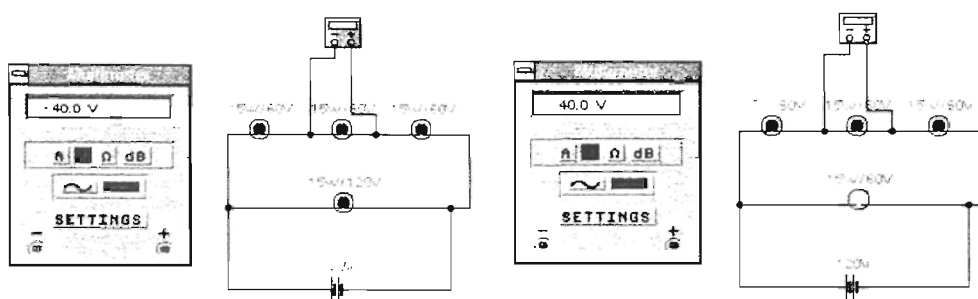


Figura 43 - Alguns circuitos inventados pelos alunos. Quando se altera o parâmetro tensão em uma das lâmpadas, ela "queima".

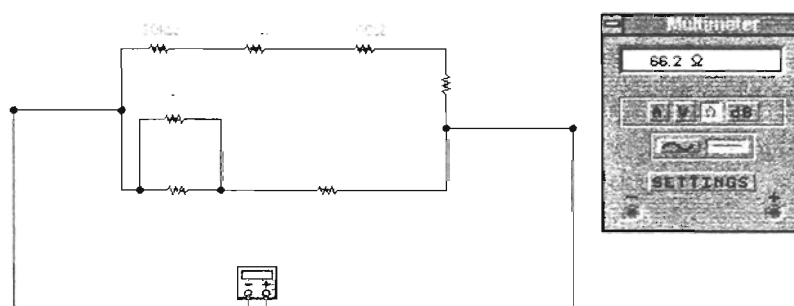


Figura 44 - Um dos vários circuitos elaborados pelos alunos. O multímetro indica um valor de 66.2 Ω, para o resistor equivalente.

#### 6.1.2 Aula 7

Nesta aula os alunos foram preparados para o estudo das leis de Kirchhoff. Simularam circuitos com várias malhas, para mais tarde, com a teoria, já formalmente apresentada, poderem conferir os resultados.

Na figura 45 está o esquema de um destes circuitos, que é equivalente ao da figura 13. Para conferir os resultados, os alunos substituíram os valores nele utilizados, nas equações 9, 10, 11, 12, 13, 14, e 15, podendo assim comparar com os valores obtidos na simulação.

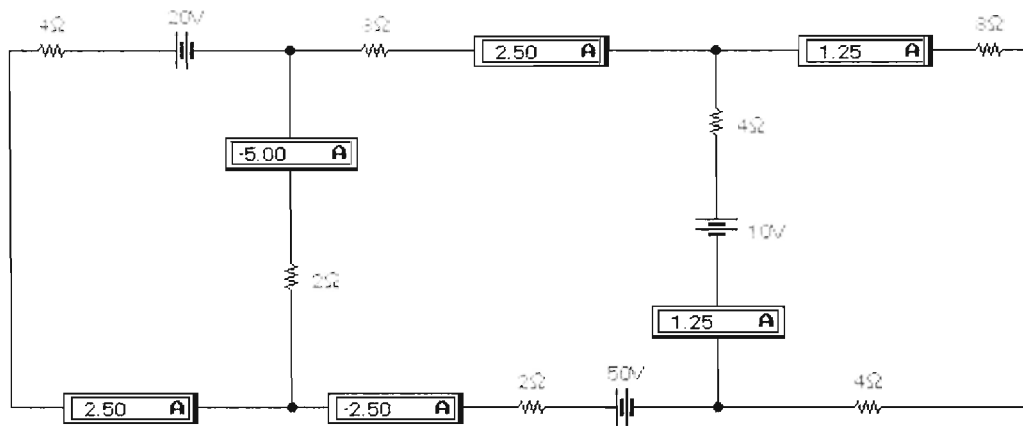


Figura 45 – Circuito com várias malhas. Equivale ao da figura 13, com valores atribuídos aos componentes utilizados.

### 6.1.3 Aula 11

Foram simulados circuitos como o *Threeway*, malhas com geradores reais e ideais, etc, variando-se alguns parâmetros. O *Threeway* é representado na figura 46A. As chaves A e S podem ser acionadas através do teclado do computador.

Alguns dos parâmetros que podem ser modificados são: voltagem da fonte, fonte AC ou DC, voltagem das lâmpadas, etc.

Na figura 46B e 46C são exemplos de fontes ligadas em série. Nota-se que o *software* rejeita a associação de fontes em paralelo, devido ao fato do mesmo só utilizar fontes ideais.

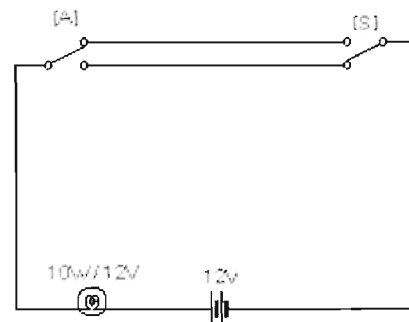


Figura 46A – Simulação de um circuito do tipo *threeway*.

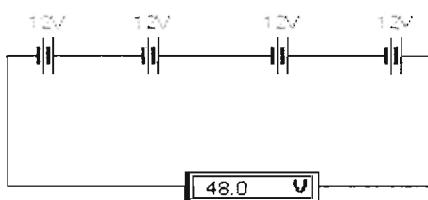


Figura 46B – Associação de fontes em série. As voltagens se somam.

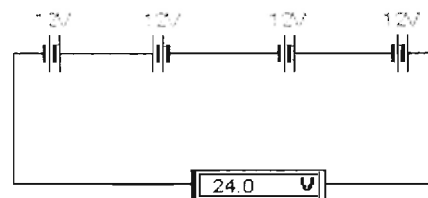


Figura 46C – Associação de fontes em série. Quando uma das fontes tem a sua polaridade invertida, ela subtrai o valor total de tensão da associação.

### 6.1.4 Aulas 21 e 22

Um dos recursos que o *software* apresenta, é o osciloscópio. Este recurso pode ser utilizado em várias partes da teoria: nas primeiras aulas, onde são introduzidos os conceitos de corrente DC e AC; em aulas em que se menciona os circuitos passa baixa e passa alta; simulações de carga e descarga de capacitores; circuitos retificadores, etc. A figura 47 mostra um exemplo de aplicação para as aulas 21 e 22.

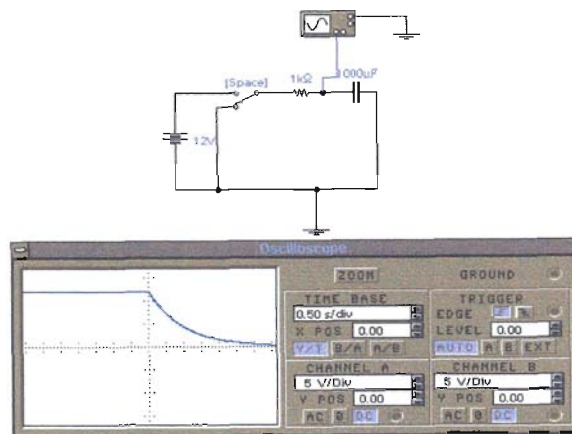


Figura 47 - Exemplos de aplicação do osciloscópio. Acionando-se a chave comutadora com a barra de espaço do teclado, observa-se a carga e descarga do capacitor.

### 6.1.5 Aula 31

Simulação de circuitos com diodos retificadores (figura 48), podendo também ser apresentado o diodo Zener. Neste caso, porém, o professor deverá ter o cuidado de escolher corretamente o valor do resistor limitador de corrente.

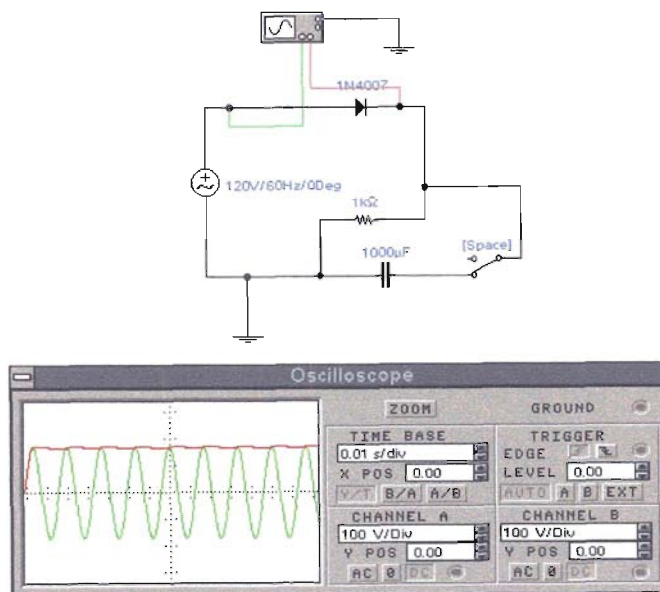


Figura 48 - Utilizando-se os dois canais do osciloscópio, visualiza-se o sinal de entrada (em verde) e o sinal retificado (vermelho). Acionando a chave com a barra de espaço, o capacitor é desligado do circuito.

### 6.1.6 Aula 34

Simulação de funcionamento de uma fonte estabilizada transistorizada (figura 49). Nesta etapa são necessários conhecimentos adquiridos ao longo de todo o curso. O osciloscópio poderá dar detalhes de algumas etapas do circuito.

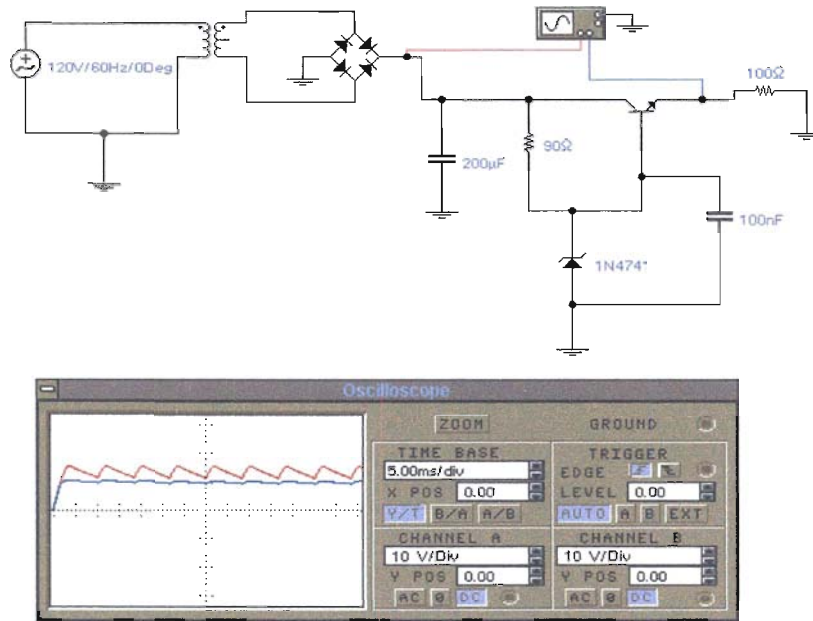


Figura 49 – Esquema de simulação de uma fonte de tensão muito comum. No osciloscópio estão as formas de onda da tensão antes (vermelho) e depois (azul) de ser estabilizada pelo diodo Zener (neste caso, de 11 V).

### 6.1.7 Aula 45

Simulação de circuitos RC como filtros de frequência, apenas como demonstração, dado que haveria necessidade de um formalismo matemático avançado para uma descrição mais completa. Na figura 50 temos um exemplo de circuitos RC como filtro passa alta, sendo que o sinal de entrada está em azul, e o de saída em vermelho.

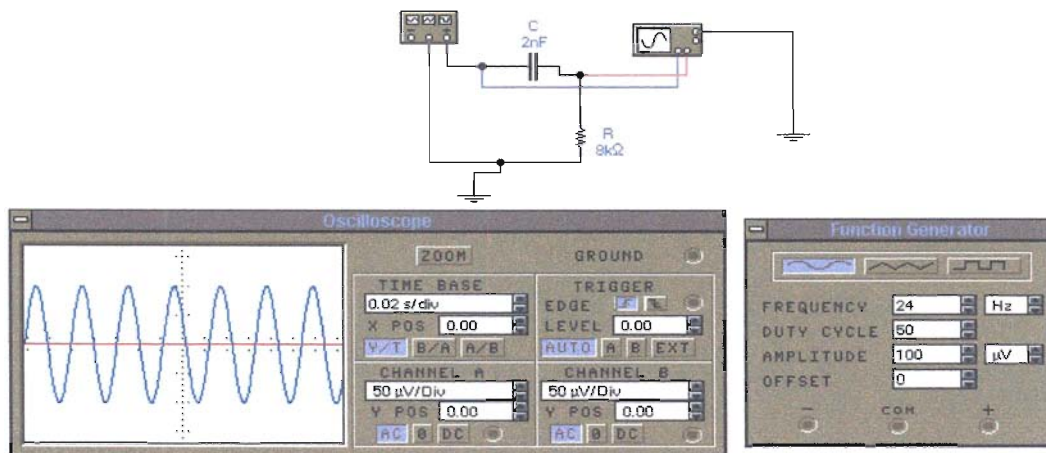


Figura 50A – Neste caso, a frequência do sinal de entrada é baixa (24 Hz), e a saída do filtro é nula..

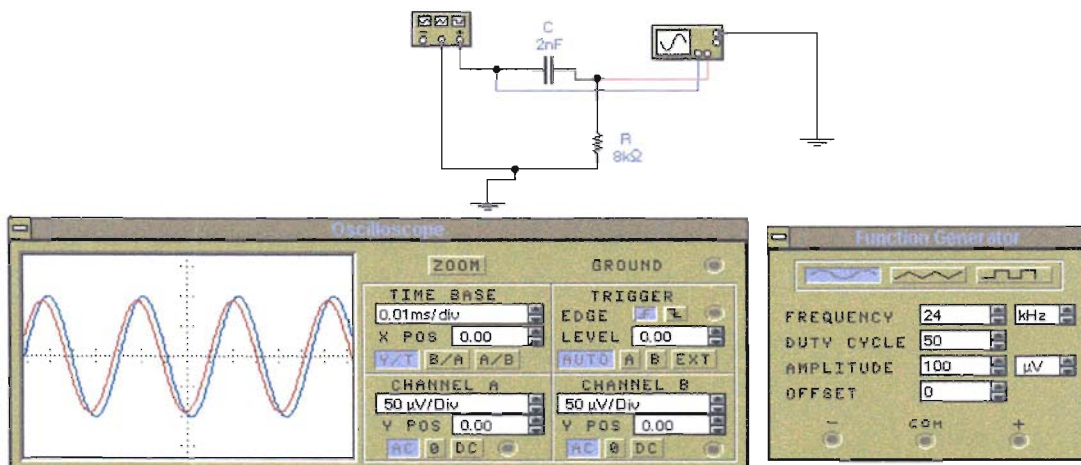


Figura 50B - Nesta figura, a frequência do sinal é alta (24 kHz), e o sinal de saída é aproximadamente igual ao de entrada

## 6.2 ROTEIROS DAS EXPERIÊNCIAS

Existem vários experimentos que podem ser realizados. Neste trabalho, visando uma simplificação, não colocamos todos eles, já que podem ser encontrados em livros de ensino médio.

### 6.2.1 Lâmpadas Em Série e Paralelo (Aula 5)

**Objetivo:** Observar o comportamento de lâmpadas ligadas em série e paralelo quando se efetuam algumas mudanças nestes circuitos

#### Material:

- Base de compensado de 20 mm X 80 cm X 20 cm;
- 6 bocais para lâmpadas de 127 V;
- 2 m de fio paralelo (seção de 2 mm<sup>2</sup>);
- Tomada;
- 3 lâmpadas de 100 W, 127 V;
- 3 Lâmpadas de 60 W, 127 V;
- 2 fusíveis de louça do tipo rolha, com valor igual ou maior que 5 A;
- Parafusos para fixar os bocais;
- 1 interruptor com duas seções;
- 1 caixa de plástico própria para embutir interruptores;
- Fusível com cápsula de vidro, de 500 mA;
- Suporte para fusíveis com cápsula de vidro;
- Multímetro, regulado em uma escala para medir 127 V AC.

### Esquema:

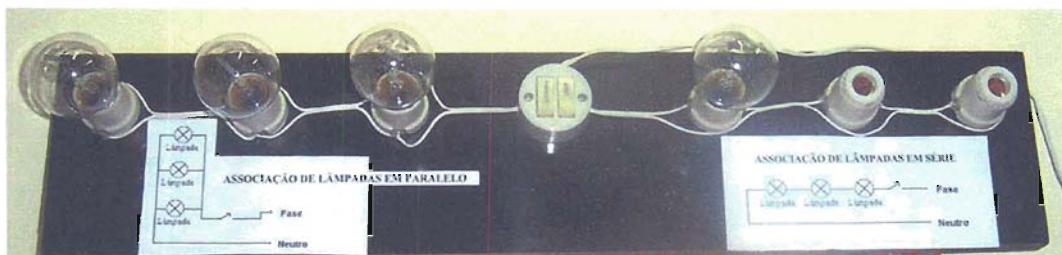


Figura 51 – Circuito para a experiência de lâmpadas em série e paralelo.

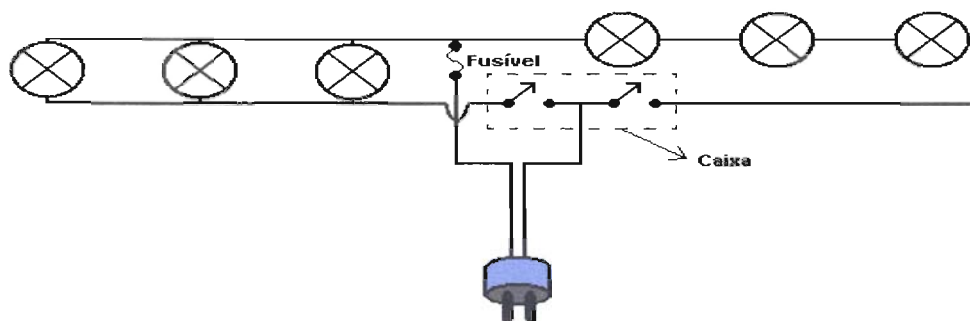


Figura 52 – Diagrama esquemático da montagem do circuito de lâmpadas.

### Montagem:

- Monte sobre o compensado os seis bocais de lâmpadas, com o mesmo espaçamento entre eles, fixando-os com parafusos, mantendo um espaçamento maior entre os dois centrais;
- Fixe as caixas, abrindo nelas passagem para os fios (figura 52);
- Faça a ligação dos fios aos terminais conforme as figura 52. Conecte também os interruptores, fixando-os às caixas; coloque a tomada no extremo do fio.

### Análise:

Este experimento é demonstrativo, sendo a priori montado pelo professor. Enquanto o realiza, o professor deve fazer algumas colocações e observações, levando os alunos a fazerem perguntas e tentarem explicar, com as suas teorias pessoais, o que está sendo observado. Paulatinamente, espera-se que este conhecimento informal seja transformado em conhecimento formal, na próxima aula teórica (aula 6).

## **Procedimento:**

Comece com o circuito sem as lâmpadas. Coloque os fusíveis de louça em dois dos bocais em série, e no terceiro coloque uma das lâmpadas de 60 W.

Ligue o circuito. Depois, vá trocando cada um dos fusíveis de rolha pelas outras lâmpadas de 60 W, deixando que os alunos percebam que quando um fusível é retirado, todas as lâmpadas apagam, e só voltam a acender quando a nova lâmpada é conectada.

Tome o cuidado de não conectar algum dos fusíveis de louça no circuito em paralelo, para não queimar o fusível de proteção. Tenha sempre à mão fusíveis de proteção sobressalentes, para o caso de isto acontecer.

Depois, vá adicionando ao circuito em paralelo, as lâmpadas de 100 W, lâmpada por lâmpada, deixando que os alunos percebam que a luminosidade em cada lâmpada não se altera. Em seguida, troque uma das lâmpadas de 100 W por uma de 60 W.

Volte ao circuito em série, com uma de suas lâmpadas de 60 W trocadas por uma de 100 W. Pergunte se houve diferença na luminosidade das lâmpadas. Faça o mesmo no circuito em paralelo.

Por último, meça as voltagens em cada estágio da última configuração da experiência, pedindo que os alunos anotem os resultados.

### **6.2.2 Caixa de Som**

Aparentemente, basta que se coloque um alto-falante em uma caixa de madeira e está pronta a caixa acústica. Pelo menos é isto que reza o senso comum. Mas a realidade é bem outra. Projetar uma caixa acústica pode ser tão complexo que existem profissionais específicos para este fim. Eles devem levar em consideração as ondas estacionárias, a formação de harmônicos, o tipo de som que será reproduzido, se a caixa é para ambiente aberto ou fechado, etc. Aqui, porém, não chegaremos a tanto. Nos limitaremos a construção de uma caixa, seguindo alguns cuidados indicados por um fabricante de alto-falante, sendo colocado em seu interior um circuito amplificador. Como opção construímos uma fonte de alimentação de 12 V, e um pré-amplificador para microfones de baixa impedância.

#### **Cuidados**

Alguns cuidados devem ser tomados na montagem da caixa:

- Nenhuma parte do circuito deverá transpassar os alto-falantes da caixa, para se evitar ruídos;
- A fonte de tensão deve ser colocada em uma posição que não interfira no funcionamento da caixa, de preferência fora da caixa;
- Toda a caixa deve ser selada com cola, massa de calafetar, borracha de silicone, ou de qualquer outra maneira para que não haja perdas de potência sonora por vazamentos.

#### **6.2.2.1 Estrutura Física da Caixa**

Uma vez escolhido o formato da caixa, neste caso um paralelepípedo regular, é fundamental que se escolha as dimensões da caixa. Como volume da caixa é especificado pelo fabricante do alto-falante, antes de se dimensionar uma caixa, deve-se escolher o alto-falante. Este volume pode variar de acordo com o tipo de caixa. O alto-falante deve

ser colocado o mais afastado possível do centro da caixa. Também um duto cilíndrico deve ser colocado na caixa, seguindo-se recomendações do fabricante.

Para se minimizar a formação de ondas estacionárias, deve ser respeitada a seguinte regra [NH]:

$$\frac{\text{profundidade}}{\text{largura}} = 0,8 \text{ e } \frac{\text{altura}}{\text{largura}} = 1,25 \quad \text{ou} \quad \frac{\text{profundidade}}{\text{largura}} = 0,6 \text{ e } \frac{\text{altura}}{\text{largura}} = 1,6$$

São sugeridas as montagens de duas caixas (figuras 52 e 53), uma de baixo custo, com alto-falante que pode ser aproveitado de um aparelho de som antigo, ou qualquer outro com 6", com um circuito amplificador de 20 W; uma outra, seguindo rigorosamente as especificações do fabricante do alto-falante escolhido, modelo Hinor 8HTS600, [NH], também com um circuito amplificador de 20 W, com custo bem maior.



Figura 52 – Fotografia da caixa menor



Figura 53 – Fotografia da caixa maior

Cada uma das caixas pode ser feita com compensado, cortado conforme as figuras 54 e 55. A caixa menor utiliza compensado de 5 mm de espessura, e a maior de 25 mm.

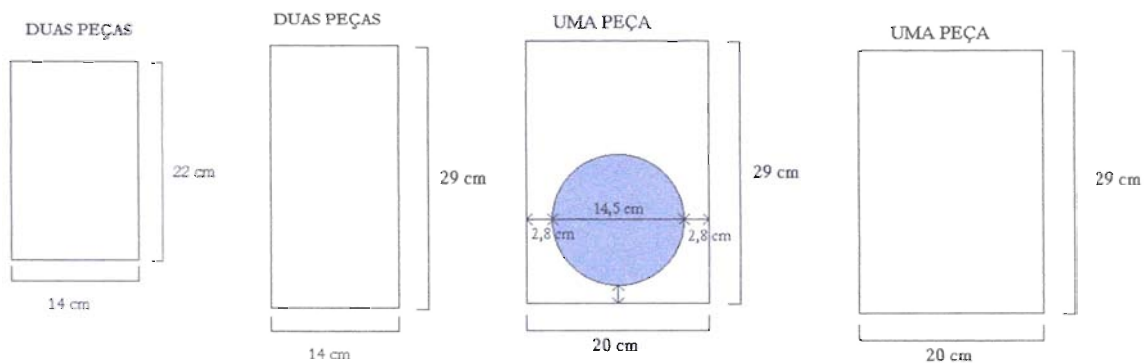


Figura 54 – Cortes de compensado de 5 mm de espessura, para a caixa menor.



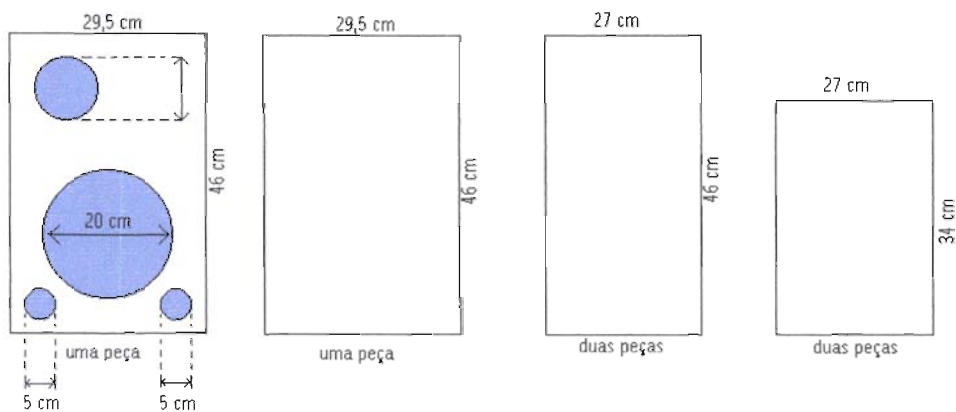


Figura 55 – Cortes de compensado de 25 mm de espessura, para a caixa maior. A figura prevê ainda dois dutos de 5 cm de diâmetro, e um *tweeter*, de 7 cm de diâmetro.

### 6.2.2.2 Amplificador [SGS THOMSON, 2001]

Seguindo as técnicas de montagem de circuitos impressos [Anexo II], o circuito da figura 56 foi montado. Foram feitas duas placas, cada uma delas instalada em uma das caixas. Além dos componentes especificados nas figuras, foram necessários conectores para a entrada do circuito amplificador. Além disto, os CIs devem ser colocados em dissipadores de calor (anexo II.3.1).

Material:

- 3 Capacitores 100 nF;
- 2 Capacitores 2,2  $\mu$ F;
- 1 Capacitor 10  $\mu$ F;
- 1 Capacitor 20  $\mu$ F;
- 2 Resistor 1 $\Omega$ , 1/8 W;
- 2 Resistor 16  $\Omega$ , 1/8 W;
- 1 Resistor 100  $\Omega$ , 1/8 W;
- 1 Resistor 430  $\Omega$ , 1/8 W;
- 2 CI TDA2003.
- Placa de Circuito impresso

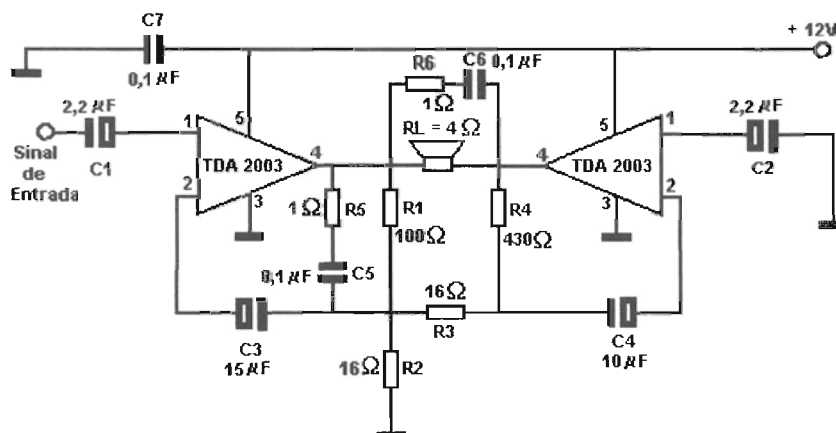


Figura 56 A – Diagrama esquemático do circuito amplificador de 20 W.

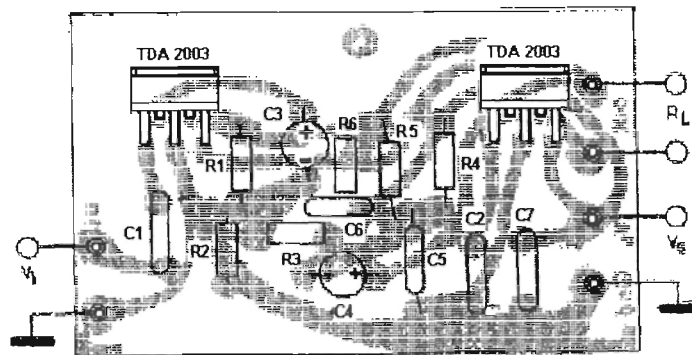


Figura 56 B – Layout da montagem dos componentes nas trilhas da placa de circuito impresso para o circuito da figura 56A, em escala 1:1.

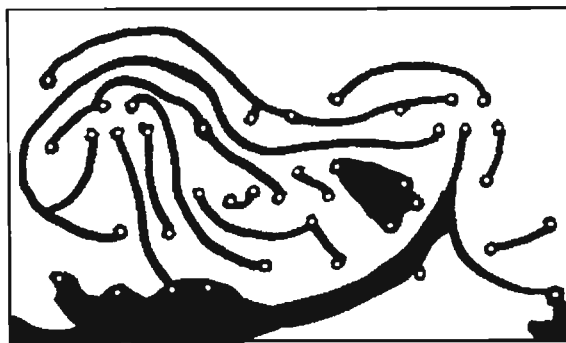


Figura 56 C – Aspecto do verso da placa, local em que se faz a soldagem dos componentes, em escala 1:1.

Este amplificador foi escolhido por se tratar de um circuito que necessita somente de resistores e capacitores, além dos CIs. No caso da caixa maior, não estamos utilizando todo o seu potencial, dado que a potência do alto-falante é de 75 W. Um amplificador mais potente pode ser montado seguindo o esquema da figura 57.

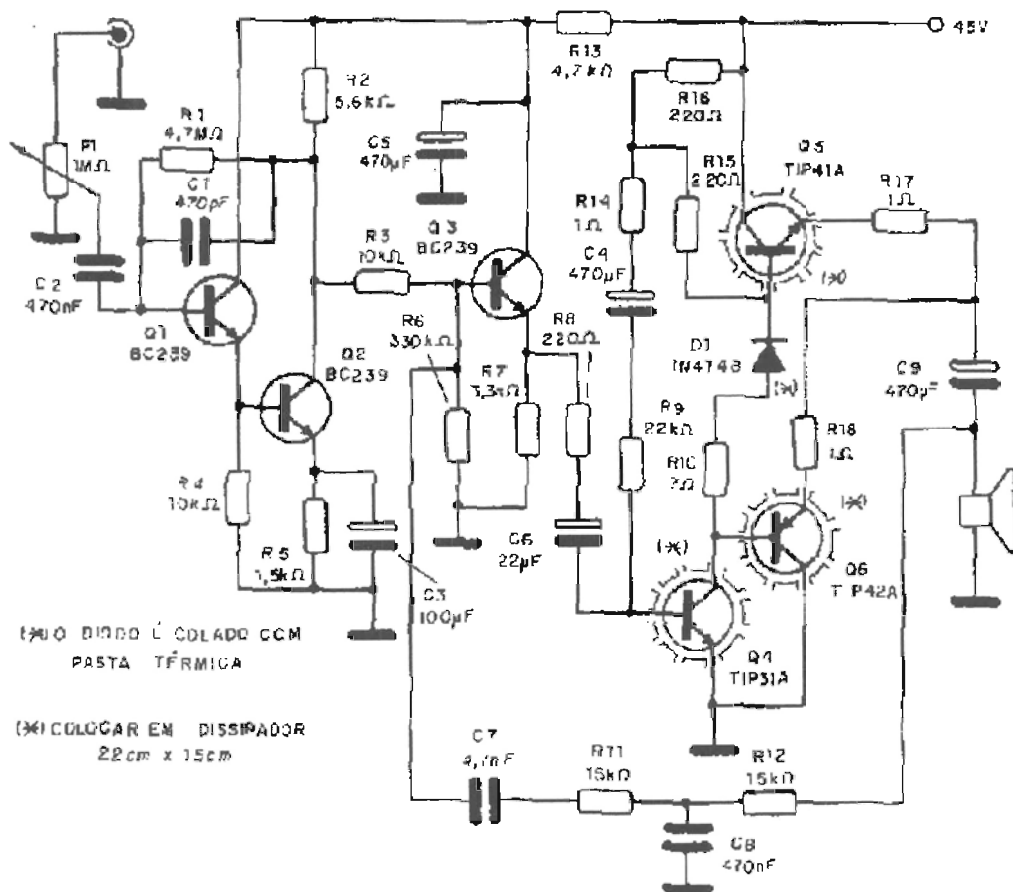


Figura 57 – Esquema de um amplificador de 78 W [AEEE].

### 6.2.2.3 Pré Amplificador para microfone<sup>13</sup>

O circuito amplificador sugerido na seção 6.2.2.2 pode ser utilizado com um microfone de boa qualidade. Porém, microfones baratos, de baixa impedância não são capazes de excitar o amplificador de maneira satisfatória. Um circuito auxiliar pode resolver este problema (figura 57).

A sugestão é montar o circuito em uma pequena caixa de metal, sendo nela embutido um conector (jaque J<sub>1</sub>) que liga o circuito até a entrada do amplificador. Dentro da caixa ainda deverão ficar as quatro pilhas pequenas do tipo AA (B<sub>1</sub>), ou uma bateria de 9 V, para alimentar o circuito. Um cabo coaxial (fio de walkman) de no máximo 3 m deve conectar o microfone até o pré-amplificador.



Figura 57 A – O pré-amplificador para microfones de baixa impedância.

<sup>13</sup> Retirada de Saber Eletrônica, 2000

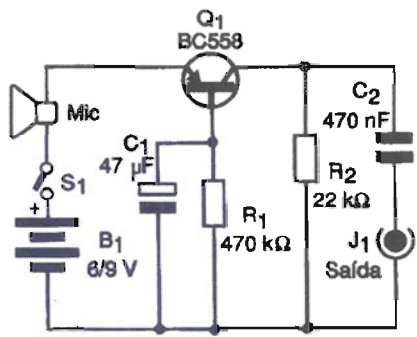


Figura 57 B – Esquema de um pré-amplificador para microfones de baixa impedância. O resistor R1 deve ficar entre valores de 220 kΩ e 1,5 MΩ, dependendo do microfone utilizado.

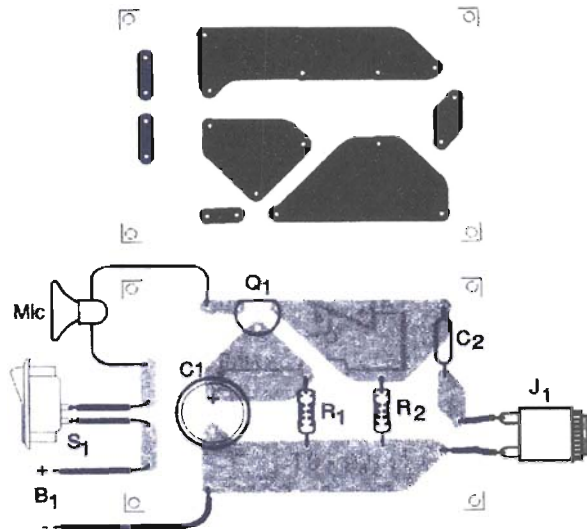


Figura 57 C – Layout da placa de circuito impresso, escala 1:1.

### Material:

- Capacitor 47 μF;
- Capacitor 470 nF;
- Resistor 470kΩ, 1/8 W;
- Resistor 22 kΩ, 1/8W;
- Transistor bc558;
- Bateria de 9V;
- Chave Monopolar;
- Jaque;
- Placa de Circuito impresso.

### 6.2.2.4 Fonte de tensão

Uma fonte para alimentar a caixa de som com 12 V DC pode ser construída. Basicamente são necessários dois diodos retificadores (1N4007), um transformador (127 V p/12 V, 400 mA, com *center tape*), um capacitor (470 μF de 15 V), e um circuito integrado regulador de tensão (7812), conforme figura 58 A. Dada a simplicidade desta fonte, os próprios alunos podem desenvolver o layout do circuito impresso.

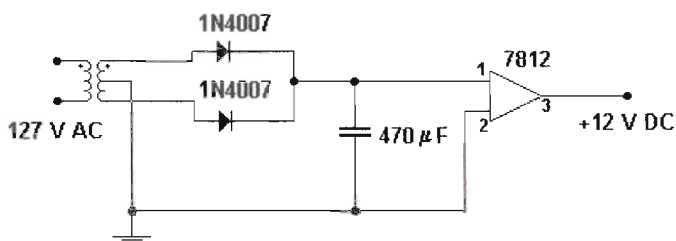


Figura 58 A – Esquema de uma fonte de tensão de 12 V, 400 mA.

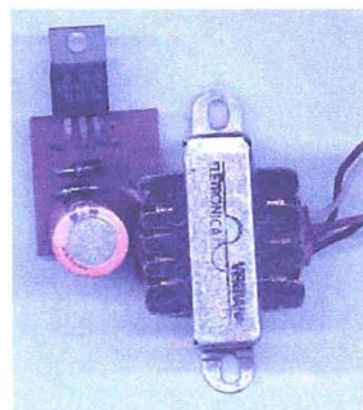


Figura 58 B – Fotografia da fonte.

O aspecto final da montagem pode ser semelhante ao mostrado na figura 58 B. Os fios que vão para a fonte estão omitidos nesta fotografia. Esta fonte pode ser também montada em uma pequena caixa de PVC.

### 6.2.3 Painel de Componentes

Este painel foi montado em uma placa de *eucatex*, liso, utilizando diversos componentes, retirados de sucata: Resistores, capacitores, diodos, leds, transistores, transformador, etc. Alguns alunos se prontificaram em trazer uma parte destes componentes.

Uma vez escolhidos os componentes a ser utilizados, foram impressos em papel ofício alguns dados sobre os eles. Estas folhas foram então coladas na placa de *eucatex*. Posteriormente, os componentes foram colados sobre as folhas de papel ofício, em seus respectivos lugares.

Nesta montagem é interessante a participação dos alunos, pois assim pode ser despertada a curiosidade por determinados detalhes, como formato dos componentes condicionado a sua aplicação, ou por componentes que normalmente não podemos ver, como a cabeça de leitura ótica de um aparelho de *CDROM*, dentre outros detalhes.



Figura 59 - Painel de componentes.

## 7 CONCLUSÃO

È difícil trabalhar com eletrônica, mesmo em nível básico, sem que se faça algumas experiências. Por outro lado, não é em qualquer escola que se pode ter um laboratório de eletrônica disponível. Também é difícil, ou até mesmo impossível, de se estabelecer certos conceitos sem uma base matemática adequada, coisa que em certos casos o estudante de nível médio não possui.

Em contrapartida, hoje em dia muitas escolas estão equipadas com computadores, motivando assim o uso de um *software* de eletrônica para simular alguns circuitos, e estabelecer experimentalmente conceitos complexos sem um formalismo matemático.

O *software* Electronic Workbench é particularmente interessante, pois a sua interface gráfica permite que o aluno compreenda a elaboração de um diagrama esquemático, ao mesmo tempo em que cria um circuito novo, entendendo assim que um mesmo circuito pode ser desenhado de várias formas diferentes.

Uma simulação no computador ainda possui a vantagem de se poder cometer erros durante a montagem de um circuito, com segurança, além de se evitar danos a equipamentos, e gastos desnecessários com a substituição de componentes danificados durante a montagem.

Como complemento deste trabalho, foram sugeridas algumas experiências de baixo custo, que visam demonstrar a montagem prática de circuitos simples, elaboração de circuitos impressos, técnicas de soldagem, etc.

Nosso trabalho com computadores motivou os alunos de maneira singular, pois neste caso, eles puderam participar ativamente das aulas. Em relação a turma do ano anterior, a motivação foi muito maior.

Nas aulas práticas, foi distribuído um aluno por cada computador. As aulas no laboratório de informática se alternaram com as aulas em sala de aula. Nas aulas em sala, foram demonstrados alguns experimentos para discussão. Esta situação se tornou propícia para se transformar o conhecimento informal em um conhecimento formal científico.

O resultado foi profícuo. Isto foi demonstrado nas avaliações formais (provas), e informais (arguições no decorrer das aulas). Ao final do curso, foram propostos alguns projetos baseados em circuitos eletrônicos, para que os alunos escolhessem um dentre eles para realizar. O projeto escolhido foi o da caixa amplificadora, de 10W de potência.

Com adoção dos computadores o interesse dos alunos em geral aumentou. Duas alunas, porém não gostavam de computadores, mas mesmo assim conseguiram desenvolver o trabalho, acabando por se interessarem.

Um dos alunos, que geralmente não demonstrava interesse pelas aulas, despertou completamente. Sendo ele membro de um grupo musical, a possibilidade de estudar caixas acústicas chamou a sua atenção. Ao final do curso, chegou a montar uma caixa de som para a sua banda. Foi particularmente interessante quando ele dividiu com os colegas a sua experiência prática com sonorização, e todos nós aprendemos com ele.

Numa turma tradicional, em geral, encontramos alunos fracos, com notas abaixo de cinco, e alunos classificados como bons, com notas acima de oito. Observou-se uma tendência a aumentar, ainda mais, as médias dos alunos com bom desempenho. Embora não pudesse ser detectado aumento na média dos alunos fracos, houve um visível aumento de interesse pela aula. Comparativamente com o ano anterior, o resultado foi bem melhor.

A este bom resultado não se deve atribuir unicamente a implementação da nova metodologia, introduzida no trabalho desenvolvido, dado que o professor no ano anterior, ainda não havia cursado considerável parte das disciplinas pedagógicas do curso de

licenciatura. Certamente, devido ao seu aprendizado acadêmico, em 2001 o professor pôde ministrar um curso bem melhor do que em 2000.

Finalizando, embora a experiência venha com os anos de profissão, uma escolha correta de metodologia, adequada ao perfil do professor, torna as aulas mais interessantes e motivadoras, influenciando os alunos. A habilidade do professor em perceber, o cotidiano de seus alunos, que obviamente depende da sociedade em que vivem, pode transformar seus interesses em ponte para os saberes formais. Voltamos a dizer, os alunos aprendem melhor o que tem significado para eles.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**AEEE** – Associação dos Ex-Alunos da Engenharia Elétrica da UFPR. <http://www.milenio.com.br/aeee/projetos/projetos.htm>.

**AMALDI**, Hugo. Imagens da Física: As idéias e as Experiências do Pêndulo aos Quarks. Curso Completo. Ed. Scipione. 1995.

**BLACKWOOD**, Oswald H.; **HERRON**, Wilmer B.; **KELLY**, William C. Física na Escola Secundária. Vol.2. Ed. Fundo de Cultura. 1971.

**BARBETA**, Vagner Bernal; **YAMAMOTO**, Issao. Simulações de Experiências como Ferramenta de Demonstração Virtual em Aulas de Teoria de Física. Revista Brasileira de Ensino de Física. Vol. 23, nº 2. Junho, 2001.

**FERENCE JR**, Michael; **LEMON**, Harvey B.; **STEPHENSON**, Reginald J. Curso de Física Eletromagnetismo. Ed. Edgard Blücher.

**NH** Indústria e comércio Ltda. Especificações Técnicas e Dados Para Caixas Acústicas. <http://hinor.com.br>.

**HOROWITZ**, Paul; **Hill**, Winfield. The Art of Electronics. Cambridge University Press. 1986.

**JOSÉ**, Elizabeth da Assunção; **COELHO**, Maria Teresa. Problemas de Aprendizagem. Ed. Ática. 2001.

**MANDELBAUM**, Arnould. Eletricidade, A História da Energia. Ed. Fundo de cultura. 1963.

**MOUSER ELECTRONIC**. Catalog No. 605, February 2001 to April 2001 [sales@mouser.com](mailto:sales@mouser.com)

**MÁXIMO Antônio**; **ALVARENGA**, Beatriz. Curso de Física. Vol. 3. Ed. Scipione. 2000.

**MELO**, Hilton Andrade de; **INTRATOR**, Edmond. Dispositivos Semicondutores: Diodos, Transistores, Fotossensíveis, Circuitos Integrados. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 1974.

**NUSSENZVEIG**, H. Moysés. Curso de Física Básica. Eletromagnetismo. Vol.3. Ed. Edgard Blücher. 1997.

**PCN** - Parâmetros Curriculares Nacionais - Ensino Médio. Parte III. MEC. <http://www.mec.gov.br/semtec/ensmed/pcn.shtm>

**PURCELL**, Edward Mills. Curso de Física de Berkeley. Eletricidade e Magnetismo. Vol. 2. Ed. Edgard Blücher. 1973.



**SABER ELETRÔNICA.** Número 326. Ed. Saber Ltda. 2000.

**SCIENTIFIC AMERICAN.** Como Funciona: Sistemas, Utensílios, Equipamentos atuais. Ed. e Gráfica Visor do Brasil. 2000.

**SGS-THOMSON MICROELETRONICS.** Manual Técnico do Circuito Integrado TDA2003, 10 W Car Radio Audio Amplifier. 1995.

**VALENTE, José A.** O Uso Inteligente do Computador na Educação. Pátio - Revista Pedagógica. Ano 1, nº 1. Ed. Artes Médicas Sul. 1997.

## ANEXO I

### Roteiro para o uso do *Software Electronic Workbench*

#### Manual Resumido

##### Anexo I.1 Considerações Gerais

O *software Electronic Workbench* foi concebido para aplicações profissionais. Porém, possui uma interface gráfica muito amigável, sendo possível utilizá-lo em pequenas simulações no ensino médio.

Os circuitos podem ter uma grande quantidade de componentes, dos mais variados. A sofisticação deste *software* faz com que o seu custo seja muito elevado (da ordem de milhares de Reais), tornando a sua compra inviável para a aplicação sugerida aqui.

Porém, o fabricante disponibiliza gratuitamente versões de demonstração deste *software*. Estas versões *Demo* funcionam da mesma forma que a versão completa, com algumas limitações.

As limitações variam de acordo com a versão do *software*. As principais são: o número de componentes é reduzido, não sendo possível a simulação de circuitos grandes; não é possível salvar o projeto em questão, em algumas versões; o *software* é todo em inglês.

Em todos os casos acima citados, as limitações não interferem em nosso trabalho. Os circuitos simulados são extremamente simples, e podem ser copiados a mão para uma folha de papel, sendo facilmente reconstituídos mais tarde. O professor pode criar um pequeno glossário, com algumas palavras fundamentais para o uso do *software*, e as suas traduções, resolvendo assim o problema do idioma.

Uma opção ao *Electronic Workbench*, é um *software* chamado *Edison*<sup>15</sup>, que possui uma versão em português, e um custo bem menor (centenas de Reais). *Edison* possui a vantagem de ter sido projetado para o uso no ensino médio. A desvantagem é que não possui opção para a simulação de semicondutores.

Uma outra opção é o *software Circuit Maker*<sup>16</sup>, também em inglês. Este tem a vantagem adicional de possuir uma versão completa para estudo, gratuita.

##### Anexo I.2 Utilização dos Botões

Independente da versão utilizada, os procedimentos para as simulações são sempre os mesmos. Ao se executar o *software*, uma janela é aberta, sendo dividida em três partes principais. A parte da esquerda é o local aonde serão exibidos os componentes eletrônicos, de acordo com uma certa classificação. A parte da direita é o local em que o circuito será montado. Na parte superior existem vários botões. Os principais botões da parte superior são aqueles que trocam os tipos de componentes exibidos, e aquele botão que aciona a simulação (figura I.1). Na janela superior ainda são exibidos os instrumentos de medida.

Para a montagem de um circuito, primeiramente escolhemos os componentes a serem utilizados, trazendo-os para a janela da direita. Para trazê-los, pressionamos a tecla esquerda do mouse enquanto a flecha está sobre o componente escolhido, arrastamos para

<sup>15</sup> Distribuído no Brasil por Educare Informática Ltda. Pode ser adquirido em <http://www.softmarket.com.br>

<sup>16</sup> Pode ser obtido em <http://www.circuitmaker.com>.

a direita logo em seguida. Ao soltar a tecla, o símbolo do componente aparecerá, e alguns de seus parâmetros serão exibidos logo acima dele.

Para alterar os parâmetros de um componente, basta pressionar a tecla da direita do mouse duas vezes seguidas, enquanto o cursor está sobre o componente. Será exibida então uma janela para que sejam feitas as correções necessárias.



Figura I.1 - Aspecto do software *Electronic Workbench*.

### Anexo I.3 – Exemplo de Aplicação

Para realizar as conexões entre os componentes, posicionamos o cursor do mouse sobre um dos terminais do componente e pressionamos a tecla da direita do mouse logo em seguida. Mantendo esta tecla pressionada, arrastamos o cursor até o terminal do outro componente. Assim, uma linha será automaticamente ajustada entre os dois terminais. Para os instrumentos de medida procede-se da mesma maneira.

Depois de montado, basta que o botão no canto direito superior do vídeo seja acionado, para que a simulação se inicie.

Como exemplo, vamos simular o circuito esquematizado na figura I.2, mostrando passo a passo todas as etapas de sua simulação:

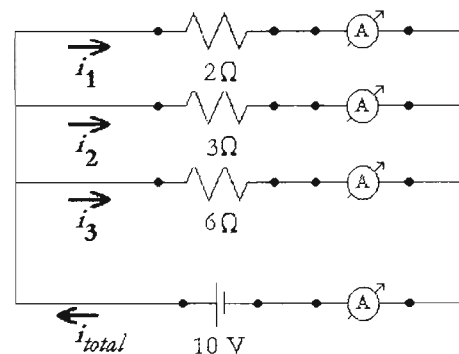



Figura I.2 - Circuito utilizado como exemplo de simulação

1º passo - Arrastamos os componentes da janela da esquerda para a janela da direita, um por um;

2º passo - pressionamos duas vezes consecutivas o mouse sobre um determinado componente, para que possamos ajustar os seus parâmetros. Repetimos este passo para cada componente;

3º passo - Acionamos o botão  na janela superior, para que possamos arrastar quatro amperímetros para o circuito (figura I.3);

4º passo - Fazemos as conexões necessárias, iniciamos a simulação (figura I.4);

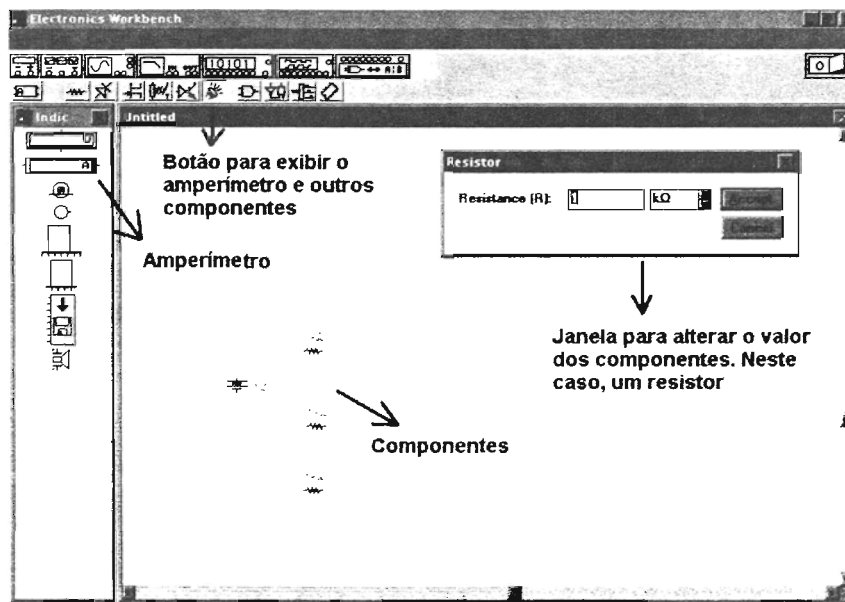


Figura I.3 - Aspecto da tela após o terceiro passo

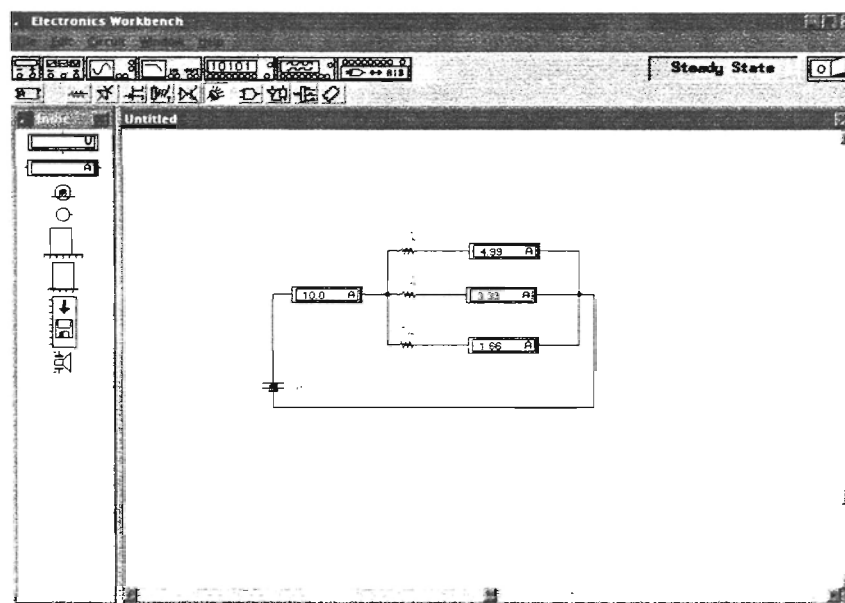


Figura I.4 - Aspecto final do circuito

s valores obtidos nesta simulação podem ser comparados aos valores calculados na seção 5.7.4.2, já que o circuito que foi resolvido lá é idêntico ao simulado aqui. A pequena diferença encontrada entre os valores é devido a uma incerteza nas grandezas envolvidas no circuito. Esta incerteza pode ser configurada no menu do *software*:

*Circuit/AnalysisOptions*, ou pressionando-se as teclas *ctrl* e *y* ao mesmo tempo. Será então exibida uma janela que permitirá alterar a tolerância percentual do circuito, ou seja, o parâmetro *tolerance*.

Um recurso útil deste *software* é o osciloscópio. Este aparelho virtual possui dois canais (A e B), ou seja, poderão ser feitas duas medidas simultâneas de tensão. Estes canais são conectados diretamente ao ponto que se deseja analisar no circuito. Uma terceira conexão, o Terra, deverá ser feita para que o *software* simule o circuito.

Depois de se conectar os terminais descritos acima, basta que se selecione as escalas utilizadas de maneira correta. Para isto, existem duas escalas de ajuste de tensão, uma para cada canal, e uma escala de ajuste de tempo. As escalas de tensão indicam quantos volts por divisão serão utilizadas no gráfico. A escala de tempo indica quantos ciclos serão exibidos na tela. Quanto menor for a escala de tempo utilizada, maior será o número de ciclos exibidos (figura I.5).

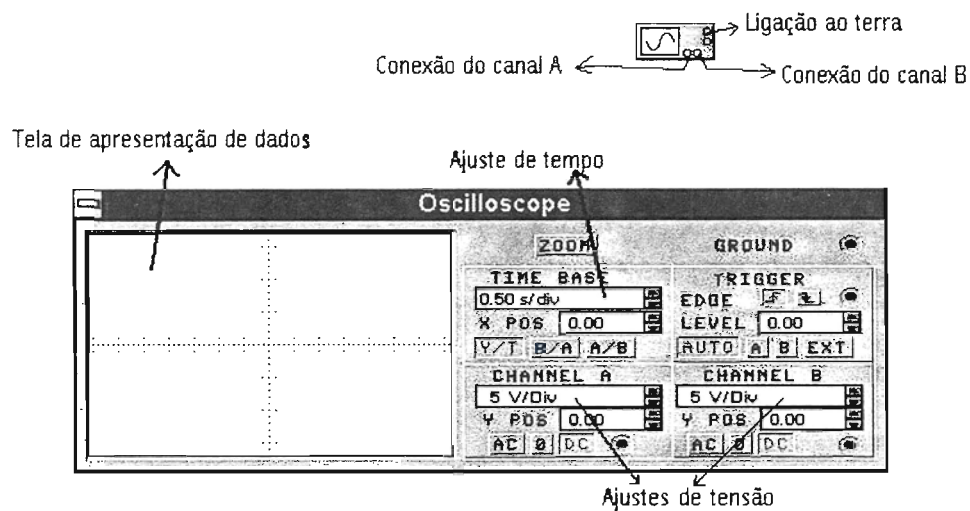


Figura I.5 – Tela de apresentação do osciloscópio

## ANEXO II

### Técnicas Experimentais

#### II.1 Circuitos Impressos

Circuitos com poucos componentes podem ser construídos de forma simples, soldando-se um componente no outro. Porém, em circuitos com muitos componentes, esta prática se torna difícil ou até mesmo impossível de ser feita. Para estes casos, utilizamos circuitos impressos.

Estes circuitos consistem em uma placa plana, geralmente retangular, feita em material isolante, na qual são feitas trilhas condutoras que interligam os componentes eletrônicos de um circuito. Cada terminal de um componente é soldado às trilhas.

Existem várias técnicas para se elaborar uma placa impressa. Cabe aqui apenas uma técnica manual para este fim. É válida a ressalva de que na indústria existem máquinas capazes de aprontar estas placas em alguns minutos, soldando nelas centenas de componentes, sem contato manual.

**Primeiro Passo:** Primeiramente, planejamos a melhor distribuição dos componentes eletrônicos na placa. Feito isto, desenhamos as trilhas em um rascunho, seguindo a orientação do diagrama esquemático.

**Segundo Passo:** Coloca-se o rascunho sobre uma placa virgem, já devidamente cortada, e o fixamos com fita adesiva. Uma placa virgem possui uma deposição de cobre em uma ou em ambas as suas superfícies. Depois, fazemos os furos para a introdução posterior dos componentes. Os furos podem ser feitos com uma furadeira, com broca de aço rápido de 1 mm de diâmetro, ou com um furador próprio para isto.

**Terceiro Passo:** Retiramos o rascunho e desenhamos as trilhas na placa virgem. Para desenhar nesta placa, se utiliza uma caneta própria para este fim. Pode ser utilizada uma caneta para elaboração de transparências (marcador permanente), caso não se encontre a caneta apropriada. Uma boa dica é limpar a superfície de cobre com palha de aço (ver figura 56 C).

**Quarto passo:** Depois que a tinta utilizada nas trilhas está seca, é chegada à hora de se corroer a parte de cobre que não está coberta pela tinta. Isto é feito submetendo-se a placa a um banho corrosivo, durante alguns minutos. O corrosivo é especialmente produzido para este fim, e pode ser encontrado a venda em lojas especializadas em eletrônica. Não se deve ter contato com este líquido, nem tão pouco inalar os vapores provenientes da reação química. Por isto, este processo é sempre feito em local bem ventilado, e utiliza-se uma pinça para manipular a placa.

**Quinto Passo:** Quando a corrosão está completa, retiramos imediatamente a placa do líquido, e a lavamos em água corrente. O líquido deve ser guardado em recipiente adequado (preferencialmente de vidro). Após a lavagem, retiramos a tinta com palha de aço.

**Sexto Passo:** Depois de secar a placa, é hora de se colocar os componentes eletrônicos em seus devidos lugares, e efetuar a soldagem. Após a soldagem dos componentes, cortamos as rebarbas dos terminais com um alicate.

## II.2 Solda

Para fazer as conexões em componentes eletrônicos em geral, efetuamos uma solda. Esta solda é feita de uma liga de estanho e chumbo, sendo que as de melhores marcas possuem formato de tubo, com uma substância conhecida como pasta de solda em seu interior. A pasta de solda possui o ponto de fusão muito abaixo do ponto de fusão da solda, servindo para melhorar a condução térmica entre o soldador (ou ferro de solda) e o componente. O soldador serve para aquecer o componente a ser soldado. É o componente aquecido que transmite calor a solda, e não o contrário.

Quando soldamos um componente, não devemos encarar esta operação com analogia a uma colagem. A solda deve envolver as duas partes a serem soldadas de uma maneira uniforme.

Depois de fria, a solda deve apresentar um brilho espelhado, e o componente deve estar preso de maneira bem firme, indicando que a operação ocorreu a contento (figura II.1). Caso contrário, a soldagem foi realizada a temperatura abaixo da recomendada, oferecendo vários problemas de contato elétrico. Dizemos então que ocorreu uma solda a frio. Toda a operação deve ser realizada em menos de um segundo, para que não se aqueça demais o componente soldado. Algumas vezes seguramos o componente com um alicate, para que se reduza o seu aquecimento durante a soldagem. Para realizar a soldagem, normalmente estanhamos (passamos um pouco de solda) nos terminais dos componentes, e depois realizamos a soldagem propriamente dita.



Figura II.1 – Exemplos de soldas bem feitas em uma placa de circuito impresso.

## II.3 Cuidados com montagem

### Dissipar calor em diodos, transistores e circuitos integrados [Melo, 1974]

Quando um componente eletrônico é submetido a uma certa intensidade de corrente, ele dissipa energia em forma de calor, devido ao efeito Joule. Quando esta corrente é de valor muito grande, é comum que ele aqueça muito, a ponto de ser danificado.

Em alguns circuitos, isto não pode ser evitado, e acaba se tornando parte do funcionamento normal do componente. Para que o componente não se danifique, ele deve então ser montado em uma estrutura de metal, normalmente de alumínio, chamada de dissipador de calor.

De acordo com a potência térmica dissipada, e a condutividade térmica entre o componente e o dissipador, são feitos cálculos para este dissipador. Nos circuitos abordados aqui, uma placa plana de alumínio, de 1 mm de espessura, 4 cm de altura, e 7,5 cm de largura é apropriada. Para melhorar a condutividade térmica, deve ser utilizada pasta térmica apropriada entre o componente e o dissipador. Quando o circuito é montado em caixa metálica, ela pode ser utilizada para dissipar calor.

### Limpar componentes e fios devido a verniz

Antes de se colocar qualquer componente em um circuito, deve ser feita uma limpeza em seus terminais. Geralmente, mesmo quando ainda novos, os terminais dos

componentes sofrem oxidação, dificultando a aderência da solda. A limpeza pode ser feita com uma palha de aço.

Alguns tipos de fios não possuem uma capa de borracha, mas sim uma camada especial de verniz isolante. Antes de se efetuar uma soldagem, esta camada de proteção deve ser retirada, lixando-se esta camada.



**ANEXO III – Tabela Para o Cálculo de Consumo de Energia**

<b>Aparelhos</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Tempo de Uso Diário (h)</b>	<b>Potência Elétrica (W)</b>	<b>Potência Elétrica Total(W)</b>
Televisão*				
Vídeo K7				
Aparelho de som				
Lâmpadas 100 W				
Lâmpadas 60 W				
Lâmpadas 40 W				
Lâmpadas 15 W				
Computador				
Chuveiro Elétrico				
Liquidificador				
Forno Elétrico				
Forno de Micro Ondas				
Geladeira				
Freezer				
Fogão				
Torradeira				
Lava Louças				
Lava Roupas				
Secadora de Roupas				

\* Se forem de modelos diferentes, verificar a potência de cada um.