

Universidade Federal de São Carlos
Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Exatas - PPGECE

**Semicondutores no Ensino Médio - Uma proposta de ensino de Física
Contemporânea**

Frederico Campos Freitas

São Carlos - SP

2013

Universidade Federal de São Carlos
Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Exatas - PPGECE

**Semicondutores no Ensino Médio - Uma proposta de ensino de Física
Contemporânea**

Frederico Campos Freitas

Dissertação realizada sob orientação do professor Doutor Adilson J. A. de Oliveira e apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Exatas, da Universidade Federal de São Carlos, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Ensino de Ciências Exatas - Física. Área de concentração: Ensino de Física

Orientador: Adilson Jesus Aparecido de Oliveira

São Carlos - SP

2013

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

F866se

Freitas, Frederico Campos.

Semicondutores no Ensino Médio – uma proposta de ensino de Física Contemporânea / Frederico Campos Freitas. -- São Carlos : UFSCar, 2014.

105 p.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2014.

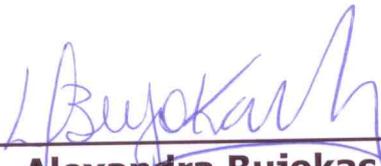
1. Física – estudo e ensino. 2. Física moderna e contemporânea. 3. Semicondutores. 4. Recursos audiovisuais. 5. Vídeos para ensino I. Título.

CDD: 530.7 (20ª)

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Adilson J. A. de Oliveira
DF – UFSCar - orientador



Profa. Dra. Alexandra Bujokas de Siqueira
CEAD - UFTM



Prof. Dr. Nelson Studart Filho
DF - UFSCar

Resumo

A maior parte dos aparelhos eletrônicos faz uso dos diodos e transistores baseados em semicondutores. Para que uma pessoa possa entender e se relacionar melhor com essas tecnologias, é importante que ela conheça alguns princípios básicos dos dispositivos nos quais ela se baseia. Existem vários documentos oficiais e trabalhos acadêmicos que abordam esse tema, sempre ressaltando a necessidade de se ensinar conceitos de Física Moderna e Contemporânea – em especial aqueles ligados a teoria quântica – para alunos do Ensino Médio. O objetivo desse trabalho foi a produção de quatro vídeos curtos, cuja intenção era ensinar conceitos de semicondutores no Ensino Médio. Nessa dissertação descreve-se o processo de produção dos roteiros, da gravação dos vídeos e sua aplicação em duas turmas do terceiro ano do Ensino Médio de um colégio particular da cidade de Uberaba-MG. Após a aplicação de cada um dos vídeos, foi entregue aos alunos um questionário composto por itens de Likert cujo objetivo era medir as atitudes dos estudantes em relação aos conceitos que foram trabalhados nos quatro vídeos. Os resultados dos questionários aplicados foram analisados à luz da teoria estudada, e de forma geral observou-se que os vídeos atingiram o objetivo esperado.

Abstract

Most of electronic devices use diodes and transistors based on semiconductors. For a people better relationship and understanding these technologies, is important to know some basic principles in what these devices are based. There are several official documents and academic researches related with this theme, always exalting of the need teach concepts of Modern Physics - especially those related to Quantum theory - for high school students. The goal of this work was the production of four short videos, whose intention was explain semiconductor concepts for high school students. In this master thesis is described the process of screenplay's production, videos' recording and its presentation on two classes of High School last grade of a private school in Uberaba-MG. After each video's presentation, a questionnaire with Likert's items was given to students for measure their attitude with reference to the concepts presented in these four videos. The questionnaires' results were analyzed from theory point of view, and the proposed goal has been achieved.

Dedico esse trabalho à minha esposa Edneide,
aos meus pais Tânia e Vicente e irmãos Henrique e Thaís,
aos meus padrinhos e avós Joana e Júlio
e aos meus avós (*in memoriam*) Lázara e Ulisses.
Muito obrigado por tudo.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por tudo.

Aos amigos, tios, primos e todos os familiares que sempre me apoiaram.

Ao meu orientador, prof. Dr. Adilson, pela paciência e suporte para realização do trabalho.

Aos amigos do Mestrado Profissionalizante em Ensino de Ciências Exatas do PPGECE, em especial ao Rodrigo Ganso, Dimitrius, Ricardo Varjão, Edson, Fábio Zanoni, Marina, Max e Lucas.

A todos os professores do PPGECE, em especial ao Prof. Dr. Nelson Studart Filho, à profa. Dra. Ducinei Garcia e ao prof. Dr. Pedro Malagutti.

Ao orientador de iniciação científica Cyro Ketzer Saul e à Ivanilda Higa, primeira orientadora em trabalhos na área educacional.

Colegas (e amigos) do Colégio Cenecista Dr. José Ferreira e da UFTM, em especial os da área de Física.

Prof. Dra. Alexandra Bujokas pela ajuda na confecção dos roteiros;

À toda equipe do LABI da UFSCar, em especial ao Tércio, Victor, Leandro e Léo pela gravação e edição dos vídeos.

Ao colégio Dr. José Ferreira, pelo espaço cedido para a realização dessa pesquisa.

À UFSCar pela oportunidade de realizar essa conquista.

Sumário

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

1	Introdução	p. 13
2	Breve histórico dos materiais semicondutores	p. 17
3	Introdução aos materiais semicondutores	p. 25
3.1	Sólidos Cristalinos	p. 25
3.2	Teoria das bandas de energia	p. 28
3.3	Semicondutores Extrínsecos	p. 32
3.4	Algumas aplicações de semicondutores	p. 35
4	O Ensino de Física Moderna no Ensino médio: Semicondutores	p. 39
5	Uso de vídeos no Ensino de Física	p. 51
6	Escala Likert	p. 59
7	Desenvolvimento	p. 61
8	Resultados	p. 66
8.1	Vídeo 1	p. 66
8.1.1	Análise das respostas “neutras”	p. 66
8.1.2	Análise das dúvidas	p. 67
8.1.3	Análise da distribuição das respostas	p. 68

8.1.4	Análise da relação entre a média e a resposta esperada	p. 69
8.1.5	Afirmativas com média próxima à resposta esperada	p. 70
8.2	Vídeo 2	p. 71
8.2.1	Análise das respostas “neutras”	p. 71
8.2.2	Análise das dúvidas	p. 72
8.2.3	Análise da distribuição das respostas	p. 73
8.2.4	Análise da relação entre a média e a resposta esperada	p. 74
8.2.5	Afirmativas com média próxima à resposta esperada	p. 74
8.3	Vídeo 3	p. 75
8.3.1	Análise das respostas “neutras”	p. 76
8.3.2	Análise das dúvidas	p. 77
8.3.3	Análise da distribuição das respostas	p. 78
8.3.4	Análise da relação entre a média e a resposta esperada	p. 78
8.3.5	Afirmativas com média próxima à resposta esperada	p. 78
8.4	Vídeo 4	p. 79
8.4.1	Análise das respostas “neutras”	p. 79
8.4.2	Análise das dúvidas	p. 81
8.4.3	Análise da distribuição das respostas	p. 81
8.4.4	Análise da relação entre a média e a resposta esperada	p. 82
8.4.5	Afirmativas com média próxima à resposta esperada	p. 83
8.5	Questionário de opinião	p. 84
9	Conclusão	p. 87
	Referências	p. 91
	Anexos	p. 95
	Material instrucional para o professor	p. 95

Introdução aos conceitos básicos dos semicondutores	p. 95
As bandas de energia	p. 97
Cristais Semicondutores	p. 101
Dopagem	p. 102

Lista de Figuras

2.1	Réplica do primeiro transistor fabricado por Brattain, Shockley e Bardeen. . .	p. 23
3.1	Ilustração famosa que mostra a diferença de caminho entre os raios que refletem em planos atômicos vizinhos.	p. 27
3.2	Gráfico que mostra a energia em função o vetor de onda de um elétron que se movimenta em um cristal com constante de rede a	p. 29
3.3	Imagem que representa as bandas de energia dos condutores, isolantes e semicondutores. E_F é o nível de Fermi e E_G é a energia de <i>gap</i>	p. 31
3.4	Imagem do “jogo dos 15” (ou <i>15-puzzle</i>).	p. 32
3.5	Imagem representando a banda de condução, a banda de valência, o nível de Fermi e os novos níveis que surgem nos semicondutores dopados tipo- N e tipo- P	p. 34
3.6	Esquema mostrando em (a) a representação de uma junção PN e a formação da zona de depleção e em (b) um gráfico mostrando a variação espacial do número de portadores em cada uma das regiões de uma junção PN	p. 35
3.7	Símbolo de um diodo.	p. 36
3.8	Símbolo que representa os transistores de junção NPN e PNP	p. 37
8.1	Respostas dadas ao questionário do vídeo 1.	p. 67
8.2	Questão do ENEM sobre a rapidez dos portadores de carga na corrente elétrica.	p. 70
8.3	Respostas dadas ao questionário do vídeo 2.	p. 71
8.4	Respostas dadas ao questionário do vídeo 3.	p. 75
8.5	Respostas dadas ao questionário do vídeo 4.	p. 80
8.6	Gráfico com as respostas fornecidas na pesquisa de opinião.	p. 85
1	Nos planos AA as esferas indicam regiões onde há núcleos atômicos. Nos planos RR, há predominância de elétrons.	p. 100

- 2 Esse gráfico relaciona a energia de um elétron que se movimenta em uma rede em termos do seu comprimento de onda. É interessante notar que esse gráfico é descontínuo em $k = \frac{\pi}{a}$, onde a é o espaçamento entre os núcleos dos átomos da rede. p. 100
- 3 Veja a diferença entre o espectro de bandas de um condutor, de um semicondutor(semicondutor) e de um aislador (isolante). p. 102
- 4 Símbolo gráfico de um diodo. p. 104
- 5 Símbolo gráfico de dois tipos de transistores. p. 105

Lista de Tabelas

7.1	Principais assuntos abordados em cada um dos vídeos.	p. 63
8.1	Média, desvio padrão e número de dúvidas das respostas das turmas ao questionário do vídeo 1.	p. 68
8.2	Média, desvio padrão e número de dúvidas das respostas das turmas ao questionário do vídeo 2.	p. 73
8.3	Média, desvio padrão e número de dúvidas das respostas das turmas ao questionário do vídeo 3.	p. 77
8.4	Média, desvio padrão e número de dúvidas das respostas das turmas ao questionário do vídeo 4.	p. 82

1 Introdução

Os processos de ensino e aprendizagem de Física estão sempre acompanhados de uma série de dificuldades, pois muitos dos conceitos abordados não estão vinculados ao cotidiano das pessoas, dificultando sua compreensão (MENDES et al., 2007; KESSLER, 2008). Essas dificuldades são observadas tanto em aulas práticas (MARINELI; PACCA, 2006; ELLSE, 1984), quanto em aulas teóricas (BARBETA; YAMAMOTO, 2002; MOREIRA; PINTO, 2003; MOREIRA; KREY, 2006) e decorrem do fato de que há um descompasso entre a Física escolar e a Física presente na maior parte dos fenômenos cotidianos (principalmente nos aparelhos eletrônicos). Microcomputadores, calculadoras eletrônicas, aparelhos de TV, tocadores de música portáteis, *smartphones*, *tablets*, entre outros, são exemplos de equipamentos cada vez mais comuns e cuja compreensão mais aprofundada demanda alguns conceitos de Física que normalmente não são abordados no Ensino Fundamental e Médio.

Uma das formas de diminuir esse descompasso entre a Física ensinada na escola e os fenômenos observados no cotidiano é o ensino de conceitos que permitam uma melhor compreensão das novas tecnologias e, por conseguinte, uma melhor interação com as mesmas. Um exemplo importante e que costuma ser deixado de lado é o ensino de Física Moderna e Contemporânea.

Existem algumas propostas didáticas para a inserção desses assuntos no Ensino Médio, mas a maior parte está centrada nos fundamentos conceituais, enquanto algumas contemplam as aplicações destes fundamentos em nosso cotidiano (PINTO; ZANETIC, 1999; OSTERMANN; MOREIRA, 2000; PEREIRA; OSTERMANN, 2009; CAVALCANTE; TAVOLARO, 2001; PAULA; ALVES, 2007). Temas como Relatividade e princípios da Mecânica Quântica são abordados, mas com pouca conexão com as suas aplicações práticas. Contudo, observa-se ainda uma demanda importante de propostas que atuem no sentido de inserir conceitos de Física Moderna no Ensino Médio (TERRAZZAN, 1992; PINTO; ZANETIC, 1999; LOBATO; GRECA, 2005; PEREIRA; OSTERMANN, 2009).

Talvez uma das aplicações mais importantes que surgiram a partir do advento da Física Quântica e que tem grande impacto em nosso cotidiano é a eletrônica, que teve o seu maior impulso com a descoberta do efeito transistor anunciado por Bardeen, Shockley e Brattain em Junho de 1948 (JENKINS, 2005), que permitiu o desenvolvimento da maioria dos

dispositivos eletrônicos que se conhece atualmente. Embora ao nosso redor existam inúmeros aparelhos eletrônicos como televisores, celulares, computadores, entre outros, pouco se discute a respeito dos conceitos fundamentais da Física que neles são aplicados, principalmente com os alunos do Ensino Fundamental e Médio. Nos poucos casos em que os fenômenos de Física Moderna aparecem nos livros didáticos, por exemplo, opta-se por uma abordagem muito superficial e que abrange somente fenômenos estudados no começo do século XX (OSTERMANN; MOREIRA, 2000; PEREIRA; OSTERMANN, 2009).

Existem alguns materiais e propostas que discutem os conceitos relacionados à Física Moderna e Contemporânea que se destinam ao entendimento dos materiais semicondutores (OLIVEIRA, 2012; PAULA; ALVES, 2007). Contudo, comparada a outros tópicos de Física Moderna e Contemporânea, considera-se essa escassez de materiais é preocupante, uma vez que a simples inserção desses tópicos em aulas tradicionais tende a ser pouco profícua. Existem exemplos de abordagens diferentes que tentam minimizar essa dificuldade podem ser encontrados (PEREIRA; OSTERMANN, 2009; CAVALCANTE; TAVOLARO, 2001; PAULA; ALVES, 2007; KESSLER, 2008; ELLSE, 1984; FONTES, 2010; CARMONA, 2008), mas o uso de vídeos de curta duração se apresentam como uma alternativa interessante, porque eles são um exemplo de recurso didático acessível, que atinge diversos universos sensoriais de maneira simultânea e cujo uso não requer um conhecimento técnico muito grande por parte dos professores. Além disso, é notório que os estudantes já utilizam vídeos para se informar e conhecer melhor um determinado assunto, mesmo sem a orientação do professor. Hoje em dia o acesso a esses vídeos é cada vez mais fácil, rápido e próximo às pessoas de todos os níveis sociais e econômicos (SILVA et al., 2005).

Dentro dessa perspectiva fez-se a escolha de se produzir vídeos de curta duração para ensinar semicondutores a estudantes do Ensino Médio. Além da simpatia pessoal pelo tema, essa escolha se deu por ser esse um tópico essencial na compreensão das atuais tecnologias às quais temos acesso. A escolha dos vídeos em tal abordagem se justifica principalmente pelo fato de que esse recurso permite o uso de grafismos e efeitos que não são conseguidos em abordagens tradicionais e também por ser um recurso que pode ser largamente utilizado pelos estudantes e professores.

Esse trabalho consistiu no planejamento, produção e aplicação de quatro vídeos curtos para ensinar conceitos relacionados aos materiais semicondutores no Ensino Médio. Esse planejamento contou com diversas etapas, das quais se destacam a produção do roteiro, a gravação dos vídeos, a sua aplicação em sala de aula e a análise do impacto que esse material teve nas atitudes dos estudantes frente a alguns conceitos avaliados. Todas essas etapas serão

descritas no decorrer do trabalho, assim como as teorias que as nortearam.

Dentro da fundamentação, no capítulo 2 é apresentada uma sucinta evolução histórica dos conceitos relacionados aos materiais semicondutores, iniciando-se pelo século XVII com os trabalhos de Gray. A partir disso, é feito um pequeno histórico da evolução desse campo de pesquisa, sem maiores detalhes teóricos. A ideia é fornecer um rápido panorama contextual dos desenvolvimentos que foram realizados nessa área, tão importante para toda a indústria e tecnologia eletrônica atual.

No capítulo 3 apresentam-se alguns conceitos relacionados aos semicondutores, sob a óptica da Física do Estado Sólido. Devido a extensão da teoria, somente alguns pontos são ressaltados, com ênfase na teoria das bandas de energia e no funcionamento dos diodos e transistores de junção. Essa foi a teoria que serviu de base para a elaboração dos roteiros dos vídeos.

No capítulo 4 é feita uma revisão documental e teórica da necessidade de se ensinar Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, baseada na documentação oficial do Brasil e em alguns trabalhos desenvolvidos nessa área. São focados principalmente os trabalhos que abordam questões relacionadas ao ensino dos conceitos de semicondutores, desde a necessidade da sua inserção na escola média, passando por exemplos de atividades teóricas e práticas nesse sentido. Na sequência, o capítulo 5 analisa o uso de recursos audiovisuais no ensino. É focado principalmente o uso de vídeo e a presença dos recursos audiovisuais nas aulas de Física e de Ciências. Contudo, aspectos gerais sobre mídias audiovisuais também são citados. São abordados também alguns trabalhos que falam sobre o uso de figuras de linguagem no ensino de Física, mais especificamente o uso de metáforas e analogias. Essa etapa foi importante principalmente na elaboração do roteiro, uma vez que essas figuras de linguagem foram bastante úteis na explicação dos fenômenos apresentados.

Como a análise do trabalho foi feita em grande parte utilizando-se escalas de Likert, no capítulo 6 são apresentados alguns trabalhos que falam sobre a origem e o uso de itens Likert em escalas psicométricas. São brevemente comentados alguns casos de uso dessas escalas na medição de atitudes de estudantes de Física do Ensino Médio.

No capítulo 7 todas as etapas do trabalho são descritas, desde seu início até a análise dos questionários aplicados aos alunos. Inicia-se pela descrição da elaboração dos roteiros e aborda a gravação dos vídeos. No capítulo seguinte (8) é dado um destaque maior para a avaliação dos questionários aplicados após a exibição dos vídeos. São apresentados inclusive as tabelas e os gráficos obtidos com os dados fornecidos pelos questionários que foram respondidos pelos estudantes de duas turmas matutinas do terceiro ano do Ensino Médio de um

colégio particular na cidade de Uberaba-MG. Por fim, no capítulo 9 é feita a conclusão do trabalho, ressaltando-se as principais inferências feitas a partir dos resultados conseguidos.

Ao final, nos anexos é colocado o material instrucional que foi desenvolvido para os professores que desejam utilizar os vídeos em sua aula. Esse material é composto, basicamente, de um pequeno resumo teórico dos principais conceitos que estão presentes nos vídeos e tem por objetivo orientar os professores em relação às eventuais dúvidas que podem surgir (para ele e para os estudantes) quando os vídeos são vistos. Além disso, nos anexos também podem ser encontrados os roteiros dos quatro vídeos e os questionários que foram aplicados aos alunos durante as atividades desenvolvidas.

2 Breve histórico dos materiais semicondutores

Stephen Gray (1667-1736) escreveu uma carta à Royal Society, por volta de 1730, descrevendo diversos experimentos feitos na área da eletricidade e por esse motivo, credita-se a ele o primeiro estudo sistemático da condução elétrica em sólidos e líquidos, mesmo que ele não tenha usado esses termos em seu trabalho (BUSCH, 1989). O primeiro a introduzir o conceito e o termo “condutor elétrico” foi Jean Théophile Désaguliers (1683-1744). Essa introdução foi feita em um trabalho, premiado em 1742, no qual ele ainda distingue os materiais em “elétricos” e “não-elétricos”.

O primeiro pesquisador a utilizar o termo “materiais de natureza semicondutora” foi Alessandro Volta (1745-1827), em um trabalho de 1782 (BUSCH, 1989; ŁUKASIAK; JAKUBOWSKI, 2010). Nesse trabalho ele relatou que os processos de descarga dos materiais ocorriam de três maneiras distintas. No caso dos metais, a descarga era quase instantânea. Nos isolantes não acontecia e nos semicondutores acontecia lentamente (BUSCH, 1989). Em seguida, Humphry Davy (1778-1829) construiu grandes pilhas e as utilizou para investigar a condutividade elétrica dos materiais em função da sua temperatura. Como ele usou somente metais, chegou a conclusão que a condutividade decrescia à medida que a temperatura aumentava. (BUSCH, 1989)

Michael Faraday (1791-1867) conhecia os experimentos de Davy e os repetiu para outros tipos de materiais. Por volta de 1833 ele obteve um resultado importante: a constatação que a condutividade do sulfeto de prata (Ag_2S), que é baixa à temperatura ambiente, tem um grande salto quando ele atinge temperatura de $175\text{ }^{\circ}\text{C}$ (basicamente porque ele tem uma transição no seu arranjo cristalino nessa temperatura). Apesar disso ele não publicou nenhum gráfico ou valor medido nesse caso (BUSCH, 1989; JENKINS, 2005). Esse comportamento era exatamente o oposto do que podia ser observado nos metais.

Em 1839, Alexandre-Edmond Becquerel (1820-1891), estava trabalhando com eletrodos de platina cobertos com cloreto de prata. Ele observou que a força eletromotriz gerada entre os dois eletrodos aumentava quando eles eram iluminados, o que pode historicamente a primeira observação do efeito fotovoltaico, que é gerado na interface entre o metal Ag e o semicondutor $AgCl$ (JENKINS, 2005).

Em 1851, Johann Wilhelm Hittorf (1824-1914) publicou medidas da condutivi-

dade do Ag_2S e do Cu_2S em função da temperatura. Ele comparou essas condutividades com a de um fio de platina de mesma resistência, e percebeu que no Ag_2S há uma descontinuidade próximo a $170\text{ }^\circ\text{C}$. Hoje se sabe que isso ocorre porque próxima a essa temperatura esse material sofre uma transição de fase estrutural que muda a configuração de sua rede cristalina (BUSCH, 1989).

Em 1873 Willoughby Smith (1828-1891) observou a fotocondutividade do Selênio, que se acreditava ser um metal. Ele descreveu pela primeira vez como a condutividade de uma amostra poderia variar de acordo com a luz que incidia sobre ela. Na sequência, em 1876, William Grylls Adams (1836-1915) e Richard Evans Day observaram que o Selênio gerava eletricidade quando iluminado por uma certa radiação. Contudo, muitos consideram que a primeira fotocélula foi construída por Charles Fritts (1850-1916), em 1883. Ele usou um substrato de Selênio coberto por uma fina camada de Ouro (JENKINS, 2005).

Karl Ferdinand Braun (1850-1918) estudou a corrente elétrica sobre vários sulfetos, como a *galena* (sulfeto de chumbo). Em 1874 ocorreu a primeira observação da retificação de sinais elétricos, levando Braun a ser o primeiro a construir um dispositivo retificador baseado em semicondutores, o diodo. No mesmo ano, Arthur Schuster (1851-1934) observou a retificação entre dois contatos de cobre, um normal e o outro oxidado (manchado). O óxido de cobre formado nesse caso atua como um semicondutor (JENKINS, 2005).

Hertz (1857-1894) produziu as primeiras ondas eletromagnéticas em 1887, e Braun iniciou experimentos com os seus retificadores para detecção de ondas eletromagnéticas o que culminou, em 1901, com a primeira patente de um dispositivo retificador baseado em semicondutores (nesse caso, galena) depositada por Sir J. C. Bose (1858-1937) (BUSCH, 1989). Com a difusão de emissores e receptores de ondas de rádio, aumentou a pesquisa acerca de dispositivos retificadores. Trabalhando para a AT&T entre os anos de 1902 e 1906, Greenleaf Whittier Pickard (1877-1956) pesquisou cerca de 30000 materiais diferentes e encontrou cerca de 250 deles que poderiam ser utilizados para construção de retificadores, sendo o material mais estável o Silício fundido. Depois desse extenso estudo, ele patenteou um detector de ondas de rádio de cristal de Silício. Na época, Pickard acreditava erroneamente que o efeito retificador tinha origem térmica.

Depois do Silício, não demorou muito para o Germânio ser utilizado. Em 1915, Carl Benedicks (1875-1958) publicou um artigo em que ele reporta o estudo da condutividade do Germânio (JENKINS, 2005). Esses retificadores ou diodos de ponto de contato têm sérias limitações, principalmente relacionadas ao alinhamento dos mesmos. Além disso, diodos e triodos baseados em válvulas termiônicas estavam sendo inventados e utilizados com mais su-

cesso, principalmente por sua robustez e maior eficiência, se comparados aos semicondutores, na época. Com a deposição da patente do diodo valvulado em 1904, por Sir John Ambrose Fleming (1849-1945) e do triodo a vácuo, em 1907, por Lee de Forest (1873-1961), o interesse pelos diodos semicondutores diminuiu rapidamente. Com os dispositivos valvulados era possível controlar um sinal intenso a partir de uma pequena corrente elétrica (JENKINS, 2005).

Vale lembrar que até a publicação dos trabalhos de Hall (1855-1938) e Rowland (1848-1901) em 1879, a natureza dos portadores de corrente elétrica não estava bem fundamentada. Estudando o efeito do campo magnético sobre a passagem de corrente elétrica em um condutor, eles observaram que esse campo faz surgir uma diferença de potencial, proporcional à intensidade de ambos, numa direção perpendicular à corrente elétrica e ao campo magnético, simultaneamente.

Outro passo importante para determinar o mecanismo da condução elétrica foi dado por Carl Viktor Emanuel Riecke (1845-1915), por volta de 1901. Ele fez um longo experimento, a partir do qual ele pôde concluir que havia uma chance muito grande de que a corrente elétrica nos metais fosse formada principalmente por elétrons, o que se confirmou em 1916, com Tolman (1881-1948) and Steward (1890-1958) (BUSCH, 1989). Contudo, Riecke e Drude (1863-1906), em duas teorias análogas, mas diferentes, postularam que a corrente elétrica poderia ser formada por portadores de carga positiva e negativa, com mobilidades e concentrações diferentes.

Johann Koenigsberger (1874-1946) acreditava que os portadores de carga surgiam a partir da dissociação de átomos em elétrons e seus íons positivos remanescentes. Essa dissociação dependeria exponencialmente de uma energia de dissociação e do inverso da temperatura absoluta do composto. A dependência da resistividade com a temperatura seguiria a mesma ideia. Dessa forma, a tal energia de dissociação seria infinita para os isolantes e zero para os condutores. Para os “condutores variáveis” o valor dessa energia de dissociação seria finito. Essas suposições de Koenigsberger foram propostas por volta de 1913 e se aproximam matematicamente do que se supõe hoje (BUSCH, 1989).

O termo “semicondutor” apareceu pela primeira vez em 1910 em um trabalho de Weiss, então estudante de Koenigsberger. Nesse trabalho, ele utilizou o termo *halbleiter* (semicondutor, em alemão), que ele repetiu em um trabalho de 1911. Contudo, quando publicou sozinho um *review* sobre o assunto, Koenigsberger utilizou o termo “condutores variáveis”, ao invés do termo semicondutor. Por isso, credita-se o uso do termo semicondutor à Weiss (BUSCH, 1989).

Karl Baedeker (1877-1914) conhecia bem as observações feitas por Koenigs-

berger, mas os semicondutores tinham uma reputação muito ruim na época. Isso porque os resultados conseguidos eram pouco reproduzíveis. Por isso, Baedeker inovou na sua metodologia de trabalho criando uma série de filmes finos metálicos por *sputtering*^a, em 1907, visando uma maior pureza e homogeneidade das amostras (BUSCH, 1989).

O primeiro grande resultado de Baedeker veio com o iodeto de cobre (CuI). Essa é uma substância que, à temperatura ambiente e exposta ao ar, se comporta como um isolante. Mas se colocado em contato com vapor de Iodo ou com alguma solução de alcoólica de Iodo a sua resistividade diminuía em várias ordens de grandeza e de forma reversível. O mesmo resultado foi observado para o Ag_2S . Baedeker percebeu que esses resultados eram compatíveis com a hipótese de que a condução, nessa temperatura, passava de iônica para metálica. E o resultado era idêntico ao observado 75 anos antes por Faraday (BUSCH, 1989).

Para provar que a condução passava a ser do tipo metálica, era necessário medir o efeito Hall nessas amostras. Mas o resultado sugeria que a corrente era composta por partículas positivas, o contrário do que ocorria com o Bismuto. E o mais interessante é que, assim como a resistividade, o coeficiente Hall também variava consideravelmente de acordo com a concentração de Iodo (BUSCH, 1989).

Durante a Primeira Guerra as pesquisas em semicondutores ficaram praticamente paralisadas. O primeiro trabalho relevante depois disso só veio em 1924, no qual Gudden (1892-1945) e Pohl (1884-1976) descreviam detalhadamente a condutividade das substâncias cristalinas, à exceção dos metais comuns. Em outro trabalho de 1930, Gudden afirmou que não haveria nenhuma substância pura com propriedades semicondutoras, ou seja, para ele essas propriedades eram devido às impurezas das amostras (BUSCH, 1989).

O interesse nos semicondutores ressurgiu em 1920, principalmente por conta dos diodos de barreira, que eram capazes de lidar com altíssimas correntes. Eles foram produzidos comercialmente e eram usados principalmente nos carregadores de baterias, sensores de luminosidade em fotografia e em elementos não-lineares em circuitos. Além disso, havia ainda um interesse cada vez maior em componentes que pudessem lidar com altas frequências. (JENKINS, 2005).

Em 1928, Maximilian Strutt (1903-1992), foi o primeiro a utilizar a equação de Schrödinger para um potencial periódico. Em seu pequeno artigo, Strutt conclui modestamente que seu trabalho poderia ajudar no entendimento da condução metálica e do fenômeno

^a*Sputtering* é uma técnica de deposição que consiste no bombardeamento de uma amostra sólida com íons. Esse bombardeamento arranca átomos desse sólido que são depositados em finas camadas sobre substratos utilizando-se câmaras de vácuo.

da supercondutividade (BUSCH, 1989).

Felix Bloch (1905-1983) atacou o problema logo na sequência. Na época ele era estudante de pós-doutorado no Instituto de Física Teórica da Universidade de Leipzig, orientado por Heisenberg (1901-1976). Também em 1928 ele apresentou um trabalho no qual ele mostra as propriedades gerais da equação de onda de um elétron submetido à um potencial periódico. Em especial, ele desenvolveu a teoria da dependência entre a condutividade elétrica dos metais com sua temperatura absoluta. No entanto, Bloch não tentou explicar a existência dos condutores, semicondutores e isolantes (BUSCH, 1989).

No começo da década de 30, Rudolf Peierls (1907-1995) apresentou o conceito de banda proibida (*gap*), que foi utilizado por Brillouin no mesmo ano. Também no início dos anos 30, Kronig (1904-1995) and Penney (1909-1991) desenvolveram uma teoria simples e analítica para potenciais periódicos (ŁUKASIAK; JAKUBOWSKI, 2010).

A tentativa de explicar a diferença entre condutores, isolantes e semicondutores foi dada por Alan Wilson (1906-1995). Em 1931, orientado por Fowler (1889-1944) em Cambridge e baseado nos trabalhos de Strutt e Bloch, ele foi o primeiro a explicar a diferença entre condutores, isolantes e semicondutores baseado na ideia de bandas de energia, vazias, cheias ou semi-preenchidas. Ele é considerado como um dos maiores contribuintes para a teoria de bandas de energia dos sólidos que domina a Física de Estado Sólido desde então (BUSCH, 1989) e que, de forma bastante simplificada e em sua versão moderna, foi utilizada como base teórica para elaboração desse trabalho de mestrado.

Em dois trabalhos produzidos em 1931, Wilson expõe suas ideias, além de explicitar a diferença entre semicondutores intrínsecos e extrínsecos usando o conceito de doadores e receptores. O modelo de Wilson explica facilmente o aumento exponencial da concentração dos portadores de carga com a temperatura. Ele também trouxe a ideia de que os portadores de carga positiva, chamados buracos, eram na verdade “vagas” deixadas por elétrons em bandas quase-preenchidas. Ele somente trouxe essa ideia, já que o primeiro a mostrar sua plausibilidade foi Heisenberg (ŁUKASIAK; JAKUBOWSKI, 2010). O sucesso do modelo de Wilson ficou consolidado principalmente porque com ele é possível explicar de maneira fácil a diferença do efeito Hall observado nos diversos condutores e semicondutores (BUSCH, 1989).

Ainda nos anos 30, Frenkel (1894-1952), Wagner (1901-1977), Schottky (1886-1976) e Jost (1903-1988) desenvolveram os seus modelos sobre defeitos pontuais em redes cristalinas, uma tentativa de explicar a condução eletrônica em cristais iônicos e sua condutividade. Na época se sabia que em redes cujos “defeitos” eram cátions, a condução parecia ocorrer por portadores de carga positiva (os hoje chamados “buracos”) e em redes cujos “defeitos” eram

ânions, a condução ocorria através de cargas negativas. Ao contrário do que acreditavam Guden (1892-1945) e os outros, hoje sabe-se que não é necessário dopar^b um material para que ele apresente propriedades semicondutoras (BUSCH, 1989).

Nos anos que se seguiram as propriedades elétricas de vários compostos “binários” foram investigadas (óxidos, sulfetos, selenetos, carbonetos, nitretos e outros). O problema é que os dados conseguidos por diferentes autores pareciam contraditórios. Só para citar um exemplo, o dióxido de cobre (Cu_2O) apresentava condutividade elétrica de 6 a 7 ordens de grandeza diferentes de um autor para o outro. Hoje sabe-se que esse desvio se deve às diferentes estequiometrias das amostras. No caso do dióxido de cobre, a condutividade aumentava à medida que se aumentava a pressão do oxigênio sobre a amostra. Já o óxido de zinco é o exemplo oposto. Nele a condutividade diminua nessa mesma situação (BUSCH, 1989).

Carl Wagner (1901-1977), em 1933, foi o primeiro a distinguir de forma clara o que hoje chamamos de semicondutores tipo **P** e tipo **N**. Na época eles recebiam o nome de “*Elektronen-Ueberschuss*” e “*Elektronen-Defekt-Leitung*”, que significa algo como “condução por excesso de elétrons” (tipo **N**) e “condução por deficiência de elétrons” (tipo **P**). Contudo, quase todos os problemas apresentados no estudo dos semicondutores até então estavam relacionados ao desconhecimento do nível de impurezas e da quantidade de defeitos presentes em cada amostra (BUSCH, 1989).

Uma das dificuldades de se construir dispositivos baseados em Silício estava no fato de que suas impurezas afetam de maneira significativa a sua condutividade, aliado ao fato de que era difícil obter Silício com alto grau de pureza. Por volta de 1940 foi criada uma técnica de obtenção de Silício policristalino que permitia um grau de 99,999% de pureza. Na mesma época também foi aperfeiçoada a técnica de obtenção de Germânio de alta pureza, o que permitiu a sua utilização em diodos de alto desempenho. Trabalhar com Germânio era mais fácil, uma vez que ele tem um ponto de fusão menor e é menos reativo do que o Silício (JENKINS, 2005).

Uma das primeiras ideias de construção de um transistor de estado sólido ocorreu por volta de 1925, mas a tentativa de construção de um transistor de efeito de campo só foi reportada por William Shockley em 1940. Contudo, a tentativa de construção de transistores de efeito de campo falhou nessa época. Brattain (1902-1987) e Bardeen (1908-1991) observaram que essa falha acontecia porque o campo elétrico não penetrava no *bulk* (JENKINS, 2005).

O time encabeçado por William Shockley, John Bardeen e Walter Brattain resolveu usar um *bulk* de Germânio no qual foram feitas algumas tentativas de contato elétrico. As

^bO conceito de dopagem é melhor discutido no capítulo 3

mais eficientes foram as feitas com contatos de duas tiras de folhas de ouro separadas por cerca de $50\mu m$, pressionadas sobre a superfície do Germânio. Para conseguir essa condição, uma tira de folha de ouro foi presa ao redor de uma extremidade de um triângulo de plástico. Com uma lâmina de barbear, foi feito um corte na tira de ouro em uma das pontas do triângulo, ponta essa que foi pressionada sobre o cristal de Germânio usando uma mola. Isso para que os contatos só tocassem levemente a superfície do Germânio. Na sua parte de baixo, o cristal estava apoiado sobre uma placa ligada à fonte de tensão. Com um dos contatos do ouro ligado com polarização direta e outro com polarização reversa, foi obtido um ganho de potência e o efeito transistor foi finalmente observado. Isso ocorreu em 16 de Dezembro de 1947. O anúncio da descoberta só ocorreu em junho de 1948 e o prêmio Nobel foi concedido ao trio em 1956 (JENKINS, 2005).

Figura 2.1: Réplica do primeiro transistor fabricado por Brattain, Shockley e Bardeen.



Fonte: <http://social.stoa.usp.br>.

Mesmo com a fabricação do primeiro transistor, havia ainda uma grande controvérsia sobre qual era a natureza do efeito. Bardeen e Brattain acreditavam que era um efeito de superfície enquanto Shockley pensava ser devido ao *bulk* e, para provar sua hipótese, Shockley propôs o que hoje conhecemos como transistor de junção. Em fevereiro de 1948, John Shive (1913-1984) colocou dois contatos de bronze fosforoso sobre uma peça de Germânio de $100\mu m$ de espessura. Como os contatos ficavam muito distantes (sua distância era muito maior que sua espessura), viu-se que só poderia ser um efeito do *bulk*. Contudo, somente em 1950 as técnicas de cristalização dos semicondutores permitiu a criação de transistores de junção como os pensados por Shockley. A partir dessa época os transistores puderam competir com as válvulas. Contudo, o semiconductor mais usado ainda era o Germânio. Somente em 1952

as técnicas de cristalização do Silício ficaram em um nível aceitável para uso comercial e, em 1954, foi reportada a construção do primeiro transistor de Silício. Hoje em dia, o Silício é mais utilizado porque é simplesmente o segundo elemento mais abundante na face da Terra (JENKINS, 2005).

O transistor é muito mais confiável, rápido e eficiente do que as válvulas. Em 1958, Jack Kilby (1923-2005) propôs o que chamamos de circuito integrado, uma série de transistores fabricados em um único substrato de Silício. As conexões entre esses transistores se dariam por espécies de fios de Alumínio depositado sobre uma máscara de óxido de Silício. Essa proposta foi feita independentemente por Robert Noyce (1927-1990) em 1959 e, em 2000, Kilby recebeu o prêmio Nobel por esse trabalho (ŁUKASIAK; JAKUBOWSKI, 2010).

Paralelamente à isso, Leo Esaki (1925-) desenvolveu o diodo de efeito túnel baseado em Germânio, em 1957 e baseado em Silício, em 1958. O diodo túnel é extremamente resistente às condições ambientais e, em 1973, Esaki ganhou o prêmio Nobel por esse trabalho. Em 1963 Steven Hofstein (1938-) e Fredric Heiman (1939-) publicaram um artigo sobre MOSFET (*Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor*) de Silício. No mesmo ano, o primeiro CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) foi proposto por Frank Wanlass (1933-2010). O conceito dos CCD (*Charge-Coupled Device*) foi apresentado em 1970, por Willard Boyle (1924-2011) e George Smith (1930-), que receberam em 2009 o prêmio Nobel por esse trabalho (ŁUKASIAK; JAKUBOWSKI, 2010).

Ainda hoje existem diversos pesquisadores que trabalham para conseguir materiais semicondutores com diferentes propriedades e entender melhor seus mecanismos de funcionamento. Obviamente existem ainda outros trabalhos igualmente dignos de nota, já que a pesquisa na área de semicondutores continua bastante ativa, mas que não foram citados por questão de brevidade.

3 Introdução aos materiais semicondutores

3.1 Sólidos Cristalinos

As principais teorias que são estudadas na Física do Estado Sólido tratam principalmente dos sólidos cristalinos. Eles recebem maior atenção porque a regularidade de seus arranjos atômicos lhes confere propriedades eletrônicas diferentes da maioria dos sólidos não cristalinos. É bom lembrar que um cristal perfeito é aquele composto pela repetição aparentemente infinita de grupos idênticos de átomos, com um espaçamento constante entre si.

Quando pensamos nas propriedades elétricas dos cristais, à primeira vista pode parecer que um elétron de baixa energia tem grande dificuldade para atravessar um sólido cristalino, pois ele tem átomos que estão a poucos ångstroms uns dos outros, valor com ordem de grandeza próxima à seção de choque desses elétrons e ao tamanho dos átomos. A princípio, do ponto de vista da Mecânica Clássica, isso não permitiria um livre caminho médio muito grande a um elétron incidente nesse cristal. No entanto, o que ocorre é geralmente o contrário. Um elétron normalmente é capaz de se mover livre e suavemente através da rede cristalina, o que só é possível porque o comprimento de onda associado a esses elétrons tem mesma ordem de grandeza do espaçamento da rede (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2005; KITTEL, 1978), fazendo com que seu movimento seja “governado” pelas leis da Mecânica Quântica.

Um dos primeiros indícios da periodicidade dos átomos em um cristal foi observado por mineralogistas, mas só foi confirmado pela descoberta da difração dos raios-X em cristais feitas por Laue (1879-1960). Os raios-X são adequados para esse propósito, pois eles têm comprimento de onda de tamanho próximo ao espaçamento interatômico dos átomos do cristal, que dessa forma irão se comportar como uma rede de difração para essa radiação.

Um cristal ideal é um arranjo infinito de átomos com espaçamento regular. Cada grupo de átomos que se repete nesse arranjo é chamado de base. O conjunto de pontos matemáticos aos quais as bases estão associadas é chamado de rede cristalina. Essa rede, no caso tridimensional, é definida através de três vetores de translação (por exemplo, \vec{a} , \vec{b} e \vec{c}), tal que o arranjo dos átomos no cristal parece o mesmo quando vistos de um ponto descrito por um vetor

\vec{r} ou por um vetor \vec{r}' que obedecem à seguinte relação:

$$\vec{r}' = \vec{r} + u_1\vec{a} + u_2\vec{b} + u_3\vec{c} \quad (3.1)$$

sendo u_1 , u_2 e u_3 dados por números inteiros. O mapeamento completo de uma rede pode ser dado por translações, como a definida na equação 3.1, ou por operações de simetria (como rotações). Existem 14 tipos de redes cristalinas, das quais as mais importantes são as redes cúbicas (simples, de face centrada e de corpo centrado). Os semicondutores mais importantes (Silício e Germânio) são formados por redes cúbicas de face centrada, e sua estrutura cristalina é chamada de estrutura diamante, na qual cada átomo tem 4 vizinhos próximos. Não por coincidência essa é a estrutura cristalina que o carbono pode assumir e que dá nome ao cristal formado por ele.

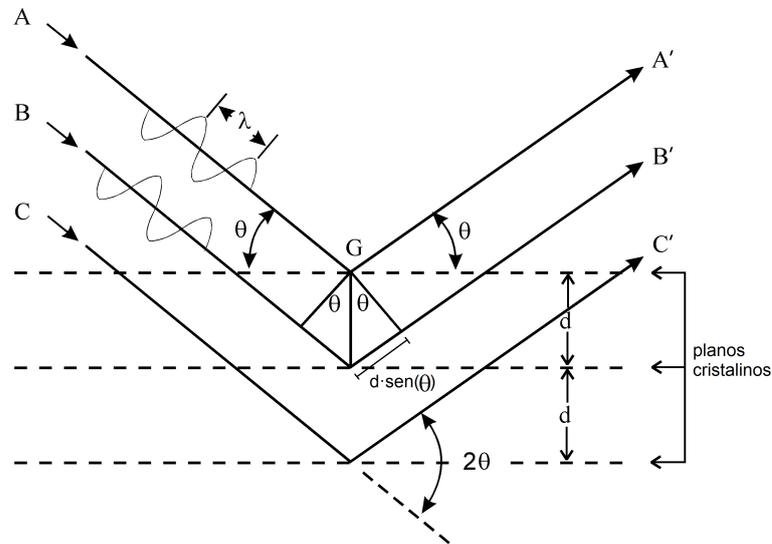
Como dito anteriormente, o uso de raios-X para analisar a periodicidade de um cristal é bastante apropriado e teve início com os experimentos de Max von Laue, no começo do século XX. Contudo, a explicação mais simples e famosa para a análise dessa difração foi proposta por William Lawrence Bragg e seu pai, William Henry Bragg em 1913. Eles mostraram que os planos atômicos do cristal podem ser comparados às redes de difração tridimensionais. Para isso, considera-se que as ondas incidentes sejam refletidas regularmente por cada um dos planos atômicos, com cada plano refletindo apenas parte da radiação incidente. Como a reflexão é regular, o ângulo de incidência da radiação é igual ao ângulo refletido. Dessa forma, os feixes difratados são observados na direção em que os raios refletidos por planos atômicos vizinhos sofrem interferência construtiva. A condição de interferência pode ser obtida se os planos atômicos do cristal forem considerados com estando igualmente espaçados por uma distância d , por exemplo.

Nesse caso, com o auxílio da figura 3.1, é possível ver que a diferença de caminho é igual a $2 \cdot d \cdot \sin(\theta)$ e a condição de interferência construtiva é dada por:

$$2 \cdot d \cdot \sin(\theta) = n \cdot \lambda \quad (3.2)$$

A partir da lei de Bragg, foi possível medir a distância entre os planos atômicos de um sólido e estudar de forma mais detalhada sua estrutura. Quando é analisado o movimento dos elétrons em uma rede cristalina, necessariamente é preciso levar em conta a dualidade onda-partícula para eles. Como proposto por Louis de Broglie em 1924, o comprimento de onda

Figura 3.1: Ilustração famosa que mostra a diferença de caminho entre os raios que refletem em planos atômicos vizinhos.



Fonte: Imagem adaptada de www.if.ufrgs.br.

associado a uma partícula de massa m e que se movimenta com velocidade v será:

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v} \quad (3.3)$$

Para um elétron de baixa energia, esse comprimento de onda é de tamanho próximo ao espaçamento dos átomos do cristal. A partir desse comprimento de onda, é possível definir o vetor de onda \vec{k} associado a esse elétron como:

$$\vec{k} = \frac{2\pi}{h} \cdot \vec{p} \quad (3.4)$$

A energia total desse elétron, em função do seu vetor de onda, é:

$$E = \frac{\hbar^2}{2m} k^2 + U_0 \quad (3.5)$$

em que o primeiro termo é devido à energia cinética do elétron e o segundo termo é a média da energia potencial de interação desse elétron com os íons do cristal.

3.2 Teoria das bandas de energia

Contudo, quando um elétron se move dentro de um sólido cristalino, a energia potencial de interação entre ele e os átomos do cristal é periódica, assim como as posições desses átomos. Sendo assim, pode acontecer de um elétron ter um comprimento de onda tal que ele satisfaça a condição de difração de Bragg ($k = \frac{n\pi}{a}$). Se $n = 1$, por exemplo, a função de onda associada a esse elétron poderá se comportar como uma onda estacionária dentro do cristal. Em um dos casos possíveis, os ventres dessa onda estacionária coincidirão com os núcleos átomos (que tem energia potencial negativa – atraem o elétron) e, no outro caso, esses ventres coincidirão com o ponto médio entre os núcleos dos átomos (que tem energia potencial positiva – repelem os elétrons). O primeiro caso terá energia potencial menor do que o segundo caso, e a diferença entre a energia potencial associada a essas duas ondas estacionárias pode ser definida como sendo ΔV . Se for feito um gráfico de como varia a energia total de um elétron em função do seu vetor de onda, observa-se que, por causa da condição de Bragg surge uma descontinuidade quando $k = \frac{n\pi}{a}$. Ou seja: o elétron ganha energia à medida que sua velocidade aumenta, até as proximidades dessa condição (ponto **A** da figura 3.2). Quando ela é satisfeita há uma descontinuidade, e a energia do elétron só volta a crescer novamente a partir de um novo valor (ponto **B** da figura 3.2). A diferença entre a energia associada a essas duas condições ($E_{\mathbf{B}} - E_{\mathbf{A}} = \Delta V$) é chamada de banda de energia proibida, ou *gap* de energia. Seu significado é bem simples: o elétron simplesmente não terá nenhum valor de energia dentro dessa banda. Valores menores e maiores são “permitidos”, mas valores dentro desse intervalo não serão observados para esses elétrons.

Dessa forma vê-se que para um átomo livre existe uma quantização dos valores permitidos para a energia de um elétron. Portanto, é de se imaginar que um arranjo periódico de átomos deve interagir entre si, fazendo com que haja um pequeno deslocamento dessas energias permitidas. Uma das interpretações para as bandas de energia observadas em um cristal considera que essas bandas advêm exatamente da interação entre os níveis de energia individuais de cada átomo. É possível, inclusive, calcular aproximadamente quantos “orbitais” contribuem para a formação de cada banda de energia. Em (KITTEL, 1978), vê-se que cada banda de energia contém $2q$ orbitais independentes, onde q é o número de células primitivas do cristal. O preenchimento dessas bandas de energia estará ligado, principalmente, ao número de átomos de cada célula primitiva e ao número de elétrons de valência que esses átomos apresentam.

Tal preenchimento segue dois princípios básicos: primeiro, um elétron ocupa sempre o nível de energia mais baixo. Segundo, pelo princípio de exclusão de Pauli, dois elétrons não podem ocupar exatamente o mesmo estado quântico, ou seja, dois elétrons não

Figura 3.2: Gráfico que mostra a energia em função o vetor de onda de um elétron que se movimenta em um cristal com constante de rede a .

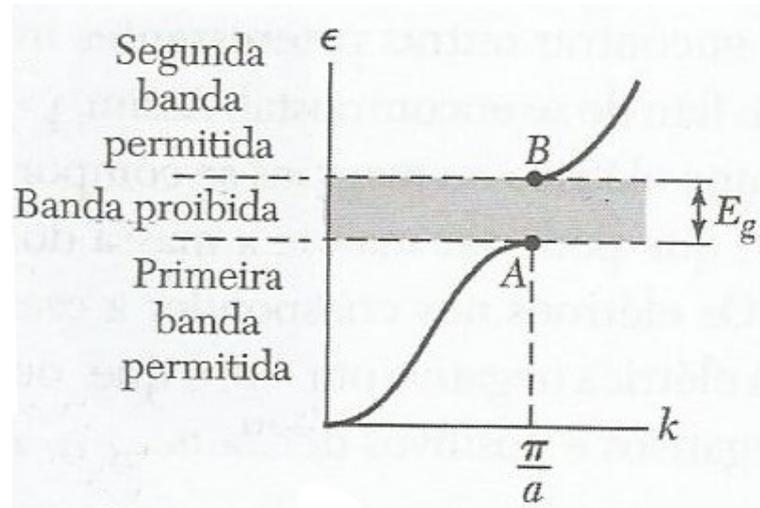


Figura adaptada de (KITTEL, 1978).

podem compartilhar exatamente todas as suas propriedades. Eles podem até ter o mesmo valor de energia, mas para isso devem ter valores de *spin* diferentes, por exemplo. A partir desse princípio e usando as leis de Mecânica Quântica, é possível calcular o nível de energia mais alto ocupado por um sistema de N elétrons, no estado fundamental. Esse nível é chamado de energia de Fermi e é dado por:

$$\epsilon_F = \frac{\hbar^2}{2m} \cdot \left(\frac{3\pi^2 N}{V} \right)^{2/3} \quad (3.6)$$

onde N/V é a concentração de elétrons do sólido.

A distribuição de Fermi-Dirac não é constante, mas depende da temperatura da amostra. Os elétrons só ocuparão estados de energia igual ou menor do que o definido pela equação 3.6 se estiverem com temperatura de $0K$. Para qualquer temperatura superior, haverá uma distribuição dos elétrons próximos ao nível de Fermi. A probabilidade de se encontrar um elétron com energia E devido a essa temperatura é dada pela função de Fermi ($f(E)$):

$$f(E) = \frac{1}{e^{\left(\frac{E-\epsilon_F}{k_B T}\right)} + 1} \quad (3.7)$$

Dessa forma, a “largura” dessa faixa de ocupação parcial será:

$$\Delta\epsilon \cong 50k_B T \quad (3.8)$$

Contudo, inicialmente será considerada a situação de zero absoluto. Nesse caso, todos os estados ocupados pelos elétrons de um cristal terão energia menor ou igual ao nível de Fermi e, estados com energia superior a esse nível estarão totalmente desocupados. O estado ocupado de maior energia nem sempre é igual ao nível de Fermi porque pode ocorrer desse nível estar exatamente sobre uma região de energia proibida. Quando isso acontece, as bandas de energia com valores abaixo do nível de Fermi estarão completamente preenchidas, enquanto que as bandas com valores de energia maiores estarão vazias. A última banda completamente preenchida é chamada de banda de **valência**. A banda “seguinte” é chamada de banda de **condução**.

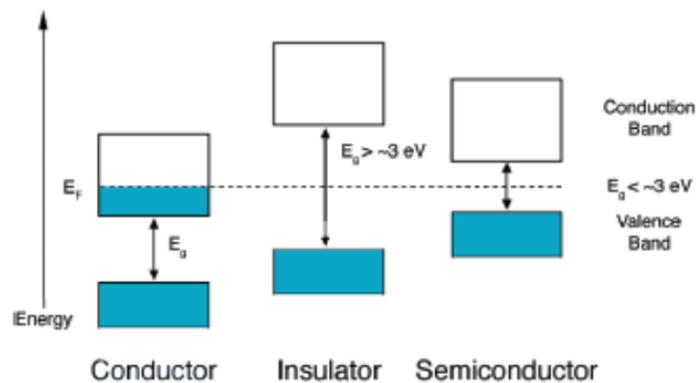
Em um condutor a $0K$, o nível de Fermi está dentro de uma banda permitida. Sendo assim, diz-se que os condutores têm uma banda de valência completamente preenchida e sua banda de condução está parcialmente preenchida. Nesse caso, os elétrons dessa última banda poderão ganhar pequenos valores de energia se eles forem submetidos a um campo elétrico, ou seja, é fácil estabelecer corrente elétrica nesses materiais.

No caso de uma banda de valência completamente preenchida e de uma banda de condução vazia, temos o cristal se comportando como um isolante. Se for aplicado a ele um pequeno campo elétrico, os elétrons da banda de valência não ganham energia suficiente para irem para a banda de condução e, com isso, não se movimentarão. Mesmo que haja uma temperatura ambiente maior que $0K$ a faixa de ocupação parcial dos elétrons (equação 3.8) não terá “largura” suficiente para vencer o *gap* de energia. Com isso, os elétrons da banda de valência continuarão “presos”.

Em termos da distribuição dos elétrons nas bandas de energia, os semicondutores são bastante semelhantes aos isolantes. A diferença é que, no caso desses materiais, a zona de ocupação parcial (equação 3.8) tem tamanho próximo à energia de *gap* desses materiais, ou seja, poderão existir elétrons “promovidos” da banda de valência para a banda de condução por processos térmicos, por exemplo. Isso faz com que a condutividade desses materiais aumente com a temperatura, pois os efeitos da “promoção” dos elétrons da banda de condução serão muito maiores do que o aumento no número de colisões dos elétrons que formam a corrente elétrica. Como nos condutores essa “promoção” térmica tem um papel praticamente nulo, um aumento de temperatura desses compostos diminui sua condutividade justamente por aumentar a taxa de colisão entre os elétrons. O resumo visual das bandas de energia dos isolantes, condutores e semicondutores está colocada na figura 3.3:

Por volta de 1879, Edwin Herbert Hall escreveu um trabalho no qual ele descreve o surgimento de uma diferença de potencial transversal à passagem de corrente em um material

Figura 3.3: Imagem que representa as bandas de energia dos condutores, isolantes e semicondutores. E_F é o nível de Fermi e E_G é a energia de *gap*.



Fonte: www.if.ufrgs.br.

submetido a um campo magnético perpendicular à corrente e à diferença de potencial observada. A partir desse coeficiente, é possível medir a densidade e a carga dos portadores que compõe a corrente elétrica em um material.

Fazendo o experimento descrito por Hall, é possível concluir que a corrente elétrica dos condutores é composta basicamente de elétrons, como considerado na teoria. Contudo, quando a medida desse coeficiente de Hall é feita nos materiais semicondutores, há uma “surpresa”. Neles, além da movimentação dos elétrons promovidos para a banda de condução, a corrente elétrica também é composta pela movimentação dos “buracos” deixados por esses elétrons na banda de valência.

Em um primeiro momento, pode ser difícil acreditar nessa possibilidade. Mas basta pensar na seguinte metáfora: um “jogo dos 15” (*15 puzzle*, ou 14-15) trata-se de uma pequena caixa quadrada, com 16 espaços cobertos por quinze peças numeradas também quadradas e um espaço vazio para que se possa movimentá-las (figura 3.4). É óbvio que só podemos mover diretamente as peças, mas ao fazê-lo movimentamos também o buraco, ou a “falta de peças”. Algo similar acontece nos semicondutores, fazendo com que os buracos (que são “falta de elétrons”) se movimentem e contribuam para a corrente elétrica desses materiais. Esses buracos se comportam como se fossem cargas positivas, inclusive com uma massa efetiva que depende das bandas de energia do cristal.

Figura 3.4: Imagem do “jogo dos 15” (ou *15-puzzle*).



Fonte: www.mypuzzles.xtreemhost.com.

3.3 Semicondutores Extrínsecos

As condições que foram comentadas anteriormente se aplicam somente aos materiais semicondutores com alto grau de pureza. Esses materiais podem ser compostos de um único elemento químico, do grupo 14 da tabela periódica (Si, Ge, entre outros), da composição de elementos dos grupos 13 e 15 (GaAs, InSb, entre outros) ou da composição de elementos dos grupos 2 e 16 (ZnS, CdS, entre outros). Em todos os casos, os sólidos formados por semicondutores puros são chamados também de semicondutores *intrínsecos*.

A inserção de impurezas nos semicondutores do grupo 14 ou o balanço “incorreto” da estequiometria dos semicondutores compostos muda drasticamente a condutividade desses materiais. Só para se ter uma ideia: se em um cristal de Silício puro for feita a adição de Boro na proporção de 1 átomo de Boro para cada 10^5 átomos de Silício, condutividade é multiplicada por 1000. A inserção de impurezas de forma controlada e proposital é chamada de **dopagem** do semicondutor.

Para entender melhor esse processo de dopagem, utilizar-se-ão como base o Silício e o Germânio, cujos átomos tem 4 elétrons na última camada eletrônica. Quando eles formam um cristal semicondutor puro (de Silício ou Germânio), a configuração de menor energia é aquela na qual eles se ligam com outros quatro átomos vizinhos idênticos. Se um átomo

do grupo 15 da tabela periódica for utilizado como impureza dopante (Fósforo, Arsênio, ou Antimônio, por exemplo) e se incorporar à rede cristalina no lugar de um átomo de Silício (ou de Germânio), ele fará quatro ligações com os seus átomos vizinhos. Contudo, como esses dopantes têm cinco elétrons na última camada eletrônica, um dos elétrons dessa camada fica “sobrando”. Por isso, muitas vezes os dopantes desse tipo são chamados de doadores. É importante ressaltar que a impureza não altera de maneira essencial os estados permitidos ou proibidos que já apareciam no espectro de energia do semiconductor puro. A única mudança que ocorre nas bandas de energia é o surgimento de um novo estado eletrônico, proveniente da presença desses elétrons “doados” pelas impurezas. Esse novo estado fica dentro do *gap* de energia do semiconductor, muito mais próximo do fundo da banda de condução do que do topo da banda de valência. É observado ainda que o nível de Fermi desse semiconductor, que normalmente fica no meio do *gap* de energia, agora passa a ficar entre esse novo nível e o fundo da banda de condução. É importante ainda ressaltar que os elétrons “doados” pelas impurezas ocupam esse novo nível de energia, chamado normalmente de nível dos doadores e, por isso, os semicondutores dopados dessa forma são chamados de semicondutores tipo-N. Nesses semicondutores, a corrente elétrica será composta basicamente pelos elétrons dos níveis doadores que são facilmente promovidos para a banda de condução e, com isso, os portadores de corrente nesse caso serão cargas negativas. Convém ressaltar que esse processo de dopagem não deixa o semiconductor carregado eletricamente, como pode parecer. O semiconductor tipo-N ainda fica eletricamente neutro, já que as impurezas adicionam elétrons à rede, mas também adicionam prótons (dentro do seu núcleo). Por isso, a carga líquida total continua sendo zero.

Da mesma forma que uma impureza do grupo 15 introduz elétrons em um cristal de Silício (ou Germânio), podem ser adicionadas a ele impurezas do grupo 13, que são trivalentes (as mais utilizadas são Boro, Alumínio, Gálio e Índio). Quando um desses átomos trivalentes se incorporar à rede cristalina no lugar de um átomo de Silício (ou de Germânio), ele fará três ligações com os seus átomos vizinhos. Sabe-se que para minimizar energia, os átomos de Silício fazem quatro ligações e, no caso dos vizinhos do dopante trivalente, fica faltando um elétron para completar esse quadro. Por isso, essas impurezas tem a tendência de aceitar elétrons, sendo por isso chamadas de aceitadoras.

De forma muito similar ao caso anterior, quando essas impurezas aceitadoras são introduzidas de forma controlada e intencional em um semiconductor puro, as modificações geradas por essa dopagem serão muito semelhantes ao caso anterior: as bandas do semiconductor não serão alteradas pelo dopante, à exceção de um novo estado que surge dentro do *gap* de energia. Esse novo estado estará muito mais próximo do topo da banda de valência do que do fundo da banda de condução. Outra mudança ocorrerá com o nível de Fermi que, nesses semicondu-

tores dopados com aceitadores, passa a ficar entre o novo nível eletrônico e a banda de valência. Na temperatura do zero absoluto, esse novo nível eletrônico deveria ficar vazio, mas como ele fica próximo da banda de valência, é necessária uma temperatura muito pequena para promover elétrons até esse novo nível, deixando buracos na banda de valência. Esse tipo de semiconductor dopado com aceitadores terá facilidade em conduzir corrente, que será formada basicamente pelos os buracos deixados na banda de valência pela promoção de elétrons até o novo nível. Como esses portadores se comportam como cargas positivas (o que pode ser comprovado pelo efeito Hall), os semicondutores dopados dessa forma são chamados de semicondutores tipo-**P**. De forma análoga ao caso anterior, vale a pena lembrar que esses semicondutores também são eletricamente neutros pois, para cada “falta” de elétron que ele insere no cristal, há um núcleo atômico com um próton “a menos”, se comparado ao semiconductor puro. Por isso, a carga líquida de um semiconductor dopado tipo-**P** também é zero.

Figura 3.5: Imagem representando a banda de condução, a banda de valência, o nível de Fermi e os novos níveis que surgem nos semicondutores dopados tipo-**N** e tipo-**P**.

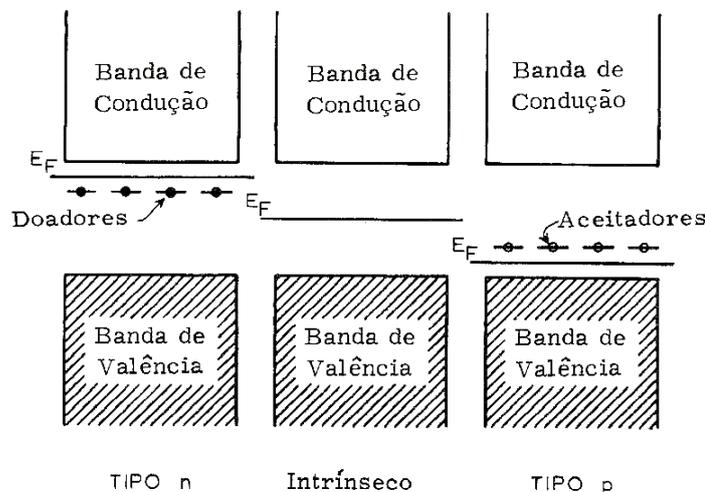


Figura adaptada de (FALICOV, 1968).

Os semicondutores dopados tipo-**N** e tipo-**P** são chamados de semicondutores extrínsecos. A figura 3.5 representa como ficam o nível de Fermi e os novos níveis que surgem nos semicondutores extrínsecos, se comparados a um semiconductor intrínseco. É interessante mostrar ainda que o número de elétrons cedidos pelas impurezas doadoras, em função da temperatura (para o caso de temperaturas pequenas), pode ser aproximado por (KITTEL, 1978):

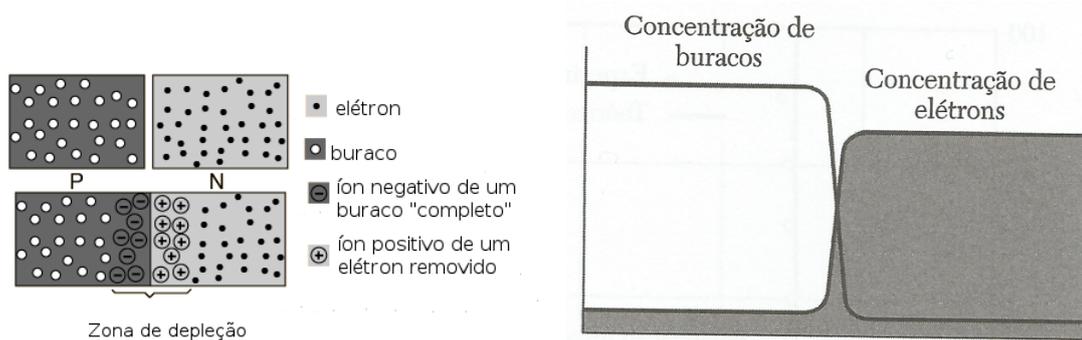
$$n \cong \left[2 \left(\frac{2m_e k_B T}{2\pi \hbar^2} \right)^{3/2} \cdot N_d \right] e^{(-E_d/2k_B T)} \quad (3.9)$$

onde N_d é a concentração de doadores e E_d é a energia do nível doador. Um resultado muito similar pode ser encontrado para o caso dos aceitadores. Vê-se que o número de elétrons cedidos dependerá da temperatura, como esperado, mas essa dependência não é descrita de uma forma muito simples.

3.4 Algumas aplicações de semicondutores

Um monocristal composto por um semiconductor intrínseco pode ser modificado de forma a ter duas regiões com dopagens distintas. Uma junção **P-N** é feita exatamente dessa forma, adicionando-se impurezas doadoras de um lado do material e impurezas aceitadoras do outro lado. A região de interface entre essas duas regiões pode ser da ordem de alguns microns. Nela, há difusão entre os elétrons do lado **N** para o lado **P**, deixando o lado **P** com um excesso de cargas negativas e o lado **N** com um excesso de cargas positivas. Essa região é chamada de *zona de depleção*. Essa concentração de cargas faz surgir um campo elétrico interno (da ordem de 10^6 a $10^8 V/m$) que impede outras difusões, fazendo com que a junção não permita a passagem de corrente elétrica entre os seus eletrodos se não houver uma diferença de potencial externa. A figura 3.6 mostra a zona de depleção e a concentração de elétrons e buracos em cada um dos lados da junção.

Figura 3.6: Esquema mostrando em (a) a representação de uma junção **PN** e a formação da zona de depleção e em (b) um gráfico mostrando a variação espacial do número de portadores em cada uma das regiões de uma junção **PN**.



(a) Imagem adaptada de www.quarkology.com. (b) Imagem adaptada de (KITTEL, 1978).

A propriedade mais importante desse tipo de junção é permitir a passagem de corrente elétrica somente em um sentido. Isso porque quando se aplica um potencial negativo do lado **P** e positivo no lado **N** da junção, o campo elétrico externo gerado por esses potenciais tende a extrair os portadores, de ambos os lados, da zona de depleção, dificultando a recombinação dos elétrons e dos buracos. Essa recombinação é necessária para que ocorra a

passagem de corrente pela junção e, na situação descrita acima, ela não ocorrerá. Quando esse tipo de polarização se configura, não há passagem de corrente pela junção e, por isso, ela é chamada de polarização inversa.

No caso contrário, quando se aplica um potencial positivo no lado **P** e um potencial negativo no lado **N** da junção, diz-se que há uma polarização direta. Nesses casos, o potencial aplicado externamente tende a empurrar os portadores de ambos os lados sobre a zona de depleção, onde ocorre a recombinação entre os elétrons e os buracos, gerando corrente elétrica.

Os componentes eletrônicos que permitem a passagem de corrente em um único sentido são chamados de **diodos**. As junções **PN** formam um tipo de diodo bem conhecido, chamado de diodo de junção. Por suas propriedades, eles são utilizados nos televisores, aparelhos de rádio, carregadores de celulares, fontes de computadores, entre outros equipamentos, principalmente naqueles em que é necessário fazer a transformação da corrente alternada em corrente contínua. A fim de deixar claro o sentido em que a corrente pode ser estabelecida no diodo, ele tem um símbolo específico, dado pela figura 3.7:

Figura 3.7: Símbolo de um diodo.

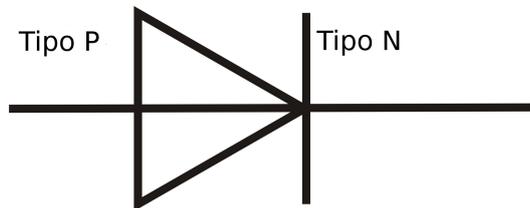


Imagem adaptada de <http://commons.wikimedia.org>.

Além do diodo, podem ser feitos também transistores de junção. Eles são compostos pela junção de semicondutores **PNP** ou **NPN**. Os transistores **NPN**, por exemplo, são compostos por duas camadas tipo-**N** separadas por uma estreita zona **P**, geralmente com um grau de dopagem muito menor do que as duas regiões tipo-**N**. A cada uma das três regiões é ligado um eletrodo. No tipo de transistor citado, as zonas tipo-**N** são ligados eletrodos chamados de coletor (**C**) e emissor (**E**). À região tipo-**P** é ligado um eletrodo chamado de base (**B**). Se esses eletrodos forem corretamente ligados, através de um sinal enviado à base do transistor é possível controlar a corrente que passa entre o coletor e o emissor. Para isso, as polarizações têm que ser feitas da seguinte forma:

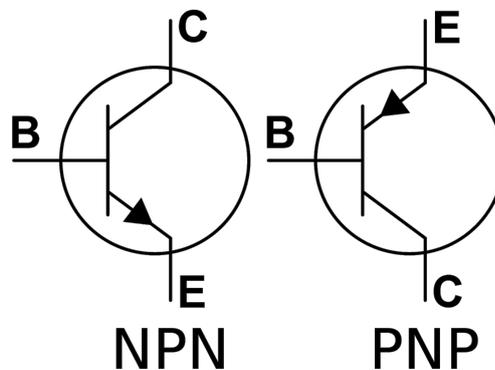
- O coletor deve estar sempre ligado a um potencial maior do que o potencial do emissor. Assim, a tendência será os elétrons passarem do emissor para o coletor.

- O coletor deve estar sempre ligado a um potencial maior do que o potencial da base. Isso faz com que o sistema formado por base e coletor forme uma espécie de diodo no estado de polarização inversa. Por isso a corrente entre coletor e base é mínima.
- A base deve estar sempre ligada a um potencial maior do que o emissor, formando entre eles uma espécie de diodo no estado de polarização direta.

É esse sinal entre base e emissor que controlará a corrente entre coletor e emissor. O resultado disso pode ser a amplificação do sinal estabelecido entre a base e o coletor. Se não houver nenhum sinal na base, a região dopada tipo-**P** impede que haja corrente entre coletor e emissor. Como a corrente principal ocorre entre duas regiões com dopagem **N**, ela é composta majoritariamente por elétrons.

Nos transistores **PNP** ocorre uma situação muito parecida, mas neles a condução se dá principalmente por buracos e as polarizações da base, coletor e emissor ficam invertidas. Como a mobilidade dos buracos nesse caso costuma ser menor, se comparada aos elétrons, os transistores de junção mais utilizados são os **NPN**. Os símbolos dos dois tipos de transistores de junção estão na figura 3.8:

Figura 3.8: Símbolo que representa os transistores de junção **NPN** e **PNP**.



Fonte: <http://robokyle.wordpress.com>.

Hoje em dia existem vários outros tipos de diodos e transistores além daqueles baseados na junção de semicondutores dopados, e cujo funcionamento está ligado a diferentes efeitos. Por serem mais baratos, econômicos e energeticamente eficientes do que as válvulas a vácuo, os diodos e transistores baseados em semicondutores representaram uma revolução na eletrônica. Só para se ter uma ideia, em um processador de computador são utilizados centenas de milhões de transistores com tamanho aproximado de $22nm$ (INTEL, 2011). Outra grande vantagem dos dispositivos semicondutores é a sua capacidade de integração, uma vez que todos os transistores e diodos de um circuito integrado podem ser fabricados em uma única peça,

apenas pela dopagem controlada de algumas regiões. Apesar do grande avanço ocorrido desde a invenção do primeiro transistor, com Brattain, Shockley e Bardeen no final da década de 40, a miniaturização desses dispositivos deve ter um limite. Mas por enquanto praticamente toda tecnologia atual está baseada nos materiais semicondutores.

4 O Ensino de Física Moderna no Ensino médio: Semicondutores

Existem dificuldades inerentes a todos os processos de ensino e aprendizagem. No caso da Física, são vários os obstáculos apontados, mas um questionamento que costuma aparecer com frequência pode ser resumido pela pergunta: “*Por que temos que estudar esse assunto/tópico?*”. Se fizermos essa pergunta no que diz respeito aos conceitos relacionados aos materiais semicondutores, as respostas podem ser as mais diversas.

Em primeiro lugar, é preciso destacar um aspecto que normalmente é ignorado, mas permeia (ou deveria) o trabalho dos professores e dos cientistas: o gosto pelo conhecimento. E por esse ponto de vista, os conceitos de Física Moderna, em especial aqueles relacionados à Física Quântica, há muito já deixaram de ser exclusividade dos físicos. Há algum tempo temos visto esses conceitos tomarem forma no dia a dia das pessoas, de maneira direta ou indireta. Como pode ser visto inclusive em (JUNIOR, 2003), já existem músicas, peças de teatro (*Enstein, Copenhagen, Perdidas ... uma comédia quântica*) que tratam de conceitos físicos e isso evidencia que o conhecimento desses assuntos precisa extrapolar o ambiente escolar e se tornar um elemento cultural.

Além disso, na nossa constituição, a Lei de Diretrizes e Bases da Educação do Brasil, de 1996, a chamada LDB, é possível ler que (BRASIL, 1996):

O Ensino Médio, etapa final da educação básica, (...), terá como finalidades:
(...)

- a preparação básica para o trabalho e a cidadania do educando, para continuar aprendendo, de modo a ser capaz de se adaptar com flexibilidade a novas condições de ocupação ou aperfeiçoamento posteriores; (...)
- a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina. (...)
- domínio dos princípios científicos e tecnológicos que presidem a produção moderna; (...)

Dessa maneira, para que a educação tenha êxito em sua finalidade o cidadão precisa ter acesso a uma formação básica que o possibilite conhecer e interagir criticamente com todos os elementos que o rodeiam. Em uma sociedade como a nossa, em evolução contínua e cada vez mais veloz, essa formação deve, necessariamente, abranger aspectos humanísticos,

matemáticos, científicos e tecnológicos. Tais aspectos precisam ser introduzidos de modo racional e progressivo (ROSADO; CARMONA, 2005), sendo a educação formal o espaço criado com esse propósito.

A presença cada vez maior dos dispositivos eletrônicos no dia a dia torna o papel da tecnologia cada vez mais importante (CARMONA, 2008). Uma interação mais efetiva com essas tecnologias está paulatinamente se tornando mais determinante em nossa sociedade, fazendo com que isso se reflita no ambiente escolar. O público que atualmente frequenta os níveis fundamental e médio de ensino são, inclusive, chamados de “nativos digitais” (PRENSKY, 2001), pois nasceram e cresceram cercados de equipamentos eletrônicos dos mais diversos tipos. Um bom educador precisa estar constantemente preocupado em atuar de forma a melhorar, de diversas maneiras, a interação dos estudantes com essas novas tecnologias. Preocupação essa que precisa permear todas as áreas do conhecimento, e todos os níveis escolares.

Especificamente no caso da Física vários conceitos se aproximam da área tecnológica, permitindo ao professor uma atuação ainda mais decisiva. Os professores de Física que trabalham em turmas do Ensino Médio tem uma responsabilidade ainda maior, tendo em vista que esse estágio normalmente representa o último contato do estudante com essa disciplina (TERRAZZAN, 1992). Isso porque boa parte dos estudantes terá no Ensino Médio sua etapa final de estudo formal, o que é previsto na própria legislação, onde o Ensino Médio aparece como o estágio final da educação básica (BRASIL, 1996). Além disso, um grande número dos mais privilegiados, que cursarão nível superior, não terá mais contato com essa área do conhecimento.

A importância da Física dentro desse panorama está no fato de que ela é um dos principais componentes de uma formação básica na área tecnológica, que carece, necessariamente, de conhecimentos de eletrônica e eletricidade. De acordo com (ROSADO; CARMONA, 2005; CARMONA, 2008), essa formação começa, epistemologicamente, pelo estudo dos seus principais componentes científicos: os aspectos básicos sobre a estrutura e o funcionamento dos materiais condutores, isolantes e semicondutores. Os relógios digitais, computadores, celulares, calculadoras, televisores, tocadores de música, entre outros, só tem o design, a portabilidade e as funcionalidades conhecidas graças ao desenvolvimento da Física do Estado Sólido e suas consequências (OLIVEIRA, 2012).

Os documentos oficiais produzidos pelo Ministério da Educação (MEC) e que norteiam o ensino no país transparecem a sua preocupação com o ensino de Física Moderna e Contemporânea de maneira ainda mais explícita. Um desses documentos é o chamado PC-NEM+, que relaciona os parâmetros curriculares nacionais para o Ensino Médio em cada área

do conhecimento. No documento destinado aos professores de Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias (no qual a Física está incluída) há menções específicas à abordagem de conceitos relacionados aos condutores, isolantes e semicondutores (BRASIL, 2002):

Unidade 5.1: Matéria e suas propriedades

- utilizar os modelos atômicos propostos para a constituição da matéria para explicar diferentes propriedades dos materiais (térmicas, elétricas, magnéticas etc.);
- relacionar os modelos de organização dos átomos e moléculas na constituição da matéria às características macroscópicas observáveis em cristais, cristais líquidos, polímeros, novos materiais etc.;

e também:

Unidade 5.4: Eletrônica e Informática

- identificar a presença de componentes eletrônicos, como semicondutores, e suas propriedades nos equipamentos contemporâneos;
- identificar elementos básicos da microeletrônica para compreender o processamento de informação (processadores, microcomputadores etc.), redes de informática e sistemas de automação;
- acompanhar e avaliar o impacto social e econômico da automação e informatização na vida contemporânea.

Tópicos relacionados à estrutura e ao funcionamento dos condutores e isolantes estão presentes na maior parte dos livros didáticos e apostilas de Física voltadas para o Ensino Médio e são comumente trabalhados pelos professores. Todavia, os conceitos básicos dos semicondutores tem presença muito tímida nesses materiais didáticos (OSTERMANN; MOREIRA, 2000), sugerindo que a abordagem desse tema ocorre com baixa frequência.

Das coleções didáticas analisadas por Ostermann e Moreira (2000), cinco delas traziam tópicos de Física Moderna e Contemporânea e, em três delas, os temas relacionados aos semicondutores aparecem: no volume 3 da coleção “Curso de Física – Alvarenga e Máximo. 4. ed. 3v. Scipione, 1997, 1394p.”; no terceiro volume da coleção intitulada “Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, Editora da USP, 3v, 1993/95” e no livro “Imagens da Física – Ugo Amaldi. Scipione, 1995, 536p.” na qual o tema semicondutores aparece incluído em um capítulo intitulado “A Eletrônica e os Computadores”. Vale a pena ressaltar ainda que, de acordo com a autora, a coleção de Física mais vendida na época não continha nenhum tópico relacionado à Física Moderna. E mesmo quando os professores adotam algum dos livros citados acima, isso não garante que os temas serão abordados em sala de aula. Paralelamente vê-se que há um crescimento na adoção de materiais apostilados de grandes redes privadas, que em sua grande maioria não fazem nenhuma menção aos materiais semicondutores.

Isso pode ser entendido como um indício de que um número muito reduzido de estudantes tem contato com os conceitos relacionados aos materiais semicondutores. A preocupação com esse cenário aparece, por exemplo, em (PINTO; ZANETIC, 1999), onde atenta-se para o fato de que apesar de vivemos no século XXI, a Física desenvolvida no século XX ainda está longe das salas de aula. Além disso, em uma revisão de toda produção acadêmica sobre o ensino de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio até 2009 (PEREIRA; OSTERMANN, 2009), verificou-se a escassez de propostas concretas sobre a inserção da temática dos materiais semicondutores no ensino básico.

Dentre os poucos trabalhos propostos nesse sentido, podem ser destacados o trabalho de Paula e Alves (2007), no qual se discute a aplicação de uma sequência didática cujo objetivo principal foi a discussão do funcionamento de um diodo emissor de luz, o LED (*Light Emitting Diode*). Essa sequência contava com atividades teóricas e experimentais, que abordavam desde a natureza da luz emitida por um LED até o estudo dos conceitos de semicondutores, presentes na última atividade. Nela foram utilizadas simulações computacionais e a leitura de textos de apoio, que abordavam os níveis de energia dos átomos e o processo de emissão da luz, explicando o funcionamento dos LEDs dentro desse panorama. Todas as atividades estavam inseridas em uma proposta mais completa, que incluía também o estudo de outros tópicos de eletricidade e magnetismo.

Em (ELLSE, 1984), apresenta-se o pequeno guia de um curso de eletrônica básica. Nele explica-se o funcionamento do transistor bipolar e ainda se aborda a construção de circuitos com portas lógicas usando-se esses componentes. É basicamente a descrição de uma aula experimental ou um guia para tal, sem maiores detalhes teóricos sobre o material que compõe os transistores. De acordo com o próprio autor, a parte conceitual sobre os semicondutores foi propositalmente ignorada, privilegiando exclusivamente os resultados experimentais e as propriedades dos dispositivos estudados.

Em (GOULART, 2008), o autor apresenta uma sequência CTS para o ensino de eletrônica. Essa sequência está condensada em um CD-ROM, que está disponível em http://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/n23_Goulart/index2.htm. Nela, o ensino de semicondutores é abordado nos experimentos 6 e 7 (circuito com um diodo semicondutor e circuito com um LED) e nas animações, 2, 3, 4 e 5. A animação 2 trata dos “saltos quânticos dos elétrons em um átomo”. Já a animação 3 trata do movimento dos elétrons e lacunas (buracos) em um material semicondutor. No caso da animação 4 há uma abordagem sobre a dopagem dos semicondutores (usando a imagem de uma rede bidimensional com a inserção de átomos trivalentes e pentavalentes) e a animação 5 fala sobre o funcionamento dos diodos e o seu comportamento em um circuito de

corrente contínua. Todas as animações são bastante simples, mas cumprem o papel à qual se propõe ao abordar esses temas utilizando conhecimentos que são naturalmente trabalhados no Ensino Médio, como o modelo atômico de Bohr e as ligações covalentes dos átomos.

Em (FONTES, 2010) é apresentado o desenvolvimento de um software para simulação de circuitos com componentes baseados em semicondutores. De acordo com o autor, além de simular corretamente esses circuitos, o software permite o ensino dos princípios básicos desses componentes, além de alguns aspectos gerais relacionados aos semicondutores. O link do software não havia sido disponibilizado até a escrita desse texto, o que impossibilitou maiores análises, uma vez que o trabalho em si descreve somente a elaboração do software.

Por outro lado, existem trabalhos cuja preocupação é voltada à parte conceitual, como em (POSADA, 1997). Nele o autor faz um estudo extenso dos conceitos prévios que estudantes espanhóis têm sobre a estrutura interna dos metais e da condução elétrica. Já de início, o autor afirma que quando as concepções prévias dos estudantes estão em claro conflito com os conceitos apresentados/ensinados pelo professor, o estudante não consegue conectar os dois conceitos. Na melhor das hipóteses o estudante costuma usar o conceito apresentado pelo professor nas situações escolares, mas usa as suas concepções prévias para lidar com situações do cotidiano.

Entre os dados apresentados em (POSADA, 1997), vê-se, por exemplo, que entre os estudantes de décimo ano espanhol (equivalente em idade e conteúdos abordados à 1ª série do Ensino Médio brasileiro), cerca de 37% ainda viam os sólidos como um *continuum*. Nas séries seguintes (décimo primeiro e décimo segundo anos, correspondentes ao 2º e ao 3º ano do Ensino Médio), essa situação é amenizada, pois esse mesmo percentual baixou para menos de 5%. Credita-se isso ao fato de que nessas duas séries os estudantes têm contato com o conceito de ligação química de maneira mais aprofundada. Contudo, de acordo com o autor, essa não é a única explicação, já que noções elementares sobre a natureza descontínua da matéria são abordadas desde o 7º ano, equivalente ao nosso 7º ano (6ª série) do Ensino Fundamental. Destaca-se também o fato de que somente cerca de 29% dos estudantes do 11º ano e 34% dos estudantes do 12º ano apontaram os elétrons como os portadores de carga da corrente elétrica.

O livro escrito por Carmona (2008) é um dos trabalhos mais completos sobre ensino de semicondutores. Nele há uma compilação das pesquisas realizadas por um grupo de educadores que atua em escolas espanholas, do qual o autor faz parte. A preocupação desse grupo estava centrada na integração entre o conhecimento científico e o ambiente da sala de aula. Um dos focos foi a adaptação da linguagem científica para o contexto dos estudantes, que abordavam as questões problematizadas pelo professor, em grupos de 3 ou 4 alunos. O trabalho

desse grupo também contempla questões relativas à inserção dos tópicos de semicondutores no currículo (das escolas espanholas), questões sobre o entorno da sala de aula e outros aspectos que dificultam a abordagem dos conceitos de semicondutores no ensino secundário. Foi utilizado um marco teórico construtivista, integrando as disciplinas de Química e Física. Para fazer essa integração de forma suave, os tópicos sobre a estrutura e as propriedades físicas e químicas dos semicondutores foram trabalhados a partir de assuntos que são comuns no ensino secundário espanhol. Por exemplo: abordou-se a condução elétrica nos semicondutores através de alguns itens como o modelo do gás de elétrons livres, o modelo de Rutherford para a estrutura atômica, os conceitos de carga elétrica, diferença de potencial, lei de Ohm, resistividade e sua variação com a temperatura.

A atividade de trabalho proposta foi dividida em cinco módulos. O primeiro abordava a relação entre os materiais semicondutores e o desenvolvimento da eletrônica. Nesse módulo, foi feita a apresentação e a justificativa de se abordar o tema escolhido. O objetivo era fazer com que os estudantes reconhecessem a necessidade de se abordar esse tema, a fim de melhorar a sua própria compreensão sobre o mundo digital que o cerca. Para isso, foram feitas várias atividades, da qual se destaca a leitura de um texto que comenta o prêmio Nobel de 2000 (entregue à Alferov e Kroemer pelo desenvolvimento de heteroestruturas semicondutoras para optoeletrônica de alta velocidade e à Kilby pela participação na invenção do circuito integrado). O final, os estudantes tinham que responder perguntas relacionadas a algumas palavras-chave, como circuitos integrados e materiais semicondutores.

No segundo módulo, sobre a natureza e as propriedades elétricas da matéria, o objetivo é preparar o aluno para que ele tenha conhecimentos sobre esses assuntos em um nível suficiente para começar o estudo dos semicondutores. Nessa etapa, os conceitos sobre condutores e isolantes que são abordados são muito similares àqueles tradicionalmente trabalhados em turmas brasileiras de nível médio. Basicamente, essa etapa consiste de uma série de situações-problema que guiam o estudante no estudo desses tópicos. A regra do octeto, normalmente vista na disciplina de Química das turmas brasileiras, também está incluída entre esses assuntos.

O terceiro módulo definia algumas propriedades físicas dos semicondutores. O objetivo, nesse caso, era introduzir o conceito de semicondutor e diferenciá-lo dos conceitos de isolante e de condutor. O principal aspecto trabalhado era o comportamento elétrico desses materiais mediante diferentes temperaturas. As atividades dessa etapa também foram compostas por uma série de situações-problema que deveriam ser respondidas pelos alunos. Nelas foi incluída a parte matemática dos conceitos de resistência e resistividade elétrica.

O quarto módulo tratava dos semicondutores puros (intrínsecos), abordando seus

conceitos e suas propriedades a partir das ideias de regra do octeto e ligação covalente. A geração e recombinação de pares elétron-buraco, assim como o próprio conceito de buraco foram abordados utilizando-se uma série de situações-problema, incluindo aspectos matemáticos. No último e quinto módulo eram tratados os semicondutores extrínsecos (ou dopados) explicando as diferenças e as propriedades dos semicondutores puros e os dopados tipo **P** e tipo **N**. Ao fim, também foram trabalhados os conceitos relacionados aos diodos de junção, explicando seu funcionamento com base nos conhecimentos adquiridos ao longo do processo.

As atividades avaliativas, divididas em avaliação inicial ou diagnóstica, avaliação formativa ou formadora e avaliação final ou somativa, ficaram distribuídas em cada uma das etapas de forma sistemática e criteriosa. Elas eram compostas por questionários, entrevistas e autoavaliações (dos estudantes), através das quais se observou o sucesso da iniciativa de acordo com os autores. Poucos problemas foram apresentados e, dentre eles, o que merece maior destaque foi a dificuldade que alguns estudantes apresentaram para diferenciar o conceito de dopagem de um semicondutor do seu estado de eletrização. Para eles um semicondutor dopado “tipo **P**” também está, necessariamente, carregado positivamente.

Apesar da grande documentação e da validade do trabalho realizado pelo grupo liderado por Carmona, sentiu-se que ainda havia espaço para a criação de novas propostas que trabalhem os conceitos relacionados aos materiais semicondutores no Ensino Médio. Para evitar os problemas e dificuldades observados em outros trabalhos, além de apresentar uma alternativa teórica mais próxima do paradigma utilizado em aulas de nível superior, a abordagem poderia ser feita através da teoria das bandas de energia. Apesar de ser usualmente empregado por vários autores que tratam do assunto no nível superior (KITTEL, 1978; FALICOV, 1968; LEITE; CASTRO, 1978), esse conceito não aparece de maneira decisiva nas propostas voltadas ao Ensino Médio regular ou ao Ensino Secundário.

Contudo, imagina-se que a simples inserção de uma proposta desse tipo em uma aula tradicional teria chances reduzidas de sucesso. Em parte, porque esse assunto praticamente não é abordado nos materiais didáticos (OSTERMANN; MOREIRA, 2000) e, além disso, a aprendizagem desses conceitos sem uma transposição didática adequada dificilmente aconteceria de maneira satisfatória, principalmente se forem utilizadas aulas tradicionais. Uma alternativa nesse sentido poderia ser o uso de vídeos para ensinar esses conceitos de Física.

Usando ferramentas de busca da Internet, foi feita uma pesquisa dos objetos de aprendizagem relacionados ao ensino de conceitos de semicondutores presentes nos principais repositórios. A seguir há uma lista dos objetos encontrados, seu respectivo *link* e uma pequena descrição de cada um deles. Lista de recursos online (Objetos de Aprendizagem) sobre semi-

condutores encontrados até Dezembro de 2013

- BIOE

- Identificando elementos de um circuito

Link: <http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/handle/mec/20737>

Arquivo em PDF produzido para o Ponto Ciência que indica como pode ser feita a identificação de componentes eletrônicos em um circuito, incluindo-se os diodos e transistores. Somente dois parágrafos de texto sem maiores detalhamentos teóricos.

- A física e o cotidiano - Fique sabendo ! - Sala de estar (Semicondutores)

Link: <http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/handle/mec/14345>

Animação em Flash que aborda os semicondutores. Há uma narradora que vai descrevendo a teoria dos condutores, isolantes e semicondutores. Usa alguns grafismos e analogias. Ao fim de cada etapa, é feita uma revisão sobre o que foi visto, com a apresentação do roteiro com as falas da narradora. Eles chamam isso de “minhas anotações”. A animação é dividida em 6 etapas e a sua abordagem teórica parte do conceito de valência e ligação covalente. O tempo previsto para a atividade é de uma aula de 50min.

- Eletromagnetismo - Introdução à eletrônica

Link: <http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/handle/mec/19074>

É uma página WEB completa sobre eletrônica, com o objetivo de ensinar conceitos de materiais semicondutores, assim como o funcionamento de dispositivos simples como o LED. A página conta com uma seção de teoria, uma seção com alguns elementos históricos sobre semicondutores, um “laboratório virtual” (animação flash onde é possível ligar um diodo em um circuito simples), além de contar com uma seção de exercícios avaliativos.

- Física do Estado Sólido - Semicondutores

Link: <http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/handle/mec/19999>

É uma página WEB na qual o principal material é um vídeo no qual são feitos e explicados experimentos sobre o espectro de um LED vermelho e de um LED verde. A partir desse experimento, faz-se uma abordagem da teoria das bandas de energia para explicar a banda de emissão dos LED's. Além disso, há um texto que serve como referencial teórico resumido para um melhor entendimento do assunto abordado.

- Tudo se Transforma - Condutores Elétricos

Link: <http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/handle/mec/18537>

É um vídeo de 14 min sobre a história da Química, na qual são abordados os condutores, isolantes e semicondutores. Além disso, também são abordados os supercondutores, que ocupam boa parte do vídeo. Por conta do tempo, todos os assuntos são abordados em um nível introdutório.

- Física e o cotidiano - Fique sabendo ! Laser

Link: <http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/handle/mec/14347>

Animação na qual dois personagens, dentro de uma loja, falam sobre o Laser. Ao fim, os lasers de diodo são comentados, mas a natureza dos diodos em si não é comentada.

- PHET

- Semicondutores

Link: http://phet.colorado.edu/sims/semiconductor/semiconductor_pt_BR.jnlp

Simulação em JAVA que mostra a ocupação dos níveis de energia de uma junção PN quando ela é submetida a uma diferença de potencial, que pode ser escolhida pelo usuário.

- ComPADRE

- The University of Virginia Virtual Lab

Link: <http://www.compadre.org/portal/items/Load.cfm?ID=3778>

Conjunto de vídeos feitos em arquivos .mov que falam sobre a formação de cristais semicondutores, sobre o funcionamento dos transistores entre outras coisas. Em todos os casos, a abordagem feita é baseada no conceito de ligação covalente, mas também há várias citações sobre a estrutura atômica dos semicondutores. É parte de um projeto maior da Universidade da Virgínia para disponibilizar experimentos virtuais, que na maior parte são um conjunto de animações.

- Crystal Viewer

Link: <http://www.compadre.org/portal/items/Load.cfm?ID=7693>

É uma animação JAVA que permite a visualização tridimensional das células primitivas de alguns cristais semicondutores, mostrando as posições dos átomos e as ligações entre eles. Além disso, é fornecida uma extensa tabela de dados do semicondutor escolhido.

- LED Constructor

Link: <http://www.compadre.org/portal/items/Load.cfm?ID=1381>

É uma simulação feita em Adobe Shockwave Player que mostra de forma simplificada a construção de um LED e a análise de seu funcionamento quando inserido em um circuito simples. Seus níveis de energia e as impurezas necessárias em cada uma de suas partes são mostradas.

- Diode Laser

Link: <http://www.compadre.org/portal/items/Load.cfm?ID=1097>

Esse recurso é uma simulação feita em Adobe Shockwave Player sobre os diodos laser. São mostrados os seus níveis de energia mais importantes e a partir deles é mostrada a emissão de luz desses dispositivos, comparando-se inclusive o espectro simulado e a comparação com o espectro real de saída do laser mostrado.

- All About Circuits: Worksheets

Link: <http://www.compadre.org/portal/items/Load.cfm?ID=10025>

É uma página de internet completa sobre circuitos, como proposto no título. Além dos *websites*, há vídeos e roteiros de experimentos para vários tópicos abordados. Está dividida em 6 volumes, e o terceiro deles é dedicado completamente aos semicondutores, que são abordados a partir da teoria das bandas de energia. Para estudantes com dificuldades, eles mantêm um fórum no qual as dúvidas podem ser discutidas.

- LED Spectroscopy

Link: <http://www.compadre.org/portal/items/Load.cfm?ID=1094>

Simulação construída em Adobe Shockwave Player que mostra o espectro de emissão de LED's de várias cores em função das suas bandas de condução e valência. O estudante pode inclusive alterar algumas propriedades dessas bandas e verificar qual a influência de cada alteração para esse espectro de emissão.

- Nobelprize.org

- Semiconductors

Link: <http://www.nobelprize.org/educational/physics/semiconductors>

Site com uma animação em FLASH, dividida em *slides*, que explica de maneira introdutória os princípios básicos dos materiais semicondutores. Falam sobre a teoria das bandas de energia e das ligações covalentes.

- The Transistor

Link: <http://www.nobelprize.org/educational/physics/transistor>

É um jogo desenvolvido em FLASH que fala sobre reciclagem de transistores e, com isso, mostra quais equipamentos estão baseados nesse dispositivo. Dentro desse site, também há uma animação em FLASH, dividida em *slides*, que fala sobre o funcionamento dos transistores e ensina aos estudantes como construir uma réplica de um deles.

- MERLOT – Multimedia Educational Resource for Learning and Online Teaching

- The Semiconductor Applet Service

Link: <http://jas.eng.buffalo.edu/index.html>

Extensa lista de simulações JAVA produzidas pela Universidade de Buffalo (Universidade estadual de Nova York) que tratam da estrutura cristalina dos semicondutores, junções-PN, transistores, dispositivos MOSFET e capacitores MOS. Todas as simulações são voltadas para ensino superior.

- Semiconductor devices

Link: <http://www-g.eng.cam.ac.uk/mmg/teaching/linearcircuits/index.html>

Página de internet com animações em FLASH sobre o funcionamento dos diodos semicondutores, dos transistores JFET e MOSFET. Faz parte de um curso sobre circuitos e dispositivos lineares para um curso de engenharia da Universidade de Cambridge.

- Metal Oxide Semiconductor FET Operation

Link: <http://www-g.eng.cam.ac.uk/mentor/IIA/VLSI/CMOS1/CMOS.html>

Animação em FLASH sobre o funcionamento de transistores MOSFET.

- IOP – Institute of Physics

- Energy bands

Link: <http://ecee.colorado.edu/~bart/book/book/contents.htm>

Livro online que aborda os princípios dos dispositivos semicondutores. Há um capítulo específico sobre os princípios básicos dos semicondutores para estudantes de nível superior. Também há um capítulo que trata das junções PN, junções de metal-semicondutor, transistores bipolares de junção, dispositivos MOSFET entre outros assuntos.

– Hyperphysics

Link: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/solids/semcn.html>

Seção do site Hyperphysics sobre os conceitos básicos dos semicondutores. É uma página de internet com informações sobre e o tema em nível superior, incluindo-se figuras e principais equações envolvidas. O assunto é apresentado em links organizados em um mapa conceitual.

– TAP – Teaching Advanced Physics - Episode 111 - Semiconductor devices

Link: http://tap.iop.org/electricity/resistance/111/page_45979.html

É um programa do IOP que contém alguns materiais instrucionais cujo objetivo é auxiliar no ensino de Física. Nesse “episódio”, é abordado um pequeno experimento sobre a variação da resistência de um LDR (*Light-Dependent Resistor*) com a luminosidade. A partir disso, eles falam sobre algumas propriedades básicas dos dispositivos semicondutores.

Vale a pena ressaltar que durante a pesquisa, alguns recursos apareceram em mais de um repositório, mas obviamente eles não foram repetidos durante a listagem.

5 Uso de vídeos no Ensino de Física

Desde a criação do Cinema, do rádio, da TV, das fitas de vídeo, gravadores e outras tecnologias, alguns educadores vêm tentando inserir o uso de recursos audiovisuais no cotidiano escolar. Esses meios de comunicação, assim como os vídeos vistos pela internet, desempenham um papel educacional importante. Ao apresentarem e discutirem conceitos, ao veicularem continuamente informações interpretadas, apresentam modelos de comportamento, ensinam linguagens coloquiais e multimídias, privilegiando alguns valores e visões em detrimento de outros (ARROIO; GIORDAN, 2006). Sua atratividade está no fato de que eles são capazes de estimular diversos sentidos de maneira simultânea, o que imprimiu à linguagem televisiva um grande sucesso na sociedade moderna (ALVES; MESSEDER, 2009).

Existem alguns educadores que desencorajam a utilização de recursos audiovisuais para estudo e informação, baseados na afirmativa de que é difícil encontrar materiais confiáveis. Contudo, os profissionais em educação não podem negligenciar o poder desses recursos na sociedade moderna. No trabalho de Silva et al. (2005), por exemplo, observou-se que os estudantes fazem uso frequente de vídeos e jogos educativos para estudar e se informar via internet, através do computador.

Atualmente os recursos da internet estão disponíveis em várias outras vias (como nos *smartphones* e *tablets*, por exemplo) e os educadores precisam encontrar meios de trazer os recursos audiovisuais para a sua prática diária. Além disso, o uso de vídeos para o ensino pode ter grandes vantagens devido à motivação gerada pela quebra da rotina de sala de aula, causando grandes mudanças na organização do processo educativo (SILVA et al., 2005; ARROIO; GIORDAN, 2006).

Outro benefício importante é a possibilidade de se usar um canal de comunicação atrativo para mostrar imagens, gráficos ou sons que não poderiam ser utilizados em situações tradicionais de ensino (ROSA, 2000). A televisão e o vídeo apresentam formas sofisticadas de comunicação multidimensional e sensorial, partindo de coisas concretas e visíveis para veicular ideias, usando elementos racionais e afetivos. A linguagem audiovisual atua em vários sentidos de maneira simultânea e, em geral, em mais vias do que aquelas que controlamos de forma consciente. Isso é tão importante que desde a década de 50 são feitas pesquisas para avaliar se a linguagem televisiva está mudando a forma de pensar do ser humano, assim como a linguagem

falada o fez a milhares de anos (SIQUEIRA, 2004). Existe um trecho extraído de (ARROIO; GIORDAN, 2006) que ilustra bem essa situação:

(...) Um filme tem forte apelo emocional e, por essa razão, ele motiva a aprendizagem dos conteúdos apresentados pelo professor. Ou seja, o sujeito compreende de maneira sensitiva, conhece por meio das sensações, reage diante dos estímulos dos sentidos, não apenas diante das argumentações da razão. Não se trata de uma simples transmissão de conhecimento, mas sim de aquisição de experiências (...)

Dentro do ambiente escolar, os vídeos podem ter os mais variados papéis. Eles podem (ROSA, 2000; ARROIO; GIORDAN, 2006):

- ser utilizados para motivar os estudantes no estudo de um determinado assunto, aumentando o seu desejo em pesquisar e conhecer mais um determinado tema;
- demonstrar ou simular situações perigosas ou pouco acessíveis. Por exemplo: a exibição de experimentos que envolvam muitos riscos ou de um processo industrial ao qual não é possível ter acesso;
- ilustrar um modelo, uma simulação ou representação de um fenômeno real, como o crescimento acelerado de uma planta ou a evolução do estado de decomposição de um alimento;
- servir de apoio para uma exposição teórica;
- ser utilizados como organizadores prévios, ou seja, como uma ponte entre os conceitos que serão apresentados e a estrutura cognitiva já presente no estudante;
- servir também como instrumento de diferenciação progressiva, quando várias instâncias de um conceito complexo são trabalhadas;
- ser um instrumento para reconciliação integradora, na qual instâncias particulares de um conceito são integradas ao mesmo.

Do ponto de vista operacional, o uso de vídeos tende a ser bastante simplificado por não demandar grandes aparatos e/ou conhecimentos técnicos. Como afirmado anteriormente, o acesso a vídeos educativos sob demanda está cada vez mais fácil com o uso da internet. Ao entrevistar estudantes de uma escola pública do interior fluminense, Silva et al. (2005) viu que a maior parte desses estudantes têm acesso a vídeos da internet e de outras fontes com facilidade, e que eles os utilizam para se informar, independente do seu nível social. E

apesar das escolas públicas da região contarem com recursos técnicos suficientes para o uso de vídeos e outros recursos multimídias em sala de aula, viu-se que poucos professores, dentre os entrevistados, fazem uso dessas novas tecnologias em seu cotidiano de trabalho.

Apesar de requerer poucos aparatos técnicos, a utilização de recursos audiovisuais carece de alguns cuidados. Isso porque os vídeos são resultado de uma composição eminentemente cultural, ou seja, produzidos usando um certo conjunto de elementos e codificações escolhidos pelo autor e voltado para um determinado público que compartilha esses elementos. Esse aspecto deve ser levado em conta quando for feita a escolha de utilização de um vídeo, pois os elementos culturais utilizados na obra podem não ser compartilhados pelos estudantes.

Por isso, é um consenso entre alguns autores (ROSA, 2000; ARROIO; GIOR-DAN, 2006) o fato de que um vídeo deve ser visto com antecedência pelo professor. Essa é uma condição básica para ele seja usado em sala de aula, já que permite ao educador verificar se a linguagem e o nível da abordagem do vídeo estão de acordo com seus objetivos. Além disso, é preciso observar se os exemplos e efeitos utilizados (visuais e sonoros) serão significativos à audiência. É preciso ainda ter em mente que um estudante compreende e processa um vídeo sobre ciência e um filme de comédia utilizando os mesmos elementos e codificações culturais e cognitivas. Isso ocorre porque a compreensão de um vídeo não ocorre somente de maneira racional, mas também sensitiva. O estudante/espectador reage diante de estímulos, e não apenas diante de argumentações. Bem utilizado, esse pode ser um ponto forte para o uso desse tipo de recurso.

Em seu trabalho, Rosa (2000) dá algumas orientações para um melhor aproveitamento dos recursos audiovisuais que eventualmente possam ser utilizados em uma aula:

- O recurso audiovisual não deve ser um substituto para a falta de tempo para preparar uma aula;
- O equipamento deve ser verificado antes do uso;
- Deve-se tomar o cuidado para não ficar entre o projetor e a imagem;
- Fazer uma apresentação prévia do conceito a ser veiculado;
- É preciso que exista um planejamento alternativo à atividade multimídia;
- Todas as carteiras devem ser posicionadas de forma adequada para uma boa visibilidade;
- A última fila de carteiras não pode estar posicionada a mais de 6m da tela;

Dependendo do modo com que são trabalhados os conteúdos verbais, figurativos, narrativos, e temáticos de um recurso audiovisual, ele pode ser classificado em três grandes categorias: ficção, não-ficção e híbrido. Além disso, ele pode ser enquadrado em seis gêneros principais (MACHADO, 2000 apud SIQUEIRA, 2004):

1. Formas fundamentadas no diálogo (entrevistas, debates, mesas-redondas, monólogos, ...)
2. Narrativas seriadas (programas divididos em blocos intercalados por intervalos comerciais e cujo roteiro é organizado em capítulos ou episódios),
3. Telejornal (programas com pelo menos um apresentador em primeiro plano onde são abordadas notícias a respeito de eventos),
4. Transmissões ao vivo,
5. Videoclipe e outras formas musicais (é uma síntese audiovisual equilibrada entre o efeito figurativo tradicional e o efeito ritmo-musical),
6. Grafismo televisual (composto por textos, mapas, gráficos, logotipos, formas geométricas e outros elementos que não se constituem em um fio de sentido narrativo, representado pelas vinhetas, aberturas entre outros).

Vale a pena ressaltar que um vídeo pode acomodar mais de um gênero, assim como o próprio conceito de gênero e seus formatos sofrem modificações com o passar do tempo. Entre os formatos mais recentes, podem ser destacados as “webséries” (séries voltadas para exibição na internet) e “vídeos de bolso” (são vídeos basicamente por dispositivos móveis e para serem exibidos nesses dispositivos). O conceito de categoria engloba o conceito de gênero, uma vez que cada categoria pode abarcar diversos gêneros diferentes. A categoria educativa engloba todos os audiovisuais com finalidades pedagógicas, ligadas ou não à educação formal (MACHADO, 2000 apud SIQUEIRA, 2004).

Os vídeos que se encaixam no gênero educativo podem ser utilizados na sala de aula em diversas modalidades. A maior parte deles é composta pelas chamadas “videoaulas” (ARROIO; GIORDAN, 2006). Essa modalidade pode se tornar cansativa e pouco produtiva se não for aliada a outras técnicas que permitam um papel mais ativo por parte dos estudantes. Em contrapartida, ela é particularmente eficaz quando desempenha um papel puramente informativo. Nesse caso, pode-se utilizá-la também como um reforço à explicação prévia do professor. Existem também outros formatos, como o “vídeo motivador”, que é destinado a suscitar um trabalho posterior à sua exibição. Enquanto que nas “videoaulas” a aprendizagem ocorre durante

sua exibição, no “vídeo motivador” a aprendizagem ocorrerá depois do mesmo. Essa aprendizagem virá das atividades que foram desenvolvidas em decorrência da exibição do vídeo. Já o chamado “vídeo apoio” funciona basicamente para ilustrar a fala do professor. Ele equivale à uma apresentação de *slides*, mas com imagens em movimento. O problema desse tipo de material é que ele não aproveita todo o potencial que os recursos audiovisuais apresentam (ARROIO; GIORDAN, 2006). A escolha do uso de cada modalidade deve ser feita a partir dos objetivos de cada professor.

Diante de todas essas características e de todo potencial que o uso de vídeos no ensino de Física pode representar, esse trabalho fez a opção de produzir vídeos educativos, no formato didático. Por isso, durante a elaboração dos roteiros foram utilizadas basicamente formas fundamentadas no diálogo (monólogos, na verdade) e elementos de grafismo televisual como imagens, vídeos e animações que devem auxiliar na demonstração dos conceitos e temas abordados.

Durante a abordagem do potencial e das principais características que o uso de recursos audiovisuais no ensino apresentam, foram citados alguns elementos ligados a uma teoria de ensino chamada de “Teoria da Aprendizagem Significativa”. As primeiras ideias dessa teoria foram publicadas por volta de 1963 por David Ausubel, com importantes contribuições posteriores de Joseph Novak.

Durante sua carreira, David Paul Ausubel estudou principalmente a forma com que o ser humano aprende. Uma frase que poderia resumir sua teoria, de forma muito simplificada, seria algo como: “as pessoas aprendem principalmente devido àquilo que elas já sabem”. Isso porque, nessa teoria, considera-se que a aprendizagem significativa ocorre quando um sujeito faz relações entre conhecimentos já existentes em sua estrutura cognitiva e novos conceitos com os quais ele tem contato. É necessário que essa relação ocorra de maneira substantiva e não-arbitrária, ou seja, a relação entre as novas ideias e as antigas não precisam seguir um contexto hierárquico ou literal, mas precisam necessariamente interagir com os conhecimentos já existentes (MOREIRA, 2011).

Todo conhecimento preexistente na estrutura cognitiva de um aprendiz e que se relaciona com os novos conhecimentos durante o processo de aprendizagem é chamado de *subsunçor* ou *ideia âncora*. Para ser um subsunçor, esse conhecimento preexistente precisa ser relevante à nova aprendizagem ou se relacionar com ela de forma direta. Um conceito, uma concepção alternativa, uma proposição, um modelo mental, uma imagem, entre outros, são exemplos de subsunçores.

De acordo com Gomes et al. (2009), o aprendizado é mais eficiente nas ocasiões

em que o estudante consegue agregar e incorporar ao repertório de conhecimentos previamente organizados os novos conteúdos, evitando associações espúrias. O papel do professor nesse processo é guiar essa interação, criando situações para que ela ocorra e acompanhando a assimilação dos novos conhecimentos.

O processo de construção do conhecimento é essencialmente individual, uma vez que está ligado fortemente ao repertório cognitivo de quem aprende (GOMES et al., 2009). Sabe-se que às vezes se faz necessário uma aprendizagem mecânica, mas é clara a percepção que esses conhecimentos conquistados mecanicamente são perdidos de forma rápida caso deixem de ser utilizados com frequência. Para evitar situações desse tipo, a aprendizagem significativa usualmente incentiva os estudantes a aplicarem seu conhecimento em atividades mais complexas. Isso não significa que a aprendizagem significativa é aquela na qual o estudante nunca esquece. Na medida em que um conhecimento não é frequentemente utilizado, ocorre uma perda parcial da discriminação de seus significados, processo denominado de assimilação obliteradora. Esse processo é totalmente natural, mas ele não está relacionado a uma perda de significado dos subsunçores. Se isso ocorrer, o mais provável é que não tenha ocorrido uma aprendizagem significativa de fato.

Ausubel diz que a rede de conhecimentos se constrói através da associação da nova informação com os conhecimentos já aprendidos e vivenciados. Essa associação ocorre em um conjunto hierárquico de conhecimentos dinamicamente inter-relacionados. Existem basicamente dois processos que alteram a dinâmica dessa modalidade de aprendizagem. São eles (MOREIRA, 2011):

- A **diferenciação progressiva**, que consiste em um processo no qual há atribuição de novos significados a um dado subsunçor (um conceito, uma proposição ou um conhecimento) no qual esse subsunçor é utilizado para dar significado a novos conhecimentos;
- A **reconciliação integrativa** (ou **integradora**), que está baseada na eliminação de aparentes diferenças, na resolução de inconsistências, na integração de significados e nas superordenações (ou generalizações) que podem ser observadas em um conjunto de subsunçores.

Os dois processos são simultâneos e necessários à construção da estrutura cognitiva do estudante. Contudo, se diferenciarmos todos os novos conhecimentos com os quais nos deparamos, tudo será “diferente”. Por isso se faz necessária a reconciliação integradora.

É óbvio que os dois principais processos ligados à aprendizagem significativa não ocorrem com a mesma frequência. A diferenciação progressiva é muito mais comum, uma

vez que nos deparamos com novas situações e conhecimentos todos os dias, dentro e fora do ambiente escolar. Já a reconciliação integradora é um processo muito menos frequente, pois ele supõe a interação entre diversos subsunçores que vão sendo progressivamente diferenciados ao longo do tempo. Apesar da diferença de frequência, ambos os processos são importantes e fundamentais para que haja a aprendizagem significativa.

Uma leitura rápida dos exemplos citados dá a impressão errônea de que um subsunçor sempre auxilia na aprendizagem de um novo conhecimento. Na verdade, existem casos em que o conhecimento prévio pode ser um bloqueador da aprendizagem, o que Bachelard chamou de *obstáculo epistemológico* (ANDRADE; FERRARI; ZYLBERSZTAJN, 2000). Na maior parte das vezes, o obstáculo epistemológico é representado por uma concepção alternativa dos estudantes.

Existem duas condições básicas para que ocorra uma aprendizagem significativa (MOREIRA, 2011): o material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo e o aprendiz deve apresentar uma predisposição para aprender.

A primeira condição indica que o material deve ter um significado lógico e que o aprendiz precisa apresentar em sua estrutura cognitiva as ideias âncora (conhecimentos prévios) relevantes com as quais o material possa ser relacionado. Não existe nenhum material “significativo”, mas existem aqueles que são potencialmente significativos. Isso porque quem atribui significados a eles são os próprios estudantes, durante a interação com esses materiais. A segunda condição não se restringe somente à motivação ou ao gosto pela matéria. O sujeito deve estar predisposto a relacionar esses novos conhecimentos em sua estrutura cognitiva prévia, modificando-a, enriquecendo-a e elaborando-a.

Por diversos fatores, os estudantes muitas vezes não conseguem reconhecer a relação entre os novos conhecimentos que lhe são apresentados com os seus conhecimentos prévios. Quando isso ocorre, propõe-se que sejam usados organizadores prévios para facilitar essa tarefa. Um organizador prévio pode ser uma pergunta, um enunciado, uma leitura introdutória, uma demonstração, um filme, enfim, um elemento em um nível mais alto de abstração que permite mostrar aos alunos como os novos conhecimentos se relacionam com os subsunçores que eles já conhecem. Esses organizadores prévios podem ser expositivos ou comparativos.

Além de todos os elementos que já foram citados, é recomendado o uso do princípio da organização sequencial e da consolidação para facilitar a aprendizagem significativa. De acordo com Ausubel (MOREIRA, 2011), deve-se tirar vantagens das dependências sequenciais que a matéria de ensino naturalmente exibem. Nesse caso fica mais fácil para um estudante organizar seus conhecimentos se os novos conceitos são apresentados a ele de forma

que alguns tópicos dependam daqueles que os antecedem.

Um outro elemento citado como facilitador da aprendizagem é o uso de figuras de linguagem, já que a linguagem mudou de forma significativa a maneira com que o ser humano se relaciona com o conhecimento. As relações entre a linguagem e o ensino de Física tem se mostrado bastante estreitas, com destaque para o uso de metáforas e analogias. Através do estudo das concepções alternativas dos estudantes, vê-se que frequentemente eles compreendem os fenômenos através do uso de analogias com coisas que são familiares ao seu dia a dia (BOZELLI; NARDI, 2004).

Apesar de não serem as únicas figuras de linguagem utilizadas, as analogias e as metáforas são de longe as mais frequentes no ensino de ciências (BOZELLI; NARDI, 2004). Existem inclusive trabalhos que catalogaram e analisaram as metáforas e analogias utilizadas nos em alguns livros didáticos de Física, Química e Biologia (TERRAZZAN et al., 2000), mostrando que esse recurso é comumente utilizado nesse tipo de obra, nos níveis fundamental, médio e superior.

Especificamente no ensino de Física, o uso de analogias e metáforas pode ser bastante importante, pois elas aproximam os estudantes dos conceitos mais abstratos e que não podem ser mostrados diretamente. Contudo, o uso dessas ferramentas requer bastante cuidado e, quando possível, deve seguir os seguintes passos (TERRAZZAN et al., 2000):

- Introdução abrangente e geral do fenômeno ou conceito que será trabalhado;
- Introdução do modelo, conceito ou fenômeno análogo;
- Identificação das características mais importantes no modelo, conceito ou fenômeno análogo;
- Estabelecimento claro das similaridades entre o fenômeno ou conceito trabalhado e seu respectivo análogo;
- Identificação dos limites de validade da analogia proposta, com um resumo conclusivo do que foi abordado;

Contudo, o objetivo de se usar uma analogia ou metáfora deve ser de facilitar o processo de ensino e aprendizagem, e não dificultá-lo. Isso pode acontecer, caso a analogia seja mal escolhida, ou caso alguns dos passos sugeridos para seu uso não sejam observados. Nesse caso, a analogia poderá atrapalhar a aprendizagem e funcionar como um “obstáculo epistemológico”.

6 Escala Likert

A análise dos posicionamentos e atitudes de um grupo de estudantes em relação a um conceito, proposição ou afirmativa pode ser feita de diversas maneiras. As mais utilizadas para efeitos avaliativos consistem na elaboração de uma pergunta, que deve ser respondida de forma discursiva ou através da escolha de uma resposta “correta” entre algumas alternativas possíveis. Questões qualitativas e quantitativas podem ser avaliadas por esse método, que tem relativo sucesso tendo em vista que esses tipos de questões compõem a esmagadora maioria dos exames admissionais em universidades, concursos públicos e outras avaliações do gênero.

Ocorre que esse método é normalmente associado pelos estudantes a um processo mecânico de perguntas e respostas. Pouco se mede sobre a real atitude deles em relação ao que é perguntado. Quando é feito um questionamento (como os descritos anteriormente) sobre energia mecânica, por exemplo, o estudante ficará impelido a encontrar e registrar uma resposta esperada, muitas vezes sem se posicionar verdadeiramente sobre o conceito. Na maioria dos casos vezes ele escolhe uma resposta por acreditar que ela esteja “correta”, mesmo que a sua opinião sobre o item seja totalmente divergente da resposta esperada.

Chama-se de *atitude* o conjunto de reações afetivas em relação a um objeto e que são resultado de um conjunto de conceitos e crenças que a pessoa possui em relação a esse objeto (TALIM, 2004). Conhecer melhor as atitudes dos estudantes pode ser determinante para avaliar sua aprendizagem, mas normalmente isso é negligenciado pelos métodos tradicionais de avaliação.

Existem diversos tipos de escala de medição de atitudes. Em um dos seus principais trabalhos, Rensis Likert apresentou a construção de uma escala simples para medição de atitudes e um método de atribuir valores aos itens dessa escala (LIKERT, 1932). O seu modelo é composto por um conjunto de afirmativas (chamados de itens de Likert) aos quais é possível atribuir diversos níveis de concordância. Ela é uma boa alternativa aos questionários bipolares, nos quais o sujeito precisa, necessariamente, concordar ou discordar com uma determinada afirmativa. Normalmente, os itens de Likert são compostos de uma afirmativa direta e o sujeito avaliado (o aluno, no caso desse trabalho) pode se manifestar frente a ela utilizando uma escala de concordância. Existem várias formas de construí-la, mas a mais comum é atribuir valores numéricos aos níveis de concordância. Os valores a serem utilizados dependerão da escala de

concordância que for escolhida pelo avaliador. O mais comum é utilizar os números inteiros de 1 a 5, no qual 1 representa “discordo totalmente”, 2 representa “discordo”, 3 representa “sou indiferente/não concordo nem discordo”, 4 significa “concordo” e 5 significa “concordo totalmente”.

A elaboração de uma escala Likert de qualidade deve observar algumas características como: ser importante, necessária, breve, clara, analisável e deve ter um universo único, ou seja, os itens devem tratar de um assunto em comum (McCLELLAND, J. A. G., 1976). Além disso, recomenda-se elaborar um mesmo número de itens positivos e negativos, para que as respostas não sofram influência do próprio questionário (TALIM, 2004). Simplesmente observar tais questões não garante o sucesso da avaliação, mas diminui bastante as chances de fracasso.

7 Desenvolvimento

Nos capítulos anteriores foram abordadas as razões pelas quais se observa a necessidade da criação de ferramentas para o ensino de Física Moderna no Ensino Médio, em especial de conceitos relacionados à Física Quântica. Aliado a isso, viu-se que os vídeos podem ser uma ferramenta muito importante nesse processo, devido à sua acessibilidade, simplicidade de uso, possibilidades de grafismos e efeitos visuais e principalmente devido à pequena demanda de recursos para seu uso.

Dentro desse panorama, no início desse trabalho optou-se pela produção de vídeos para ensinar conceitos de semicondutores para o Ensino Médio. A escolha pelo tema se deu por várias razões mas, entre elas, podem se destacadas o número reduzido de propostas para o ensino de Física Moderna e Contemporânea (em especial os semicondutores), a simpatia pessoal pelo assunto e a importância cada vez maior que os mesmos têm para a compreensão das tecnologias que nos rodeiam.

A princípio, delimitou-se que seriam abordados os conhecimentos mais fundamentais para a compreensão dos conceitos relacionados aos materiais semicondutores, utilizando para isso uma linguagem adequada aos estudantes dos últimos anos do Ensino Médio. Para essa abordagem, optou-se por privilegiar os tópicos da teoria das bandas de energia. Essa escolha se deu baseada na crença de que esses tópicos podem ser ensinados a estudantes do Ensino Médio sem maiores problemas, desde que sejam tomados cuidados em relação ao nível de abordagem, pois praticamente todos os estudantes de nível médio já tiveram contato e trabalharam com os conceitos que servem de base para essa teoria (energia, carga elétrica, orbital eletrônico, resistividade, ligações químicas, entre outros), principalmente nas séries finais. Além disso, do ponto de vista didático essa teoria está bem mais próxima dos elementos apresentados aos estudantes de nível superior e, portanto, mais próxima da descrição que é aceita atualmente pelos físicos.

A primeira parte do desenvolvimento das atividades consistiu na elaboração do material instrucional voltado aos professores que irão utilizar os vídeos. Esse material foi escrito tendo como base a teoria vista no capítulo 3, mas foram feitas algumas modificações a fim de facilitar a transposição didática dos conteúdos abordados para os professores de Ensino Médio e seus estudantes.

Os processos de gravação e edição de um vídeo são complexos, compostos de diversas etapas e precisam ser devidamente planejados. Das diversas etapas necessárias para essa produção, em (WATTS, 1990) orienta-se que uma das primeiras consista na elaboração de um roteiro, que deve guiar todo processo. Nele precisam constar as orientações sobre os elementos visuais e auditivos necessários à produção dos vídeos. Afinal de contas, todos os elementos que serão utilizados devem ter um propósito e finalidade.

Após algumas reuniões com o prof. Dr. Adilson e com o auxílio da profa. Dra. Alexandra Bujokas, foi feita a definição do formato, do gênero e da estrutura dos roteiros. Determinou-se que o gênero seria de um programa educativo, com formato didático, mas sem o aspecto de uma videoaula. Para simplificar a produção e gravação dos vídeos escolheu-se usar somente um personagem e um narrador.

Mesmo já existindo uma delimitação do que seria abordado, o passo seguinte contou com a definição de quais conceitos seriam privilegiados nesse processo, tendo em vista a complexidade da teoria das bandas de energia, o que algumas vezes gera dificuldades até aos alunos de nível superior. Nessa etapa foram então escolhidas as simplificações, as analogias e as metáforas que seriam utilizadas, mas sempre acompanhadas de ressalvas acerca de suas limitações teóricas se comparadas ao que é cientificamente aceito hoje em dia (TERRAZZAN et al., 2000; BOZELLI; NARDI, 2004). Essas figuras de linguagem são uma estratégia bastante comum no ensino de Ciências, e obtém bastante sucesso quando são observadas com o devido cuidado, como foi ressaltado no capítulo 5.

A elaboração dos roteiros começou por volta de Agosto de 2011 e foi feita em um editor de texto comum, tomando-se o cuidado de fazer a separação entre as informações relativas ao áudio e ao vídeo em colunas diferentes, como orientado em (WATTS, 1990). Os quatro roteiros foram escritos de forma sequencial, mas os assuntos foram divididos de maneira a admitir que os vídeos sejam vistos fora de sequência ou de maneira independente, se assim desejar o estudante ou o educador. Eles foram planejados para serem curtos, com duração de 8 minutos no máximo. Essa escolha se baseou no fato de que vídeos curtos são mais atrativos e conseguem manter a atenção dos estudantes durante toda sua exibição com mais facilidade. A locução foi planejada para ter uma linguagem informal, mais próxima do cotidiano dos estudantes, mas sem deixar de lado as palavras-chave necessárias à compreensão do que foi abordado.

Ao final desse trabalho foram colocados em anexo os roteiros dos quatro vídeos, onde pode ser observado os principais assuntos que foram abordados, como visto na tabela 7.1:

A produção dos roteiros foi seguida por uma pesquisa iconográfica, na qual foram catalogadas e arquivadas a maior parte das imagens que ilustraram os vídeos, seguindo o

Tabela 7.1: Principais assuntos abordados em cada um dos vídeos.

Vídeo 01	Vídeo 02	Vídeo 03	Vídeo 04
Energia elétrica, intensidade de corrente elétrica, conservação da carga elétrica, diferença de potencial, campo elétrico, diferença entre condutores e isolantes, resistência e resistividade elétrica.	Materiais semicondutores; comparação entre os isolantes, condutores e semicondutores; a composição atômica da matéria; o modelo atômico de Rutherford e Bohr; os níveis de energia; o conceito de bandas de energia; o conceito de “buraco” e seu papel na condução elétrica.	O uso de semicondutores em dispositivos simples, como os diodos de junção; a diferença entre os semicondutores intrínsecos e extrínsecos (dopados); o conceito de dopagem de um semicondutor; de junção PN e seu comportamento; aplicações simples do uso de diodos; os conceitos básicos de transistores e suas principais aplicações.	Funcionamento dos microprocessadores, seu uso e importância na computação atual; um apanhado geral do que foi dito nos vídeos anteriores; uma mensagem final sobre o caráter transitório do conhecimento científico e sua relação com o desenvolvimento tecnológico.

que foi previsto nos roteiros. Nessa etapa também foram catalogados os excertos de animações e outros pequenos vídeos que foram usados para ilustrar as metáforas e analogias propostas. Todas essas figuras de linguagem foram avaliadas, de acordo com os critérios citados no capítulo 5, a fim de evitar que elas se tornassem um obstáculo epistemológico para os estudantes. Em todos os casos, foram utilizados arquivos de domínio público da internet.

A gravação das cenas que compõe os vídeos foi feita em duas tardes, nos estúdios da Rádio UFSCar. Para melhorar a dinâmica da gravação, as cenas do roteiro foram divididas e ordenadas de acordo com os planos de focalização da câmera que seriam utilizados. Essa ordem foi sugerida pela equipe do LABI, da UFSCar, liderada pelo doutorando em educação Tarcio Minto Fabrício. Os vídeos foram gravados com uma técnica chamada de *chroma key*, na qual uma cor de fundo (nesse caso, a cor verde) é substituída por outros elementos visuais durante o processo de edição dos vídeos. A equipe do LABI também ficou responsável pela edição do vídeo, que foi feita de acordo com as orientações do roteiro. Os quatro vídeos podem ser acessados através dos seguintes *links*:

- Vídeo 1: <http://youtu.be/JEOiHmfDfFQ>.
- Vídeo 2: <http://youtu.be/4dfh8XsFGuw>.

- Vídeo 3: <http://youtu.be/tIQdOps2KKQ>.
- Vídeo 4: <http://youtu.be/QPITmUFmrqE>.

Paralelamente ao processo de edição e finalização dos vídeos, definiu-se que seriam usados questionários objetivos para a avaliação das atitudes dos estudantes em relação aos conceitos que foram apresentados, a fim de determinar como o assunto foi compreendido pelos estudantes. Para simplificar a análise, definiu-se também que as atividades de avaliação das atitudes em relação aos vídeos ocorreriam logo depois à exibição dos mesmos, sem maiores interferências do professor. Apesar dessa situação não ser a ideal do ponto de vista didático, o objetivo nessa etapa do trabalho era avaliar o impacto que os vídeos “individualmente” teriam sobre o conhecimento e interesse dos estudantes pelo assunto.

Para isso, foram elaboradas quatro escalas Likert, compostas de 16 itens cada uma. Elas foram elaboradas seguindo o modelo apresentado por Rensis Likert (LIKERT, 1932; McCLELLAND, J. A. G., 1976; CUNHA, 2007), através do qual é possível medir atitudes e opiniões de um grupo de pessoas em relação a algum tema usando uma escala de concordância. Ela pode ser elaborada de diversas maneiras mas, nesse caso, optou-se por uma escala numérica de 1 (um) a 5 (cinco), na qual a resposta dada pelo número 1 significava “discordo totalmente, com convicção” e o número 5 significava “concordo totalmente, com convicção”. Com isso, o estudante deveria avaliar cada afirmativa do questionário usando valores inteiros dentro dessa escala. Na medida do possível, houve o cuidado de se fazer um questionário balanceado, com o mesmo número de respostas esperadas positivas e negativas, para não influenciar ou sugerir nada aos estudantes. Essa é uma dentre todas as orientações, citadas no capítulo 6 que foram observadas na elaboração e aplicação dessas escalas.

A apresentação dos vídeos ocorreu entre os dias 01 e 14 de Agosto de 2013, em duas turmas do Ensino Médio regular matutino de um colégio particular na cidade de Uberaba – MG. Ao todo, 72 estudantes com idade entre 16 e 18 anos participaram da atividade. A essa altura do ano letivo, eles já haviam estudado todos os assuntos que tradicionalmente são agrupados nas seções denominadas “Eletrostática” e “Eletrodinâmica”, tendo visto os conhecimentos básicos de circuitos elétricos, por exemplo. Com isso foi possível garantir que todos os subunçoes abordados no primeiro vídeo já haviam sido tratados durante as aulas regulares.

A dinâmica de apresentação dos quatro vídeos foi praticamente a mesma:

- explicou-se como seria a dinâmica das atividades;
- o vídeo foi apresentado;

- foi entregue o questionário individual aos alunos;
- foram dadas algumas orientações sobre o preenchimento dos questionários;
- os mesmos foram recolhidos.

Durante as orientações, pediu-se inclusive que fossem registradas na folha do questionário as eventuais dúvidas que porventura surgissem durante qualquer etapa da atividade.

As atividades do primeiro e do segundo vídeo, incluindo a exibição dos mesmos e a aplicação dos seus respectivos questionários, demandaram uma aula de 50 minutos cada uma. Desse tempo, a parte inicial foi utilizada para orientar os estudantes sobre o projeto realizado, além de outros encaminhamentos sobre a leitura e resposta dos questionários. Surgiram poucas dúvidas em relação à interpretação dos itens e, nesses casos, optou-se por não interferir. No caso do primeiro vídeo, o tempo demandado foi utilizado na integralidade. A partir do segundo vídeo, viu-se que seria possível aplicar a atividade em um tempo menor. Por isso as atividades de aplicação do terceiro e do quarto vídeo foram feitas em uma única aula de 50 minutos.

8 Resultados

A proposta de se utilizar vídeos para introduzir o tema sobre semicondutores se mostrou bastante feliz, uma vez que, foi possível observar que os vídeos foram grandes motivadores para manter a atenção dos estudantes. Provavelmente isso ocorreu devido ao fato de que apresentar um vídeo em aulas de Física represente uma quebra de rotina no cotidiano escolar dessas turmas. É interessante destacar que todos os questionários foram respondidos individualmente pelos estudantes, mas a interação entre eles não foi reprimida e ocorreu com pouca frequência. Durante a aplicação das atividades nenhuma das respostas apontadas nos questionários foi lida ou comentada, a fim de garantir que eles não se inibissem ao representar suas atitudes frente aos itens das escalas. Depois da aplicação de todos os questionários, foi feito o registro das respostas dos questionários em arquivos digitais, para facilitar sua leitura e análise.

8.1 Vídeo 1

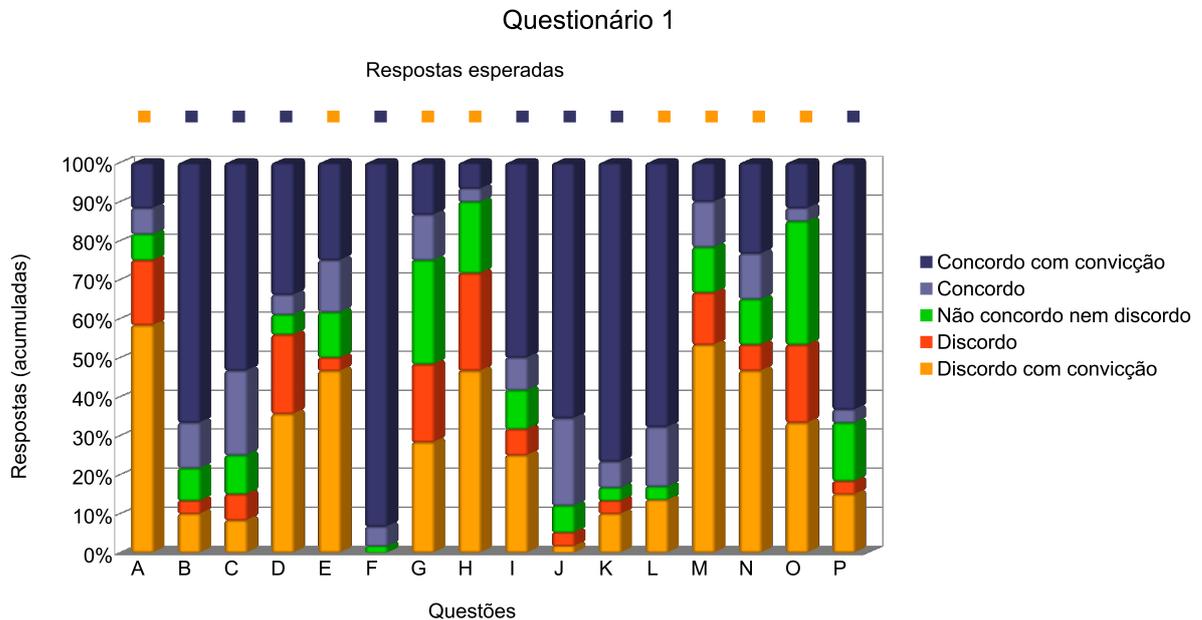
O primeiro vídeo abordou a diferença entre condutores e isolantes à luz dos conceitos comumente utilizados em aulas tradicionais do Ensino Médio, como os conceitos de energia elétrica, intensidade de corrente, diferença de potencial, resistividade elétrica, entre outros. Após a exibição do primeiro vídeo, foi dado aos estudantes um questionário individual de 16 afirmativas (itens) e a partir das respostas apresentadas, foi feito o gráfico 8.1, no qual as respostas foram apresentadas em termos de porcentagens empilhadas. A legenda de cores acima de cada questão indica a resposta esperadas.

8.1.1 Análise das respostas “neutras”

Em um primeiro momento, avaliaram-se quais foram as afirmativas que obtiveram um percentual igual ou superior a 15% de respostas neutras (número 3, na escala). Como pode ser visto no gráfico 8.1, isso ocorreu para as afirmativas O, G, H e P.

A questão O se refere à existência de dispositivos que permitam a passagem de corrente em um único sentido (mas sem citar a palavra diodo) e o grande número de respostas neutras, nesse caso, é justificável pelo fato de que mesmo após o primeiro vídeo, os alunos ainda

Gráfico 8.1: Respostas dadas ao questionário do vídeo 1.



não haviam estudado esse assunto. O item G está relacionado a uma conhecida concepção alternativa dos estudantes sobre o “consumo” de corrente elétrica. Nessa questão afirmou-se que quando um aparelho é ligado na tomada, em um fio entra a corrente que vai ser consumida e no outro sai o que não é gasto. Tal insegurança provavelmente deve-se ao paralelo que muitos estudantes fazem entre o sistema de distribuição de água de uma residência e suas instalações elétricas, mesmo após as ressalvas da limitação dessa analogia.

A afirmativa H traça uma relação entre a rigidez de um material e a sua condutividade elétrica e provavelmente gera insegurança porque os estudantes relacionam o conceito de condutor elétrico aos metais, apesar de todos os alertas feitos pelo professor durante o estudo desse tema. Por fim o item P, que também gerou bastante insegurança, diz respeito à relação entre a resistividade elétrica de um corpo e a sua facilidade em conduzir corrente. Essa insegurança gerou uma certa surpresa, pois essa relação foi bastante trabalhada durante as aulas tradicionais sobre o tema e indica que provavelmente esse tipo de abordagem não foi suficiente para promover uma aprendizagem significativa nesse caso.

8.1.2 Análise das dúvidas

No final do primeiro questionário havia uma questão aberta que perguntava ao estudante quais afirmativas lhe geraram dúvidas. Esses e outros dados obtidos com o questionário aplicado após o primeiro vídeo estão colocados na tabela 8.1.

Tabela 8.1: Média, desvio padrão e número de dúvidas das respostas das turmas ao questionário do vídeo 1.

Item	média	desvio padrão	resposta esperada	número de dúvidas	número de “trocas”
A	1,97	1,41	1	17	5
B	4,22	1,33	5	9	1
C	4,05	1,29	5	13	6
D	2,81	1,75	5	11	6
E	2,67	1,72	1	8	4
F	4,92	0,33	5	1	2
G	2,62	1,37	1	31	6
H	1,98	1,19	1	17	3
I	3,52	1,71	5	10	3
J	4,47	0,90	5	13	2
K	4,37	1,31	5	6	0
L	4,24	1,38	1	9	4
M	2,12	1,43	1	11	2
N	2,58	1,69	1	13	7
O	2,40	1,30	1	32	3
P	3,97	1,52	5	15	2

A partir dessa tabela, viu-se que dentre as afirmativas do questionário 1 aquelas que nominalmente mais geraram dúvidas nos estudantes foram os itens G e O, o que é coerente com a análise anterior. Contudo, é interessante notar que quase 50% dos estudantes apontaram ter dúvidas nessas duas afirmativas. As questões A, H e P também merecem destaque por terem gerado dúvidas em mais de 25% dos estudantes. As afirmativas H e P também apareceram na análise anterior, mas o item A, que relaciona de maneira incorreta o número de elétrons de um isolante com suas propriedades elétricas, foi uma surpresa. Provavelmente esse último item gerou dúvidas por ser uma questão que não é colocada usualmente em provas e exames de seleção, fazendo com que os estudantes se deparassem com uma nova abordagem sobre o assunto. E apesar do grande número de dúvidas, vê-se no gráfico 8.1 que a resposta dada pela maior parte deles foi bem próxima da resposta esperada para o item.

8.1.3 Análise da distribuição das respostas

Ainda com os dados da tabela 8.1 avaliou-se quais foram as afirmativas cuja a média das respostas mais se aproximou de 3. Isso ocorreu para os itens D, E, G, I e N. A questão D se refere ao fato da grafite ser feita de carbono e ser boa condutora de eletricidade e, a questão I, afirma que a madeira é feita de carbono e é um mau condutor de eletricidade. A distribuição das respostas nesses dois itens muito provavelmente foi induzida pelas próprias afirmativas, que

geram uma aparente incongruência apesar de estarem ambas corretas. Isso fica evidente quando se percebe que a afirmativa D também foi uma das questões cuja média das respostas ficou mais “distante” do resultado esperado, em ambas as turmas.

A afirmativa E diz que todos os materiais podem ser classificados como isolantes ou condutores, não dando uma outra opção, e viu-se que os estudantes se dividiram em dois grupos nesse caso. Cerca de 50% deles discordavam da afirmativa, enquanto que quase 40% concordavam com ela de alguma forma. A distribuição de respostas nesse item foi uma surpresa, uma vez que os materiais semicondutores são comentados no final do primeiro vídeo. Na questão N atribuía, de maneira incorreta, a corrente elétrica nos metais com o movimento de prótons e elétrons, o espectro de respostas dessa afirmativa também foi surpreendente, já que esse assunto foi extensivamente tratado durante as aulas tradicionais no bimestre anterior à exibição dos vídeos. Isso pode significar que os estudantes se dividiram entre aqueles que compreenderam a condução de corrente nos metais e aqueles que, confundidos pelo sentido convencional da corrente, atribuem incorretamente sua composição ao movimento de cargas positivas.

8.1.4 Análise da relação entre a média e a resposta esperada

O intuito dessa análise era avaliar quais eram as questões cuja média das respostas estava “distante” da resposta esperada. De forma qualitativa, o gráfico 8.1 pode ser de grande ajuda mas, para que a análise fosse mais objetiva, avaliou-se o módulo da diferença entre a resposta esperada e a média das respostas para a afirmativa. Se esse valor era maior do que o desvio padrão da média das respostas da afirmativa, considerou-se que essa média estava “distante” do resultado esperado. Por esse “método”, ainda foi possível perceber que, além do item D, as afirmativas que mais se afastaram da resposta esperada foram os itens L, G e O. O aparecimento das questões G e O nessa e nas outras análises (de respostas neutras e número de dúvidas) mostrou que elas provavelmente foram os itens mais difíceis do questionário.

A surpresa ficou por conta da afirmativa L, que apesar de não figurar entre aquelas que nominalmente geraram mais dúvidas, sua média das respostas discordou bastante da resposta esperada. Essa questão atribui uma alta velocidade aos portadores de corrente elétrica, provavelmente baseado na observação fenomenológica do acendimento aparentemente “instantâneo” de uma lâmpada. Apesar de estar ligado a uma conhecida concepção alternativa dos estudantes, esse resultado não era esperado, já que esse conceito foi abordado de diversas maneiras no primeiro vídeo, no qual se utilizou inclusive uma animação sobre o tema.

O curioso foi constatar que no Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) desse

ano (2013) foi proposta uma questão sobre o mesmo tema, como pode ser visto na figura 8.2. Dentre as respostas incorretas há uma afirmativa que apresenta exatamente o mesmo sentido do que foi colocado no item L, indicando que o elaborador da questão também levou em conta as concepções alternativas dos alunos. É importante ressaltar que o questionário foi aplicado em Agosto de 2013 e o ENEM ocorreu no dia 26 de Outubro de 2013, cerca de dois meses depois.

Figura 8.2: Questão do ENEM sobre a rapidez dos portadores de carga na corrente elétrica.

QUESTÃO 85

Um circuito em série é formado por uma pilha, uma lâmpada incandescente e uma chave interruptora. Ao se ligar a chave, a lâmpada acende quase instantaneamente, irradiando calor e luz. Popularmente, associa-se o fenômeno da irradiação de energia a um desgaste da corrente elétrica, ao atravessar o filamento da lâmpada, e à rapidez com que a lâmpada começa a brilhar. Essa explicação está em desacordo com o modelo clássico de corrente.

De acordo com o modelo mencionado, o fato de a lâmpada acender quase instantaneamente está relacionado à rapidez com que

- A o fluido elétrico se desloca no circuito.
- B as cargas negativas móveis atravessam o circuito.
- C a bateria libera cargas móveis para o filamento da lâmpada.
- D o campo elétrico se estabelece em todos os pontos do circuito.
- E as cargas positivas e negativas se chocam no filamento da lâmpada.

Caderno Branco, ENEM 2013 - primeiro dia - 26/10/2013.

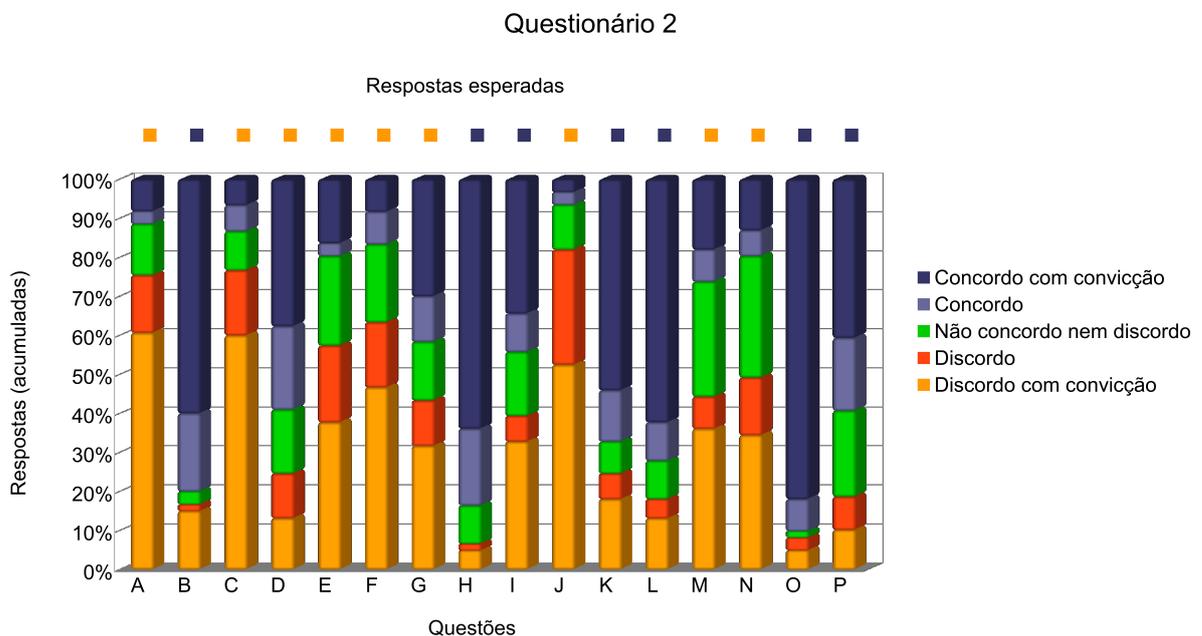
8.1.5 Afirmativas com média próxima à resposta esperada

Com base nos dados colocados no gráfico 8.1 e na tabela 8.1 é possível ver os estudantes se aproximaram bastante da resposta esperada nas afirmativas A, B, C, F, J, K e P. O item A, como comentado anteriormente, relaciona de maneira incorreta o número de elétrons de um isolante com suas propriedades elétricas. As afirmativas F e K tratam das propriedades elétricas (condutividade) dos metais e das soluções salinas, respectivamente. No item J é feita a relação entre os *smartphones*, *tablets*, celulares, computadores e os semicondutores. Como se trata de um assunto que não havia sido abordado antes do primeiro vídeo, acredita-se que esse item apresentou uma média próxima à resposta esperada principalmente devido às afirmações feitas nesse vídeo. Por fim, foi interessante perceber que o item P aparece também nessa análise, uma vez que essa afirmativa também gerou muitas dúvidas e respostas neutras. Assim, pode-se dizer que uma parte dos estudantes reconhece de maneira segura a relação entre a resistividade de um corpo e sua “facilidade” em conduzir corrente, enquanto que outro grupo um pouco menor, mas significativo, ainda não tem segurança em relação a esse assunto.

8.2 Vídeo 2

No segundo vídeo foram trabalhados principalmente os materiais semicondutores, que foram comparados com os isolantes e com os condutores. Falou-se sobre a teoria da bandas de energia a partir do conceito de nível de energia do modelo atômico de Bohr e abordou-se também o conceito de “buraco”. Depois do vídeo, foi feito um questionário com 16 itens de Likert sobre os assuntos abordados e, com os dados fornecidos por esse questionário, foi possível construir o gráfico 8.3.

Gráfico 8.3: Respostas dadas ao questionário do vídeo 2.



8.2.1 Análise das respostas “neutras”

A partir da observação do gráfico 8.3 é possível identificar que as questões D, E, F, I, M, N e P tiveram um número de respostas neutras maior do que 15%. A afirmativa N relaciona a densidade de um material com suas propriedades elétricas e, assim como no vídeo 1, foi possível perceber que uma suposta relação entre as propriedades mecânicas e elétricas de um material gerou insegurança entre os estudantes. No questionário aplicado após o vídeo 1, havia uma afirmativa que tratava da relação entre a rigidez de um material e as suas propriedades elétricas. Através desses resultados é possível concluir que, mesmo após o estudo de tópicos de eletricidade em aulas tradicionais, os estudantes ainda relacionam propriedades mecânicas e elétricas de um material, talvez apoiados em seus conhecimentos empíricos ou concepções

alternativas que não foram superadas.

As outras afirmativas que forneceram um número grande de respostas “neutras” (D, E, F, I, e P) falavam diretamente sobre a teoria das bandas de energia, que foi apresentada nesse vídeo. A insegurança, nesse caso, é compreensível tendo em vista a novidade que esse assunto representou para os estudantes. O item D afirmava que tanto os sólidos cristalinos quanto os átomos individuais são caracterizados por bandas de energia. A afirmativa E assegurava que um elétron em um sólido pode ter qualquer valor de energia, enquanto a afirmativa P dizia que as bandas de energia são um conjunto de valores permitidos para a energia de um sólido cristalino. Na questão I foi colocada a explicação para o estabelecimento de corrente elétrica nos condutores sob a óptica da teoria das bandas de energia. Já a questão F relacionava de maneira incorreta o número de elétrons de um sólido com suas propriedades elétricas (ser isolante ou semicondutor) e atribuía tal informação à teoria das bandas de energia.

No item M atribuía-se erroneamente cargas negativas aos buracos, que foram citados no vídeo 2 como portadores de carga positiva, que surgem quando um elétron deixa a banda de valência. Como esse é um conceito pouco trivial, era de se esperar que ele gerasse esse tipo de “insegurança” nos estudantes. Isso indica que a simples abordagem feita no vídeo não foi suficiente para que eles se apropriassem de forma segura desse tópico.

Viu-se que no questionário do segundo vídeo um número bem maior de itens gerou insegurança em mais de 15% dos estudantes e praticamente todos esses itens estavam relacionados à teoria das bandas de energia, que havia sido abordada pela primeira vez. Essa insegurança provavelmente está ligada à novidade dos assuntos abordados, aliada ao fato de que não foi feita nenhuma intervenção posterior à aplicação do vídeo.

8.2.2 Análise das dúvidas

A partir dos dados registrados no questionário aplicado após o segundo vídeo, foi também elaborada a tabela 8.2, na qual há um levantamento de quais as questões os alunos afirmaram nominalmente ter dúvidas. Mais de 20% dos alunos apresentaram dúvidas em 7 afirmativas: F, N, J, D, M, E e A. A presença dos itens F, N, D, M e E nessa análise era esperado, pois eles também apareceram na análise anterior. Já a presença das afirmativas J e A foi surpreendente, pois elas tratavam de conceitos aparentemente simples. A questão J afirmava que sólidos de qualquer átomo podem se tornar semicondutores, enquanto que o item A relacionava de forma incorreta os prótons e os buracos, dizendo que ambos eram “a mesma coisa” por apresentarem carga positiva. Apesar do grande número de dúvidas, em ambos os casos a média das respostas ficou próximo ao valor esperado, como será visto adiante.

Tabela 8.2: Média, desvio padrão e número de dúvidas das respostas das turmas ao questionário do vídeo 2.

Item	média	desvio padrão	resposta es- perada	número de dúvidas	número de “trocas”
A	1,84	1,27	1	12	4
B	4,08	1,44	5	7	2
C	1,83	1,25	1	8	2
D	3,59	1,43	1	14	1
E	2,41	1,44	1	13	4
F	2,15	1,33	1	17	2
G	2,97	1,66	1	10	1
H	4,36	1,07	5	7	1
I	3,07	1,70	5	10	1
J	1,75	1,01	1	16	3
K	3,79	1,58	5	4	6
L	4,03	1,46	5	10	0
M	2,64	1,49	1	14	1
N	2,49	1,37	1	17	3
O	4,59	1,04	5	5	3
P	3,71	1,35	5	11	4

8.2.3 Análise da distribuição das respostas

Como pode ser visto na distribuição de respostas do gráfico 8.3 e na tabela 8.2, dentre as afirmativas que apresentaram uma média das respostas mais próxima de 3 destacam-se as afirmativas G e I. A questão G não apareceu em nenhuma análise anterior e afirma que os semicondutores são formados por condutores e isolantes divididos igualmente. A distribuição das respostas nesse item indica que há dois grupos distintos de estudantes: aqueles que se posicionaram favoráveis a essa ideia e aqueles que se posicionaram contra ela mas, em ambos os grupos, isso não gerou dúvidas ou uma grande insegurança. Já o item I, que teve um bom número de respostas neutras, relaciona as propriedades elétricas dos condutores com o preenchimento parcial da sua “última” banda de energia, chamada de banda de condução. É uma questão que pode ser considerada difícil, principalmente levando em conta o fato de que esse assunto tinha acabado de ser abordado no vídeo, fato que provavelmente gerou tanta insegurança nos estudantes. As afirmativas M e N também tiveram média próxima de 3 e apareceram em análises anteriores, o que denota a dificuldade dos estudantes em assimilar os conceitos apresentados nelas.

8.2.4 Análise da relação entre a média e a resposta esperada

Posteriormente, observando-se o gráfico 8.3 procedeu-se a análise do número de questões que apresentaram uma distância estatística muito grande entre a resposta esperada e a média das respostas dos alunos. Viu-se que isso ocorreu nos itens D, G, I, M, e N. As questões D, I, M e N apareceram também em praticamente todas as análises anteriores, indicando que essas afirmativas não foram bem compreendidas pelos estudantes. No caso do item D destaca-se que ele provavelmente apresentou essa dificuldade por várias razões, entre as quais está o fato de ser composto por uma oração longa e, além disso, ela relacionar erroneamente a teoria das bandas de energia ao modelo atômico de Bohr. A soma desses fatores provavelmente a tornou uma afirmativa de difícil compreensão. O item G apareceu somente na análise da distribuição das respostas, indicando que foi considerada uma afirmativa “fácil”, mesmo não sendo corretamente assimilada pela maioria dos estudantes. Nela, afirmava-se que um semicondutor é formado por materiais condutores e isolantes divididos igualmente. Em uma eventual intervenção posterior ao vídeo essa concepção alternativa deveria ganhar grande parte da atenção para que pudesse ser superada.

8.2.5 Afirmativas com média próxima à resposta esperada

Do gráfico 8.3 e da tabela 8.2 é possível ver ainda que as afirmativas A, B, C, H, J, L e O apresentaram uma média de respostas muito próxima à resposta esperada. A afirmativa A relaciona de maneira errônea os buracos e os prótons, dizendo que ambos são idênticos por apresentarem mesma carga elétrica, enquanto que o item J afirmava que sólidos compostos por qualquer átomo podem se tornar semicondutores. Cerca de 75% dos estudantes tiveram respostas próximas do esperado no item A, mas ele apresentou um número considerável de dúvidas muito provavelmente por causa da aparente dubiedade da questão, que apresenta na realidade duas afirmativas dentro de uma só (afirma que buracos são iguais a prótons e que cargas positivas compõe a corrente elétrica).

A questão O tratava da variação da condutividade com a temperatura e o item B tratou do *gap* de energia dos sólidos. Pelo que pode ser visto no gráfico 8.3, a questão O parece ter sido considerada a mais fácil do questionário. O item H diz que o “tamanho” do *gap* de um semicondutor é o responsável pela mudança da sua condutividade com a temperatura. Ao lado do item B e O, essa questão também parece não ter gerado maiores dificuldades nos estudantes, o que é coerente pois o item H relaciona dois conceitos trabalhados nas questões B e O.

A afirmativa C atribui de forma incorreta uma suposta “facilidade” em se es-

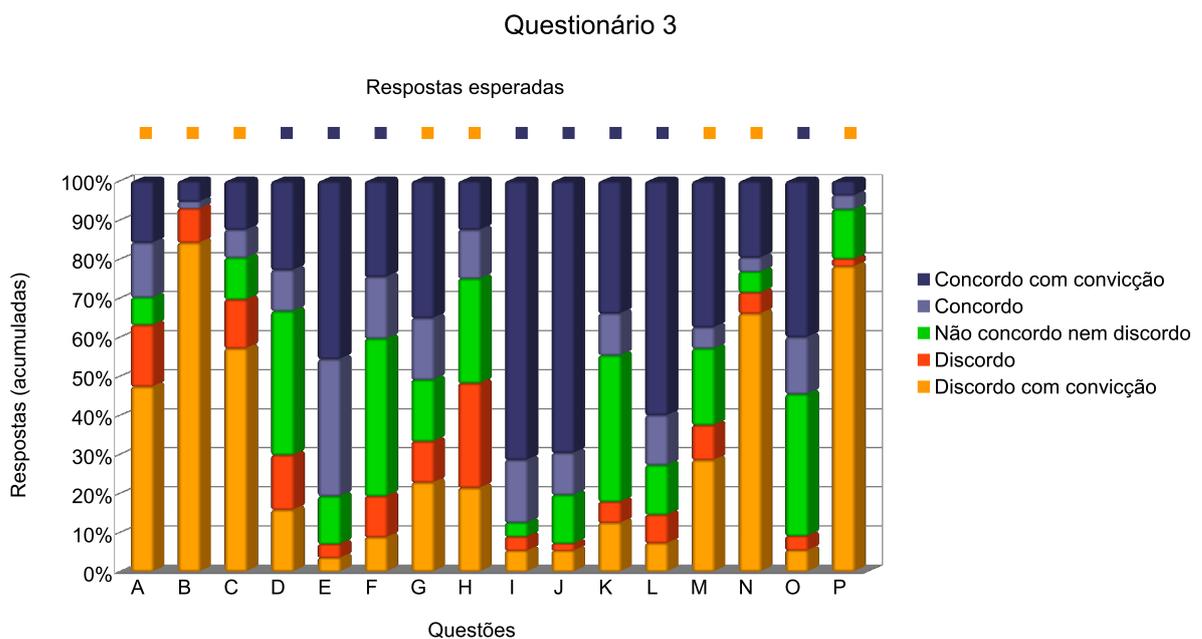
tabelecer corrente elétrica nos semicondutores, o que foi rechaçado pelos alunos, como esperado com base nas respostas anteriores. Isso dá indícios que os estudantes compreenderam de forma segura o papel da teoria das bandas de energia e do conceito de *gap* na explicação do comportamento dos materiais semicondutores, além de relacionar corretamente a influência da temperatura nesse processo.

A questão L afirmava que os buracos são “espaços” deixados pelos elétrons que saíram da banda de valência. O grande número de respostas próximas ao esperado nessa afirmativa foi surpreendente, principalmente tendo em vistas o número de dúvidas apresentadas no item A e que não figuraram nesse item. Isso reforça a ideia que a afirmativa A gerou dúvidas principalmente devido à sua aparente dubiedade.

8.3 Vídeo 3

No terceiro vídeo abordou-se o uso dos semicondutores em dispositivos simples, como os diodos e transistores. Para isso falou-se sobre os semicondutores dopados, o conceito de dopagem e de junção PN. O funcionamento e uso dos transistores foi trabalhado, mas o foco maior ficou com o funcionamento do diodo. Após a exibição dos vídeos, foi entregue aos estudantes um questionário com 16 afirmativas, sobre os conceitos abordados nos vídeos. Com essas respostas, construiu-se o gráfico 8.4.

Gráfico 8.4: Respostas dadas ao questionário do vídeo 3.



8.3.1 Análise das respostas “neutras”

Olhando para o gráfico 8.4, é possível perceber que as afirmativas D, F, K, O, H, G e M apresentaram um número superior a 15% de respostas “neutras” (número 3). Dentre essas afirmativas, duas relacionam a temperatura de uma substância com a sua condutividade elétrica, de forma direta (afirmativa H) ou de forma indireta (afirmativa D). Na questão H diz-se que a capacidade de uma substância qualquer conduzir corrente sempre aumenta com o aumento de temperatura, enquanto que no item D afirma-se que nos semicondutores, à baixa temperatura, os elétrons estão todos na banda de valência. Tendo em vista os resultados do questionário anterior, no qual a relação entre a condutividade dos semicondutores e sua temperatura parecia estar bem estabelecida, vê-se que o mesmo não ocorreu quando essa ideia foi aplicada em outros contextos. Isso indica que provavelmente os estudantes assimilaram a explicação das bandas de energia para os semicondutores, mas ainda têm dificuldades de reconhecer o papel da temperatura na condutividade de outros materiais. Além disso, vê-se pelo resultado da questão D que a ocupação das bandas de energia nos semicondutores, apesar de assimilada pelos estudantes, ainda gerou muita insegurança.

O item F discute o fato dos os elétrons de maior energia de um condutor estarem em uma banda semipreenchida e o item K relaciona corretamente a importância do *gap* de energia aos isolantes e semicondutores. A insegurança nessas últimas afirmativas indica que provavelmente os estudantes utilizam a teoria das bandas de energia para explicar o comportamento dos semicondutores, mas tem dificuldade de relacioná-la ao comportamento dos isolantes.

A questão G é exatamente o mesmo item que apareceu no questionário aplicado após o primeiro vídeo, onde se afirma que quando um aparelho é ligado à tomada por dois fios, em um deles entra a corrente que será “consumida” e no outro sai o que não é gasto. Esse conceito não foi trabalhando em nenhum dos vídeos posteriores (2 e 3) e, por isso, era esperado que eles não atuassem como um material potencialmente significativo na diferenciação progressiva desse subunçor. Assim, vê-se que o perfil de distribuição das respostas nessa questão se manteve aproximadamente o mesmo, se comparado ao primeiro questionário.

Outras questões que geraram bastante insegurança foram os itens M e O. Em M apareceu uma afirmativa que resumia a principal dificuldade apresentada pelos estudantes no trabalho de Carmona (2008). Nela, relaciona-se de maneira errônea a dopagem de um semicondutor (tipo-P, nesse caso) com sua carga elétrica. Contudo, apesar do grande número de respostas “neutras”, houve também um grande número de respostas próximas ao esperado (cerca de 40%), indicando que a estratégia escolhida, apesar de correta, não pôde sozinha se so-

brepor à dificuldade do conceito. Acredita-se que seriam necessárias outras intervenções para que os alunos pudessem atingir o nível de discernimento desejado para esse item. A afirmativa O tratava do transistor e de sua principal função, controlar a corrente que passa por ele utilizando um sinal elétrico. A insegurança frente a esse questionamento era esperada tendo em vista que a essa altura nenhum estudante havia ouvido falar dos transistores dentro do espaço escolar.

8.3.2 Análise das dúvidas

Ainda com os dados conseguidos pelo questionário aplicado após o terceiro vídeo, foi feita a tabela 8.3. Nela, vê-se que mais de 20% dos estudantes apontaram ter dúvidas nas questões D, F, H, O, K, M e E nessa etapa. De forma bastante coerente, praticamente todas as afirmativas apontadas nessa análise também apareceram na análise anterior, com exceção da afirmativa E. Esse item diz que são necessários pequenos acréscimos na energia de um elétron para que se estabeleça uma corrente elétrica em um condutor. É interessante notar, ainda na tabela 8.3 e no gráfico 8.4, que mesmo apresentando um grande número de dúvidas, as respostas dessa questão ficaram próximas ao valor esperado.

Tabela 8.3: Média, desvio padrão e número de dúvidas das respostas das turmas ao questionário do vídeo 3.

Item	média	desvio padrão	resposta esperada	número de dúvidas	número de “trocas”
A	2,35	1,56	1	6	0
B	1,35	0,99	1	1	2
C	2,05	1,46	1	8	2
D	3,11	1,35	5	22	1
E	4,16	1,01	5	12	3
F	3,37	1,22	5	20	0
G	3,30	1,59	1	8	2
H	2,68	1,29	1	20	3
I	4,45	1,09	5	4	0
J	4,38	1,12	5	6	0
K	3,48	1,35	5	16	1
L	4,11	1,30	5	7	0
M	3,14	1,68	1	11	4
N	2,05	1,63	1	3	4
O	3,80	1,18	5	16	1
P	1,53	1,09	1	5	1

8.3.3 Análise da distribuição das respostas

Ao analisar na tabela 8.3 quais afirmativas tiveram como média de resposta um número próximo de três, vê-se que isso ocorre nos itens D, F, G, H, K e M. Todas essas afirmativas apresentaram também um grande número de respostas neutras, mas isso teve um peso maior nos itens D, F e K. As outras afirmativas (G, H, e M) tiveram respostas divididas de maneira praticamente uniforme entre os valores permitidos. Isso reforça a ideia de que a compreensão desses itens ficou bem dividida, além de gerar insegurança em uma parcela importante dos estudantes.

8.3.4 Análise da relação entre a média e a resposta esperada

Quando é feita a análise das questões cuja média está estatisticamente distante da resposta esperada, sobressaem as afirmativas D, F, G, H, K e M. Todas as afirmativas que apareceram nessa análise também geraram muitas dúvidas e insegurança nos estudantes, o que pode ser um bom indicador, pois significa que não houve nenhuma afirmativa desse questionário na qual os estudantes se posicionaram erroneamente e de forma segura. Dessa forma outras atividades que eventualmente fossem realizadas sobre esse assunto poderiam ajudar os estudantes a dirimir os problemas na aprendizagem desses conceitos.

8.3.5 Afirmativas com média próxima à resposta esperada

Faz-se necessário ainda destacar que em sete itens do questionário aplicado após o vídeo 3 as respostas médias ficaram muito próximas das respostas esperadas (B, C, I, J, L, N e P), fato que pode ser observado através do gráfico 8.4 e da tabela 8.3. Para a questão (I) esse resultado já era esperado, pois algo similar já havia acontecido com uma questão parecida do primeiro questionário, sendo possível inclusive perceber que a distribuição de respostas em ambos os casos foi muito parecida. Essa questão diz que sem os semicondutores não teríamos celulares, *tablets*, *smartphones* e computadores tão poderosos.

Em J aborda-se os diodos e de sua principal característica (conduzir corrente elétrica em um único sentido). Nesse caso ficou clara a influência dos vídeos, uma vez que esse assunto havia apresentado resultados bem diferentes no questionário aplicado após o primeiro vídeo, onde os estudantes demonstraram não ter conhecimento desse componente. Após o terceiro vídeo viu-se que cerca de 80% dos estudantes reconhecem a existência desse tipo de dispositivo. Os itens C e L falam da natureza dos buracos e do processo de recombinação entre eles e os elétrons, que pode promover a passagem de corrente elétrica em uma junção.

A afirmativa P trata do “salto” que um elétron faz entre as bandas de valência e de condução. Por fim, as afirmativas E e B tratam da condutividade dos materiais (em E dos condutores e em B de qualquer material). No caso desses dois itens os vídeos devem ter influenciado muito pouco, já que são tópicos que foram extensamente tratados nas aulas anteriores de eletricidade e foram pouco trabalhados nos vídeos. Também era esperado que a média das respostas do item N ficasse muito próxima do valor esperado. Essa afirmativa trata da natureza dos portadores de corrente elétrica dos condutores, e esse assunto havia sido questionado no primeiro vídeo, onde as respostas também ficaram muito próximas do valor esperado.

No caso dos itens A, E e O houveram muitas respostas próximas ao valor esperado, mas o nível de confiança dos estudantes não foi tão grande. A questão A falava sobre a relação entre o aspecto de uma substância e sua condutividade, algo que deveria ser bastante claro para os estudantes, mas ainda causou confusão em cerca de 30% deles. Já os itens E e O tiveram muitas respostas próximas ao esperado, mas também foram citados na avaliação das questões que mais geraram dúvidas.

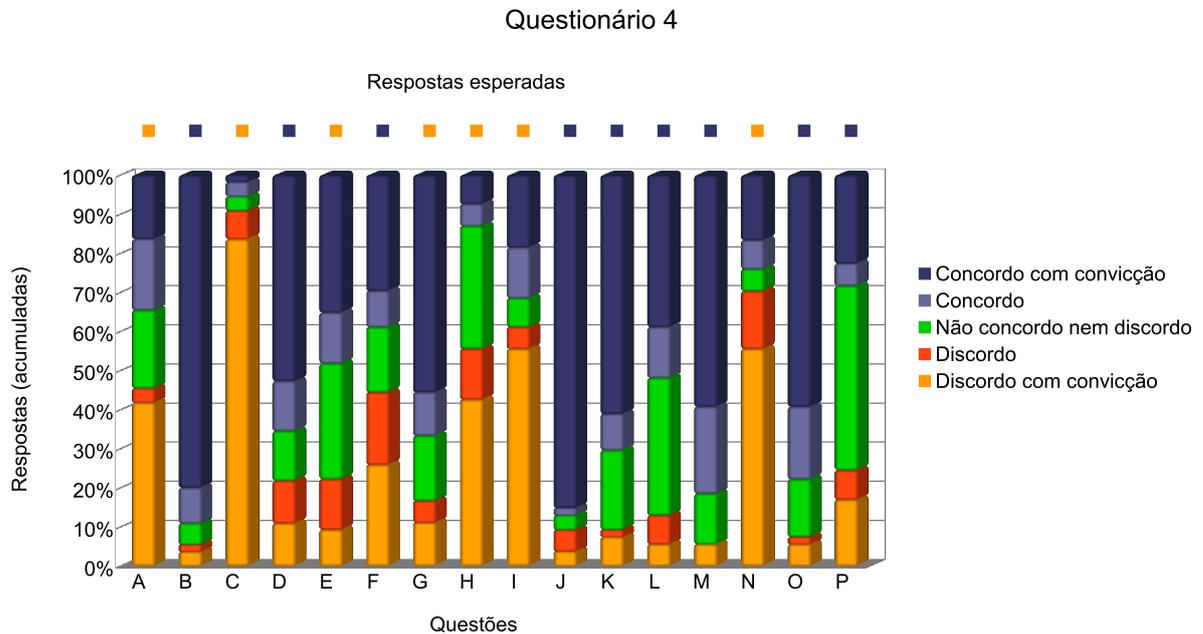
8.4 Vídeo 4

No quarto vídeo, o objetivo era fazer um fechamento de todo assunto que havia sido tratado. Por isso, ele iniciou com uma abordagem sobre o funcionamento dos processadores baseados em transistores e da sua importância na computação atual. Após isso, foi feita uma “retrospectiva” dos assuntos (e imagens) presentes nos vídeos anteriores. Após o esse vídeo, foi entregue um questionário com 16 itens de Likert sobre os assuntos vistos nos quatro vídeos. A partir dos dados desse questionário, foi feito o gráfico 8.5.

8.4.1 Análise das respostas “neutras”

Analisando através do gráfico 8.5 as respostas conseguidas no questionário aplicado, foi possível perceber que as afirmativas P, L, E, H, K, G, A e F receberam mais de 15% de respostas “neutras” (número 3). As questões P e L se referem a tópicos da teoria das bandas de energia. Na primeira, fala-se da relação entre o preenchimento das bandas de condução e a resistividade de um material e, na segunda (L), faz-se referência ao *gap* de energia dos semicondutores e dos isolantes, sem citá-lo nominalmente. É curioso observar que as questões relacionadas ao *gap* de energia apresentaram maiores dificuldades aos estudantes quando ele não é citado diretamente. Isso sugere que, apesar de ter entendido o conceito, os estudantes ainda têm dificuldade de extrapolar o seu significado, ou seja, a aprendizagem desse tópico

Gráfico 8.5: Respostas dadas ao questionário do vídeo 4.



provavelmente foi mecânica e ainda precisaria ser mais bem trabalhada por outras atividades para garantir uma aprendizagem significativa. Além disso, é preciso destacar que a afirmativa L estava presente também no questionário aplicado após o terceiro vídeo e, naquela ocasião, apresentou praticamente o mesmo número de respostas neutras e a mesma distribuição de respostas, indicando que o quarto vídeo não contribuiu para extinguir a insegurança mostrada pelos estudantes nesse item.

Os diodos aparecem como tema em dois itens citados. Na afirmativa K relacionam-se os diodos à sua principal característica eletrônica: o fato de permitirem a passagem de corrente em um único sentido. É interessante notar que essa afirmativa não apresentou maiores problemas no questionário anterior, quando a única diferença era não ter citado o nome do dispositivo. Isso pode indicar que os estudantes reconhecem a existência desses artefatos, mas ainda não conseguem associá-lo ao seu nome. Em G, relacionam-se, de maneira errônea, as propriedades dos diodos às propriedades das baterias. Nesse item afirma-se que ambos têm um lado positivo e outro negativo, fazendo com que eles funcionem da mesma forma.

O item E afirma que os transistores são compostos por condutores e isolantes e, assim como ocorreu no questionário aplicado após o terceiro vídeo, gerou uma grande insegurança nos estudantes. A partir dessas respostas foi possível perceber que somente com os vídeos a maior parte dos estudantes não atingiu uma aprendizagem significativa dos conceitos relacionados aos transistores. A afirmativa H questiona o eventual papel que as válvulas po-

deriam cumprir ao substituir os transistores modernos e o grande número de respostas neutras nesse caso é coerente com as conclusões obtidas na afirmativa anterior.

Na questão A afirma-se que os bits são representados pelos números 1 e 2 e são, na verdade, processados através de sinais elétricos. Foi curioso notar a insegurança frente a esse item, já que durante o planejamento do questionário esperava-se que esse fosse um conceito trivial para esses estudantes “nativos digitais” (PRENSKY, 2001), mas ficou claro que esse não foi o caso para a maior parte deles. Por fim, na afirmativa F foi dito que não há *gap* de energia entre a banda de condução e a banda de valência dos condutores. A insegurança em um item parecido também ocorreu no questionário aplicado após o segundo vídeo, indicando que a ocupação das bandas de energia dos condutores não foi bem compreendida pelos alunos e que seriam necessárias outras atividades relacionadas ao tema para promover uma aprendizagem significativa.

8.4.2 Análise das dúvidas

Com os dados registrados no questionário aplicado após o quarto vídeo também foi feita a tabela 8.4. Observando essa tabela, vê-se que as afirmativas que se destacaram por terem gerado mais dúvidas nos estudantes foram os itens L, P e H. A questão L, que fala sobre o *gap* de energia dos semicondutores e isolantes, gerou um número parecido de dúvidas quando comparada a uma questão similar que foi colocada no questionário aplicado após o terceiro vídeo.

Outros dois itens (P e H) também aparecerem na análise anterior com um grande número de respostas neutras, demonstrando a grande insegurança que eles causaram nos estudantes. Apesar desse questionário apresentar um número de questões com respostas neutras foi muito parecido com os outros questionários, foi curioso notar o número reduzido de dúvidas que ele apresentou.

8.4.3 Análise da distribuição das respostas

Ao calcular quais foram as afirmativas cuja média das respostas dos estudantes mais se aproximou de 3, vê-se que aparecem os itens A, F, e P. Foi curioso notar que somente a questão P apareceu e foi comentada nas duas análises anteriores. Na questão A, que diz que os números 1 e 2 representam os bits e que os mesmos são na verdade processados através de sinais elétricos, o grande número de respostas neutras e a distribuição praticamente uniforme das respostas foi algo curioso. Isso porque, como citado anteriormente, imaginou-se que esse

Tabela 8.4: Média, desvio padrão e número de dúvidas das respostas das turmas ao questionário do vídeo 4.

Item	média	desvio padrão	resposta esperada	número de dúvidas	número de “trocas”
A	2,64	1,57	1	8	0
B	4,60	0,95	5	0	1
C	1,33	0,86	1	1	2
D	3,85	1,45	5	6	0
E	3,52	1,34	1	10	0
F	2,98	1,60	5	7	1
G	3,94	1,41	1	3	1
H	2,22	1,27	1	14	1
I	2,33	1,66	1	1	1
J	4,59	1,06	5	3	1
K	4,15	1,25	5	6	1
L	3,72	1,22	5	12	1
M	4,30	1,08	5	9	2
N	2,15	1,56	1	3	1
O	4,24	1,13	5	6	1
P	3,09	1,32	5	16	1

item seria uma das questões mais fáceis, o que não foi corroborado pela análise.

Já a afirmativa F se refere à falta de um *gap* de energia nos condutores. Por não ser citada nominalmente como uma das questões que mais geraram dúvidas, corrobora-se a impressão de que o conceito de *gap* não foi compreendido na sua integralidade. Assim como no caso dos transistores, provavelmente o conceito de *gap* sofreu diferenciação progressiva, ou seja, foi inicialmente compreendido e assimilado pelos estudantes, mas não sofreu reconciliação integradora, aspecto imprescindível para uma aprendizagem significativa. Contudo, pelo resultado observado em outros itens que tratam do mesmo assunto, uma atividade extra de apoio ou mesmo uma aula expositiva poderiam ser capazes de promover essa reconciliação integradora. Assim como na seção de dúvidas “nominais”, viu-se que poucos itens tiveram uma distribuição de repostas em torno de 3, mostrando que o posicionamento deles nesse questionário foi mais coeso que nos casos anteriores, provavelmente motivado pela interação que ocorreu entre eles durante o intervalo entre a aplicação dos dois questionários. Isso também poderia explicar também o reduzido número de dúvidas “nominais” que foram apontadas nesse questionário.

8.4.4 Análise da relação entre a média e a resposta esperada

Ao analisar na tabela 8.4 quais foram as afirmativas cujas médias ficaram, estatisticamente, “distantes” da resposta esperada, temos os itens E, F, G e P. O item P apareceu em

todas as análises anteriores. A questão E havia aparecido na análise de respostas neutras e com um número considerável de dúvidas nominais. Já a questão F apareceu com grande número de respostas neutras e com uma distribuição de respostas muito próxima de 3. Pela distribuição de respostas nessas afirmativas, viu-se que muitos alunos tem dificuldade de relacionar a ocupação da banda de valência com as propriedades elétricas de um sólido, apesar deles conseguirem saber que ambas as coisas estão relacionadas.

O item G só havia aparecido anteriormente na análise das respostas neutras. O pequeno número de dúvidas nominais observados nessa afirmativa é preocupante, pois indica que uma boa parte dos estudantes realmente acredita que há uma relação entre a função exercida pelos diodos e pelas baterias, apesar das diversas ressalvas no sentido contrário feitas nos vídeos. Isso fica evidenciado quando se observa a distribuição das respostas desse item no gráfico 8.5, onde estima-se que cerca de 65% dos estudantes concordam em algum grau com essa afirmativa, que deveria ser rechaçada por eles. Esse foi, sem dúvida, a questão mais problemática dessa abordagem, apesar de todos os grafismos visuais e dos alertas feitos, principalmente no terceiro vídeo.

8.4.5 Afirmativas com média próxima à resposta esperada

Por outro lado, observando o gráfico 8.5 e a tabela 8.4, é possível destacar ainda que 7 itens desse questionário (B, C, J, K, M, N e O) obtiveram uma média das respostas muito próxima da resposta esperada. No item O afirma-se que a informação nos *smartphones*, *tablets*, calculadoras e outros equipamentos similares é processada através de sinais elétricos. Isso mostra que a média próxima de 3 para o item A se refere exclusivamente ao conceito de bit e aos números que os representam (nessa afirmativa, dizia-se que os bits, representados pelos números 1 e 2, eram processados através de sinais elétricos). O item B, que faz parte desse grupo de respostas, fala da importância dos semicondutores dopados para a eletrônica e, com isso, ficou claro que essa importância foi bem assimilada por eles.

A afirmativa C do questionário aplicado após o quarto vídeo também havia sido colocada no questionário aplicado após o terceiro vídeo. Ela dizia que em todos os materiais é possível estabelecer corrente elétrica com facilidade. Na primeira ocasião, após o terceiro vídeo, cerca de 75% dos alunos discordavam dessa afirmativa enquanto que após o quarto vídeo esse número ficou em torno de 90%, indicando que a revisão feita no último vídeo auxiliou no aumento do nível de segurança das respostas dadas pelos estudantes.

Os itens J e K também estavam presentes em questionários anteriores e eles falam da importância dos semicondutores nas novas tecnologias e do funcionamento dos diodos,

respectivamente. No caso do item J observou-se um aumento na confiança das respostas dadas pelos estudantes, uma vez que o número de estudantes que respondeu concordar com convicção nesse item subiu cerca de 65% no primeiro vídeo para 90% após o quarto vídeo. No caso da questão K, que apareceu também no questionário após o primeiro e o terceiro vídeo, viu-se que a confiança aumentou muito pouco após o quarto vídeo. Essa afirmativa também apareceu na análise das respostas neutras e fala da importância dos semicondutores para a atual tecnologia. Esse pequeno aumento de confiança também foi observado no item M, que apareceu também no questionário aplicado após o terceiro vídeo e trata da relação entre a recombinação de pares elétron-buraco e o funcionamento dos transistores.

Por fim, no item N afirmou-se que nos semicondutores tipo-P a corrente elétrica é composta pelo movimento de prótons, que tem carga positiva. Viu-se que praticamente 70% dos estudantes discordam dessa afirmativa. É importante destacar também que o item H teve uma média de respostas próximas do valor esperado apesar de ter gerado muitas dúvidas nos estudantes. Ele tratava da relação entre as válvulas termiônicas e os dispositivos semicondutores.

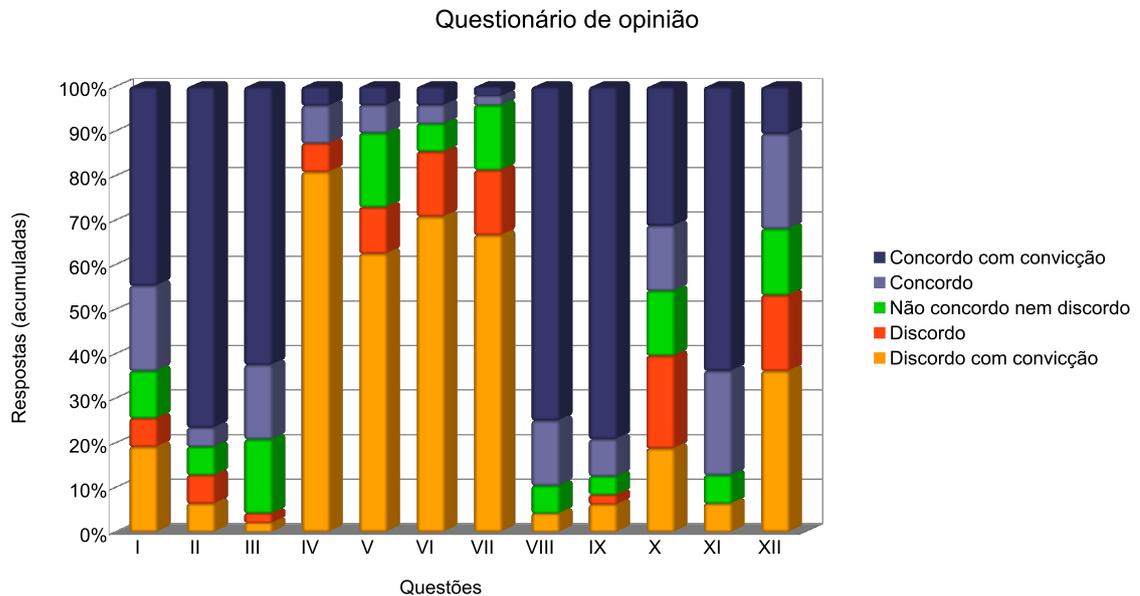
Apesar dos vários destaques feitos em relação às dúvidas e à insegurança dos estudantes frente a alguns conceitos, é possível perceber indicadores importantes de que a proposta apresentada teve seus méritos. Mesmo se tratando da abordagem de um tema complexo e sem paralelos no Ensino Médio, ela conseguiu introduzir os principais conceitos relacionados aos materiais semicondutores aos estudantes.

8.5 Questionário de opinião

Depois do questionário relacionado ao quarto vídeo, foi entregue um último questionário, construído de itens de Likert como os anteriores, no qual foram colocadas 12 afirmativas a respeito das opiniões pessoais dos estudantes sobre as atividades realizadas. As respostas foram colocadas no gráfico 8.6. Nele foi possível perceber, por exemplo, que os estudantes de ambas as turmas parecem estar divididos sobre a possibilidade de se avaliar a confiabilidade dos vídeos vistos na internet (item X).

Esperava-se inicialmente que os estudantes negassem essa possibilidade, o que não ocorreu. Isso está longe de ser um consenso entre os alunos, mas foi possível perceber que eles se dividem em dois grupos praticamente do mesmo tamanho: um deles acredita piamente na possibilidade de se avaliar a confiabilidade dos vídeos vistos na internet, ao contrário do outro grupo. Outra questão em que houve surpresa fala sobre a possibilidade de se aprender

Gráfico 8.6: Gráfico com as respostas fornecidas na pesquisa de opinião.



praticamente qualquer assunto de forma efetiva usando somente vídeos da internet e de outras fontes (item XII). Essa afirmativa, ainda mais que a anterior, mostrou os estudantes bem divididos em relação à isso.

De forma reduzida, ao se avaliar outros itens foi possível perceber que grande parte dos alunos já usou vídeos de sites da internet para se informar sobre um tema visto na escola, como mostra o item IX. Nesses vídeos, estão inclusas “inserções” de programas televisivos, relatos de experiência, videoaulas, entre outros. A soma dos estudantes que concordam de alguma forma com essa afirmativa é de cerca de 90%, como pode ser visto no gráfico 8.6. Isso faz sentido, pois aqueles que mais utilizam vídeos a fim de se informar devem ser os que mais acreditam na possibilidade de se avaliar a confiabilidade de um vídeo da internet. Além disso, foi possível perceber que a maioria esmagadora dos estudantes considera que o uso de vídeos da internet pode ser extremamente útil para conhecer melhor um determinado assunto, como visto na questão XI. Nesse item, a soma dos estudantes que concordam de alguma forma com essa afirmativa é cerca de 90%.

Em outra parte do questionário, avaliou-se a posição dos estudantes especificamente em relação às atividades e aos vídeos que foram trabalhados com eles. Nessa etapa, viu-se que a maior parte dos estudantes acredita que os vídeos devem ser vistos necessariamente em sequência (afirmativa I), apesar de não ser um consenso, pois mais de 25% deles não concordam com essa afirmativa. Mais de 80% dos estudantes apontaram que a apresentação dos vídeos ocorreu sem nenhum problema. Dos poucos problemas apresentados, a qualidade

do som foi de longe o mais citado (afirmativa II).

Foi interessante perceber que mais de 85% dos estudantes acredita que o assunto abordado é importante e tem conexões com o cotidiano, como visto na afirmativa IV. Outra análise que corrobora esse ponto é o fato de que menos de 15% deles concordarem com a afirmativa de que o assunto abordado foi muito específico e sem nenhuma importância prática (item VI), tema que também foi abordado na questão VIII. Já o item V foi mais técnico e afirmou que foi possível ouvir mas não foi possível entender o que foi abordado nos vídeos. Vê-se pelo gráfico 8.6 que cerca de 70% deles discordou desse item.

A escolha por vídeos curtos se mostrou bastante acertada, uma vez que pelas respostas da afirmativa VII menos de 10% dos estudantes apontou os vídeos como cansativos devido a sua extensão. Para finalizar, pelas respostas da afirmativa III viu-se que cerca de 80% dos estudantes ouvidos acreditavam que as ideias presentes nos vídeos foram apresentadas de forma clara e de fácil entendimento.

9 Conclusão

Os processos de ensino e aprendizagem apresentam diversas dificuldades, em particular no caso da Física, devido à falta de relação entre seus conteúdos e o cotidiano dos estudantes, dificultando sua compreensão. É inegável a importância dos aparelhos eletrônicos na nossa sociedade atual, e o ensino de tópicos relacionados a eles poderia amenizar essas dificuldades apresentadas, além de formar cidadãos mais conscientes e preparados para o trabalho e para a vida. Para compreender melhor o funcionamento dos aparelhos eletrônicos, vários conhecimentos são necessários, entre os quais se destacam os tópicos relacionados aos materiais semicondutores.

Por isso esse trabalho consistiu no planejamento, produção e aplicação de quatro vídeos curtos para ensinar semicondutores aos estudantes do Ensino Médio, além da produção de um pequeno material instrucional para os professores que desejem utilizar essa sequência de vídeos. No primeiro vídeo, foi feita uma revisão de alguns elementos que já haviam sido vistos nas aulas tradicionais de eletricidade, como os conceitos de carga elétrica, resistividade, corrente elétrica, condutores e isolantes. No segundo vídeo são apresentados os materiais semicondutores e a teoria das bandas de energia, que é utilizada para explicar a diferença entre as propriedades elétricas dos sólidos. No terceiro vídeo os semicondutores dopados são abordados, junto com algumas de suas principais aplicações, como os diodos e transistores de junção. No quarto vídeo o objetivo foi dar um panorama da importância dos materiais semicondutores para a tecnologia atual, bem como também foi feita uma pequena revisão dos conceitos que foram vistos nos quatro vídeos.

Os vídeos foram aplicados em duas turmas do terceiro ano do Ensino Médio regular matutino de um colégio particular da cidade de Uberaba-MG e após cada dos vídeos foi entregue aos estudantes um questionário individual. Nele os estudantes deveriam se posicionar frente a 16 itens de Likert, que são afirmativas nas quais as respostas podem variar dentro de uma escala de concordância. A partir dos dados do questionário aplicado após o primeiro vídeo, viu-se que em sete itens a média de respostas dos estudantes se aproximou muito da resposta esperada. A maior parte desses itens tratava de conhecimentos prévios que foram trabalhados em aulas anteriores, dando fortes indícios de que os estudantes apresentavam vários subsunções bem estabelecidos, principalmente aqueles relacionados aos portadores de corrente elétrica nos metais, a sua condutividade elétrica e das soluções salinas, além do conceito de resistivi-

dade. Mas é preciso destacar também que através do questionário também foi possível identificar algumas concepções alternativas dos alunos, sendo a mais importante delas relacionada ao “consumo” de corrente dos aparelhos elétricos. Foi curioso perceber que, mesmo depois de encerrado o estudo tradicional dos conceitos relacionados aos circuitos elétricos, os estudantes acreditam que quando um aparelho é ligado na tomada, em um dos fios entra a corrente que será consumida e no outro fio sai somente aquilo que não é gasto. Muito provavelmente essa concepção deve advir da comparação entre a corrente elétrica e o abastecimento de água de uma residência. Também foi interessante perceber que um grande número de estudantes acredita que a velocidade dos portadores de corrente elétrica em metais é alta, ao contrário do que foi afirmado no primeiro vídeo e nas aulas tradicionais anteriores. O mais curioso foi perceber que dois meses após a aplicação desse questionário uma questão muito similar foi proposta no ENEM 2013.

O segundo questionário foi aquele no qual os estudantes tiveram maior insegurança. A partir das respostas fornecidas, foi possível inferir que a natureza dos buracos, o conceito de *gap* de energia e a relação entre condutividade e temperatura ficaram mais consolidados para os estudantes, mas pelo menos sete itens foram nominalmente citados por eles como fonte de dúvidas. Apesar da grande insegurança apresentada nas respostas desse questionário, viu-se que em sete afirmativas a média das respostas fornecidas se aproximou bastante do valor esperado. Nesse caso, todas as questões falavam diretamente dos semicondutores e da teoria das bandas de energia, que foi apresentada nesse vídeo. Isso pode ser um indício de que esse material foi potencialmente significativo para grande parte dos estudantes.

As respostas obtidas no questionário aplicado após o terceiro vídeo mostraram que, assim como no trabalho de Carmona (2008), a carga líquida dos semicondutores dopados foi um conceito de difícil assimilação. A média das respostas relacionadas a esse item ficou próxima de 3, além de ter sido essa uma das questões que mais geraram dúvidas nominais. Ademais, foi possível perceber que em 7 das 16 afirmativas a média das respostas dadas se aproximou bastante do resultado esperado. Alguns desses itens foram gratas surpresas, pois tratavam de conceitos bastante abstratos e que poderiam gerar dúvidas, como o relacionado à recombinação do par elétron-buraco e seu efeito na corrente elétrica de um diodo. Outros conceitos relacionados aos diodos também fizeram parte desse rol de respostas próximas ao valor esperado.

Por fim, após o vídeo 4 foram aplicados dois questionários. O primeiro, no mesmo molde dos demais, avaliava 16 itens sobre os assuntos vistos nos quatro vídeos e o segundo, composto também por uma escala Likert de 12 itens, fazia referência às opiniões

dos estudantes sobre a aplicação e o uso de vídeos para o ensino. A partir do questionário sobre os itens relacionados aos conceitos dos materiais semicondutores, foi possível perceber que eles novamente se aproximaram bastante da resposta esperada em 7 das 16 afirmativas. Elas tratavam, basicamente, dos conceitos de condutividade, do funcionamento dos diodos, da recombinação dos pares “elétron-buraco”, da natureza dos portadores de carga nos semicondutores dopados e a importância dos semicondutores para a tecnologia atual. Tendo em vista que esse resultado se repetiu em outros questionários, é possível afirmar que esses conceitos foram bem compreendidos pelos estudantes, indo além da simples aprendizagem mecânica. Outros mais abstratos, como o conceito das bandas de energia, o *gap* de energia e a carga líquida dos semicondutores dopados apresentaram diferenciação progressiva, mas deram indícios de que precisariam ser trabalhados em outras atividades para completar a sua reconciliação integradora.

O último questionário aplicado após o quatro vídeo gerou um resultado interessante: os estudantes se mostraram bastante divididos na questão que afirmava ser possível medir a confiabilidade de vídeos vistos na internet. A partir desses resultados também foi possível afirmar que a ampla maioria dos estudantes acreditam ter entendido e concordam com o fato de que o assunto apresentado nesses vídeos é de grande importância para o seu dia a dia. Além disso, assim como no trabalho de Silva et al. (2005), viu-se que a ampla maioria dos alunos já havia utilizado vídeos da internet e de outras fontes para se informar melhor sobre um determinado assunto. Por fim, é interessante destacar que a escolha por vídeos curtos se mostrou acertada também na opinião dos estudantes, uma vez que um número muito reduzido afirmou que os vídeos eram longos e, por isso, cansativos. Também é importante destacar que para mais de 80% deles, as ideias presentes nos vídeos foram apresentadas de forma clara e de fácil entendimento.

Pelo que foi observado, pode-se afirmar de maneira segura que o uso de vídeos para ensinar conceitos de semicondutores no Ensino Médio é bastante promissor. De maneira geral, o uso de vídeos curtos se mostrou uma estratégia acertada, já que os estudantes mantiveram a atenção durante todos os vídeos. Essa mesma posição ficou clara nas respostas do último questionário, no qual foi avaliada a opinião dos estudantes sobre a estratégia utilizada. Além disso, através dos resultados apresentados nos questionários aplicados após cada um dos vídeos ficou claro que boa parte dos conceitos trabalhados foram assimilados pelos estudantes. Surgiram algumas dificuldades, que ficaram mais evidentes na análise das dúvidas e da “insegurança” dos estudantes frente às afirmativas, mas na maior parte delas verificou-se que um trabalho posterior sobre o assunto provavelmente seria suficiente para promover uma aprendizagem significativa dos conceitos. O formato escolhido para os questionários se mostrou uma

escolha adequada, já que além de estimar a aprendizagem dos estudantes, esperava-se medir a insegurança deles frente aos itens propostos. Por isso escolheu-se utilizar uma escala de medição de atitudes, nesse caso a escala Likert.

Durante a realização do trabalho foi possível concluir que a produção de vídeos é bem mais complicada do que pode parecer em um primeiro momento, principalmente se tratando de vídeos para o ensino. Mesmo os vídeos mais simples, como os que foram produzidos nesse trabalho, demandam um planejamento bem fundamentado e que contemple todas as etapas do trabalho. Um bom conhecimento dos processos de gravação e edição de vídeos pode ser bastante útil nessa etapa, além de agilizar a produção dos vídeos. Também é importante perceber que quanto mais sofisticada for a produção, maior é o número (e o valor) dos recursos utilizados em sua produção. Como nem sempre esses recursos são acessíveis, uma alternativa seria a escolha pela produção de vídeos de bolso (*pocket videos*), por exemplo. Eles têm uma dinâmica mais informal e, por definição, são gravados com dispositivos móveis (como celulares, *tablets* e outros), esse tipo de produção é mais acessível. Apesar das dificuldades e do tempo empregado para essa atividade, a produção desse tipo de material é muito bem vinda, principalmente por conta do impacto positivo do uso de vídeos dentro da sala de aula. Além disso, caso o material fique disponível na internet, ele pode se tornar uma boa fonte inicial de pesquisa para os estudantes que queiram se informar sobre o assunto.

Apesar dos vídeos terem sido planejados para o ensino de semicondutores no Ensino Médio, na sequência desse trabalho eles poderiam ser utilizados para introduzir esse assunto a estudantes de nível superior (dos cursos de Licenciatura em Física, Biologia ou Ciências, por exemplo), uma vez que no currículo de boa parte dos novos cursos de licenciatura há pouco espaço para o estudo de conceitos de Física Moderna, principalmente aqueles relacionados à Física Quântica, com é o caso dos semicondutores. Além disso, no futuro podem ser planejados vídeos semelhantes para a introdução de outros assuntos de Física Moderna e Contemporânea que aparecem pouco nos materiais didáticos e propostas de ensino, como os conceitos de magnetorresistência gigante, *spin* ou a Física de Partículas.

Referências

- ALVES, E. M.; MESSEDER, J. C. Elaboração de um vídeo com enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) como instrumento facilitador do ensino experimental de Ciências. In: **VII Enpec - Encontro nacional de pesquisas em Educação em Ciências**. Florianópolis: [s.n.], 2009. Disponível em: <<http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viienpec/pdfs/185.pdf>>. Acesso em: 18/09/2012.
- ANDRADE, B. L. de; FERRARI, N.; ZYLBERSZTAJN, A. As analogias e metáforas no ensino de ciências à luz da epistemologia de Gaston Bachelard. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, Universidade Federal de Minas Gerais, v. 2, n. 2, p. 1–11, 2000. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=129518326006>>. Acesso em: 15/05/2013.
- ARNDT, M. et al. Wave–particle duality of C₆₀ molecules. **Nature**, v. 401, p. 680–682, October 1999.
- ARROIO, A.; GIORDAN, M. O Vídeo Educativo: Aspectos da Organização do Ensino. **Química Nova na Escola**, n. 24, p. 8–11, Novembro 2006.
- BARBETA, V. B.; YAMAMOTO, I. Dificuldades Conceituais em Física Apresentadas por Alunos Ingressantes em um Curso de Engenharia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, scielo, v. 24, p. 324 – 341, 2002. ISSN 1806-1117.
- BOZELLI, F. C.; NARDI, R. Analogias e metáforas no ensino de Física: o discurso do professor e o discurso do aluno. In: **IX Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**. Jaboticatubas: [s.n.], 2004. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epef/ix/sys/resumos/T0195-1-.pdf>>. Acesso em: 07/04/2013.
- BRASIL. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996**. Imprensa Oficial, Dezembro 1996. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/arquivos/pdf/ldb.pdf>>. Acesso em: 13/02/2011.
- BRASIL. **PCN+ - Ensino Médio Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais de Física**. Brasília, 2002. Disponível em: <www.sbfisica.org.br/ensino/pcn.shtml>. Acesso em: 13/07/2011.
- BUSCH, G. Early history of the physics and chemistry of semiconductors - from doubts to fact in a hundred years. **European Journal of Physics**, v. 10, p. 254–264, 1989.
- CARMONA, A. G. **Física de Semicondutores en la Educación Científica Secundaria**. Educación Editora, 2008. 245 p. ISBN 978-84-691-4077-2. Disponível em: <<http://webs.uvigo.es/educacion.editora/Fisicasemicondutores.pdf>>. Acesso em: 10/03/2011.
- CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C. Uma oficina de Física Moderna que vise sua inserção no ensino médio. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 18, n. 3, p. 372–389, Dez. 2001.

CUNHA, L. M. A. da. **Modelos Rasch e Escalas de Likert e Thurstone na medição de atitudes**. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Lisboa, Lisboa, 2007. Disponível em: <http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/1229/1/18914_ULFC072532_TM.pdf>. Acesso em: 01/12/2013.

EISBERG, R. M. **Fundamentals of Modern Physics**. New York: John Wiley & sons, 1961.

ELLSE, M. D. Teaching the common emitter amplifier. **Physics Education**, v. 19, p. 271–275, 1984.

FALICOV, L. M. **A Estrutura eletrônica dos sólidos**. Washington, D. C.: União Panamericana, 1968.

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. L. **The Feynman Lectures on Physics, The Definitive Edition - Quantum Mechanics**. Glenview: Addison-Wesley Publishing Company, 2005.

FONTES, E. A. S. **Desenvolvimento de software educativo para o ensino de semicondutores**. Dissertação (Mestrado) — Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Fevereiro 2010.

GOMES, A. P. et al. Ensino de Ciências: Dialogando com David Ausubel. **Revista Ciências & Ideias**, v. 1, n. 1, p. 23–31, 2009. Disponível em: <<http://200.20.215.200/revista/index.php/revistacienciaseideias/article/view/28/david%20def>>. Acesso em: 28/05/2011.

GOULART, P. R. A. **Eletrônica e cidadania: uma abordagem CTS para o Ensino Médio**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 2008.

INTEL. **Intel® 22nm Technology**. 2011. Disponível em: <<http://www.intel.com/content/www/us/en/silicon-innovations/intel-22nm-technology.html?wapkw=22nm>>. Acesso em: 29/10/2012.

JENKINS, T. A brief history of . . . semiconductors. **Physics Education**, v. 40, p. 430–439, 2005.

JUNIOR, O. C. **Texto e Contexto para o Ensino de Física Moderna e Contemporânea na Escola Média**. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

KESSLER, S. L. **O Ensino de Física Moderna no Ensino Médio: Necessidades e Dificuldades no Oeste Catarinense**. Dissertação (Mestrado) — Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008. Disponível em: <http://tede.pucrs.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1446>. Acesso em: 30/08/2011.

KITTEL, C. **Introdução à Física do Estado Sólido**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1978.

LEITE, R. C. C.; CASTRO, A. R. B. **Física do Estado Sólido**. São Paulo: Edgar Blücher, 1978.

LIKERT, R. A technique for the measurement of attitudes. **Archives of Psychology**, v. 22, n. 140, p. 5–55, Junho 1932.

LOBATO, T.; GRECA, I. M. Análise da Inserção de conteúdos de Teoria Quântica nos currículos de Física. **Ciência e Educação**, v. 11, n. 1, p. 119–132, 2005.

MACHADO, A. **Televisao levada a sério**, a. 4. ed. São Paulo: Senac, 2000.

MARINELI, F.; PACCA, J. L. A. Uma interpretação para dificuldades enfrentadas pelos estudantes em um laboratório didático de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, scielo, v. 28, p. 497 – 505, 2006. ISSN 1806-1117.

McCLELLAND, J. A. G. Técnica de Questionário para Pesquisa. **Brazilian Journal of Physics**, v. 6, p. 93–101, Julho 1976.

MENDES, R. M. B. et al. Dificuldades dos Alunos do Ensino Médio com a Física e os Físicos. In: **XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física**. São Luis: [s.n.], 2007. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/sys/resumos/T0624-1.pdf>>. Acesso em: 07/04/2012.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares**. 1. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011. 179 p. ISBN 9788578611118.

MOREIRA, M. A.; KREY, I. Dificuldades dos alunos na aprendizagem da lei de Gauss em nível de física geral à luz da teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, scielo, v. 28, p. 353 – 360, 2006. ISSN 1806-1117.

MOREIRA, M. A.; PINTO, A. d. O. Dificuldades dos alunos na aprendizagem da Lei de Ampère, à luz da teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, scielo, v. 25, p. 317 – 325, 09 2003. ISSN 1806-1117.

OLIVEIRA, A. J. A. **Pouco divulgada, muito aplicada**. <http://cienciahoje.uol.com.br/colunas/fisica-sem-misterio/pouco-divulgada-muito-aplicada>, 2012. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/colunas/fisica-sem-misterio/pouco-divulgada-muito-aplicada>>. Acesso em: 18/05/2012.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 5, n. 1, p. 23–48, 2000.

PAULA, H. F.; ALVES, E. G. Uma Sequência de ensino sobre dispositivos condutores e semicondutores de nosso dia a dia. In: **XVII SNEF - Simpósio Nacional de Ensino de Física**. São Luís: [s.n.], 2007. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/sys/resumos/T0397-1.pdf>>. Acesso em: 10/02/2012.

PEREIRA, A. P.; OSTERMANN, F. Sobre o Ensino de Física Moderna e Contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 3, p. 393–420, 2009.

PINTO, A.; ZANETIC, J. É possível levar a física quântica para o ensino médio? **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 16, n. 1, p. 7–34, Abril 1999.

POSADA, J. M. D. Conceptions of high school students concerning the internal structure of metals and their electric conduction: structure and evolution. **Science Education**, Wiley Subscription Services, Inc., A Wiley Company, v. 81, n. 4, p. 445–467, 1997. ISSN 1098-237X.

PRENSKY, M. Digital Natives, Digital Immigrants part 1. **On the horizon**, MCB UP Ltd, v. 9, n. 5, p. 1–6, 2001. Disponível em: <<http://www.marcprensky.com/writing-/Prensky%20-%20Digital%20Natives,%20Digital%20Immigrants%20-%20Part1.pdf>>. Acesso em: 13/07/2013.

REZENDE, S. M. **A Física de Materiais e Dispositivos Eletrônicos**. [S.l.]: Ed. Universitária da UFPE, 1996.

RODITI, I. **Dicionário Houaiss de Física**. Rio de Janeiro: Editora Objetiva, 2005.

ROSA, P. O uso dos recursos audiovisuais e o ensino de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 17, n. 1, p. 33–49, 2000.

ROSADO, L.; CARMONA, A. Razones didácticas y epistemológicas de la introducción de nociones de física de semiconductores en Educación Secundaria. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 4, n. 3, 2005. Disponível em: <http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen4/ART1_Vol4_N3.pdf>. Acesso em: 02/01/2011.

SILVA, R. et al. Análise do uso de novas tecnologias no ensino de física em quatro escolas públicas do município de Campos dos Goytacazes (RJ). In: **XVI SNEF - Simpósio Nacional do Ensino de Física**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2005. p. 1–4. Disponível em: <www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/cd/resumos/t0009-1.pdf>. Acesso em: 09/03/2012.

SIQUEIRA, A. B. de. **Programas de TV didáticos para alunos do ensino fundamental: um exame dos pressupostos teórico-educacionais**. 303 p. Tese (Doutorado) — Unesp, Araraquara, 2004.

TALIM, S. L. A atitude no ensino de física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 21, n. 3, p. 313–324, Dezembro 2004.

TERRAZZAN, E. A. A inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física na escola de 2º Grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 9, n. 3, p. 209–214, Dezembro 1992.

TERRAZZAN, E. A. et al. Analogias no Ensino de Ciências: resultados e perspectivas. **Anais do III Seminário de Pesquisa em Educação da Região Sul**, p. 26, 2000. Disponível em: <http://www.portalanpedsul.com.br/admin/uploads/2000/Ensino_e_curriculo/Comunicacao/08_23_33_2224.pdf>. Acesso em: 05/12/2012.

WATTS, H. **On Camera - Manual de produção de vídeo da BBC**. São Paulo: Summus, 1990.

ŁUKASIAK, L.; JAKUBOWSKI, A. History of semiconductors. **Journal of Telecommunications and Information Technology**, v. 1, p. 3–9, 2010.

Anexos

Material instrucional para o professor

Introdução aos conceitos básicos dos semicondutores

Os dispositivos baseados em semicondutores estão presentes praticamente em todas as nossas tecnologias modernas. Os transistores, diodos, LED's, fotocélulas, detectores em geral e alguns termistores são exemplos de componentes que se encaixam nesse perfil (KITTEL, 1978; REZENDE, 1996). Dentre os componentes baseados em semicondutores, dois serão destacados nessa sequência didática: os diodos e os transistores. Essa escolha foi feita uma vez que esses componentes estão entre os mais presentes nos equipamentos eletrônicos utilizados hoje em dia. Espera-se que os conhecimentos adquiridos sobre o funcionamento desses dispositivos permitam uma melhor compreensão das tecnologias modernas, cada vez mais ligadas à eletrônica.

No entanto, para que se possa entender melhor o funcionamento dos diodos e transistores baseados em semicondutores, é preciso conhecer as principais propriedades desse tipo específico de material. O comportamento elétrico de um semicondutor fica entre o comportamento dos condutores e dos isolantes, ambos amplamente conhecidos das disciplinas ligadas à eletricidade.

A princípio é possível passar corrente elétrica por todos os materiais. Ocorre que as condições para que isso possa acontecer em cada um deles são bem distintas. Para os *condutores* basta que exista um campo elétrico atuando entre as suas extremidades para que surja uma corrente elétrica. Existem condutores não metálicos, mas os principais exemplos de condutores são metais. Além de serem bons condutores de eletricidade, os metais geralmente também são bons condutores calor. Quando os metais se ligam para formar um sólido cristalino, os seus átomos apresentam elétrons que estão fracamente ligados aos seus núcleos. Os elétrons que estão fracamente ligados são os principais responsáveis pela boa condução de eletricidade e de calor apresentadas por eles. Isso porque eles se comportam como se estivessem “quase-livres”. A grandeza física que caracteriza a “facilidade” de um material em conduzir corrente elétrica é

a resistividade^a. Em cada metal ela é caracterizada por um certo número de fatores, nos quais a temperatura tem um papel bastante importante. Isso porque quanto maior é a temperatura de um metal, maior será o grau de agitação dos elétrons fracamente ligados (chamados de elétrons de condução) e pior será a condutividade elétrica desse metal. Por isso, normalmente o aumento de temperatura de um metal acarreta o aumento da sua resistividade elétrica.

Quando um isolante é submetido a um campo elétrico externo, muito dificilmente irá surgir corrente elétrica entre as suas extremidades. Isso porque nos isolantes todos os elétrons dos seus átomos estão mais ligados aos seus núcleos, o que dificulta o seu movimento. Para que surja corrente nos isolantes, são necessárias condições muito especiais, como um valor muito grande de campo elétrico ou expô-lo a uma temperatura muito alta.

Os semicondutores se comportam de maneira distinta dos isolantes e dos condutores. Quando um semicondutor é submetido a um campo elétrico externo, normalmente surge nele uma pequena corrente elétrica, que depende diretamente de alguns fatores. A temperatura está entre os fatores mais importantes. Mas ao contrário dos condutores, se a temperatura de um semicondutor aumenta, a corrente que passa por ele também aumenta. Nos semicondutores, um aumento de temperatura faz com que a sua resistividade diminua, diminuindo assim a sua resistência elétrica. Se fosse possível colocar alguns cristais como o Germânio, o Silício e outros à temperatura de $0K$, eles seriam isolantes. Mas não é só a temperatura que dá a esses cristais propriedades semicondutoras. Impurezas, defeitos na sua rede cristalina e desvios na sua composição química podem também contribuir para um aumento ou uma diminuição da sua resistividade.

Em temperaturas normais de utilização, os semicondutores apresentam valores de resistividade elétrica entre $10^{-4}\Omega \cdot m$ e $10^7\Omega \cdot m$, enquanto que os metais normalmente tem resistividade da ordem de $10^{-8}\Omega \cdot m$ e os isolantes da ordem de $10^{12}\Omega \cdot m$ (KITTEL, 1978).

Existem várias teorias para explicar esse comportamento tão distinto entre condutores, semicondutores e isolantes. No caso desse trabalho, escolheu-se a teoria das bandas de energia. Ela é a teoria mais utilizada nos materiais de ensino superior, mas praticamente não aparece em materiais de língua portuguesa voltados ao Ensino Médio.

^aA resistividade é basicamente a razão entre o campo elétrico aplicado em um objeto e a densidade de corrente que surge nele devido à aplicação desse campo elétrico. (RODITI, 2005)

As bandas de energia

A distribuição da quantidade de energia emitida por um corpo a uma dada temperatura em termos da sua frequência foi um problema muito importante no final do século XIX. Esse problema ficou conhecido como problema da “radiação de corpo negro”. Para resolvê-lo, Max Planck propôs que as trocas de energia que ocorrem durante a emissão e absorção de radiação eletromagnética só podem acontecer em determinadas quantidades. A quantidade mínima de energia que podia ser “trocada” foi denominada “*quantum*”^b. Em 1905, Albert Einstein escreveu um artigo no qual ele explica o efeito fotoelétrico^c propondo que as ondas eletromagnéticas que compõe a luz são divididas em pequenos pacotes de energia, os mesmos *quanta* do Planck.

Arthur Compton, em 1923, usou uma folha de carbono para espalhar um feixe de raios-X. Ele percebeu que a radiação espalhada tinha um comprimento de onda maior que o comprimento de onda da radiação inicial. Também foi observado que o comprimento de onda da radiação espalhada crescia à medida que aumentava o ângulo de espalhamento. Com base nesse resultado, Compton elaborou uma explicação para seu fenômeno baseado nas propostas de Einstein. Ele mostrou que é possível, matematicamente, tratar o *quantum* de energia eletromagnética como uma partícula, atribuindo inclusive *momentum* linear à essa partícula. Assim a natureza da luz ficou com um caráter dual, já que ela sofre interferência (o que é uma característica puramente ondulatória), ao passo de que também está dividida em pequenos pacotes de energia, que se comportam como partículas indivisíveis (EISBERG, 1961).

A quantização da energia observada em uma radiação eletromagnética alterou inclusive os modelos atômicos. Apoiado nessa ideia e na observação dos espectros de emissão e de absorção de várias substâncias, Niels Bohr elaborou um modelo atômico no qual os elétrons não poderiam assumir qualquer valor de energia. Os valores de energia que eles poderiam ter estavam associados aos valores de *momentum* angular possíveis. Em seu modelo, a quantização das energias possíveis para um elétron em um átomo estava ligada à quantização do momento angular orbital de um elétron.

Baseado nos resultados conseguidos principalmente por Einstein e Compton, em 1924, Louis de Broglie lançou uma ideia bastante revolucionária. De acordo com os resultados

^b *Quantum* no latim quer dizer quantidade.

^c O efeito fotoelétrico é aquele no qual uma placa metálica emite elétrons quando é exposta à luz de determinada frequência. Nesse efeito, vê-se que, ao contrário do senso comum, a energia dos elétrons emitidos não depende da intensidade da radiação, mas sim da sua frequência. Einstein propôs no seu trabalho que qualquer campo eletromagnético é dividido em vários *quanta* de energia, e o valor de energia de cada *quantum* seria dado por: $E = h \cdot f$.

conhecidos até então, a radiação eletromagnética se propagava como uma onda na qual os campos elétricos e magnéticos variam temporal e espacialmente. No entanto, quando interagem com a matéria, essas mesmas ondas eletromagnéticas mostram um comportamento tipicamente corpuscular através dos *quanta* de energia. A partir da relação entre o momento linear e o comprimento de onda da radiação eletromagnética, de Broglie propôs uma analogia entre os quanta de radiação e as partículas clássicas conhecidas. Por exemplo: os elétrons, que são normalmente reconhecidos como partículas indivisíveis, com massa e carga bem definidas, deveriam também exibir propriedades ondulatórias. Ele postulou que as “ondas de fase” associadas a uma partícula com momento linear e energia relativística total devem ter um comprimento de onda dado por: (EISBERG, 1961)

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v} \quad (1)$$

onde h é a constante de Planck, dada aproximadamente por $h = 6,626068 \cdot 10^{-34} J \cdot s$.

Dentro dessa perspectiva, uma partícula só apresentaria características ondulatórias se o comprimento de onda das ondas de fase associadas a ela fosse da mesma ordem do seu tamanho. Ao calcular o comprimento de onda das tais “ondas de fase” para um elétron com energia cinética da ordem de 1 eV, vê-se que ele seria de 12,2 Å. Como esse comprimento de onda é muito pequeno, isso explica o motivo pelo qual as propriedades ondulatórias do elétron normalmente não são observadas. A grande pergunta, na época, foi acerca da detecção dessas “ondas de matéria”. Algum tempo depois viu-se que isso era possível no fenômeno de difração de elétrons. Clinton Joseph Davisson e Lester Germer fizeram experiências da difração de elétrons em cristais e chegaram a resultados parecidos com aqueles os obtidos por George Paget Thomson, de forma independente. Eles perceberam que os elétrons sofriam difração quando espalhados por uma rede cristalina. O padrão de difração obtido era exatamente similar ao padrão obtido para raios-X com a mesma energia (ou comprimento de onda). Depois, outros cientistas mostraram que partículas neutras (átomos e nêutrons) também podiam sofrer difração de maneira similar, descartando que os resultados pudessem ser efeitos secundários. Mais recentemente, foram feitos experimentos de interferência com partículas compostas por 60 átomos de carbono (ARNDT et al., 1999). Nesse experimento viu-se que, em ambos os casos, a interação entre a radiação (ou as partículas) e o detector (filme fotográfico) é discreta, mas o padrão formado nos dois casos é um típico padrão de interferência, com as mesmas características que se calcula no caso clássico.

Um sólido cristalino comum é composto por muitos mols de átomos organizados em uma geometria bem específica. Essa geometria é descrita através de uma unidade fundamental chamada célula unitária, que guarda a informação de como os átomos desse sólido

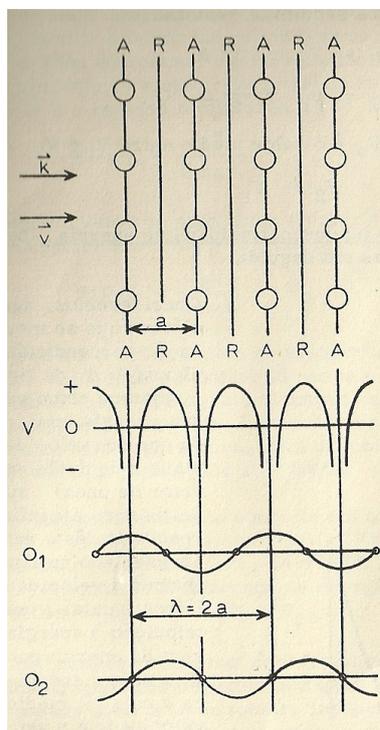
estão agrupados. O sólido como um todo é visto como uma série de células unitárias que “se repetem”. Cada átomo dessa célula unitária é composto por algumas dezenas de elétrons, em geral. E alguns desses elétrons estão mais fracamente ligados ao núcleo dos seus átomos que outros. Os elétrons que estão ligados mais fracamente podem se movimentar com mais facilidade pelo sólido e, de acordo com a Mecânica Quântica, o seu comportamento pode ser descrito por uma onda plana. Dessa forma, a equação relacionada a esse comportamento é chamada de **função de onda**.

Quando um desses elétrons se movimenta em um sólido cristalino, ele encontra um potencial que é periódico, tomando alternadamente valores negativos e positivos. Os valores negativos de potencial estão relacionados à interação dos elétrons com os núcleos dos átomos da rede cristalina. Os valores positivos de potencial estão ligados à interação repulsiva que ocorre quando o elétron fica entre dois núcleos, em uma região em que se aglomeram os outros elétrons que estão mais ligados aos núcleos. Por conta disso, a função de onda que descreve o movimento dos elétrons fracamente ligados ao núcleo terá duas soluções: uma com máximos onde os potenciais são negativos, e a energia associada a ela é ligeiramente menor do que aquela relacionada a um elétron que estivesse se movimentando livremente. A outra solução da função de onda terá máximos onde os potenciais são positivos, e a energia associada à essa solução é ligeiramente maior do que aquela relacionada ao elétron “livre”. Essas duas soluções que foram comentadas são parecidas com as soluções de ondas estacionárias às quais se vê comumente nos livros de Ensino Médio. Na figura 1, vê-se essas duas soluções da função de onda em destaque.

A solução de menor energia está mostrada na figura 1. Ela é aquela que contém máximos nos planos atômicos e é chamada de \mathbf{O}_1 . A energia associada a essa solução será denominada E_1 . A solução de maior energia contém máximos em regiões com concentração de elétrons e é chamada de \mathbf{O}_2 . A energia associada à essa solução será denominada E_2 . Qualquer elétron que esteja dentro desse cristal deve ter energia menor do que E_1 (sinal que o elétron está fortemente ligado a algum núcleo atômico) ou então deve ter energia maior do que E_2 . Nesse caso, o elétron estaria praticamente livre para se movimentar no cristal, ficando fracamente ligado aos núcleos dos átomos da rede cristalina. A diferença entre as energias E_1 e E_2 é chamado de *gap* de energia. Nenhum elétron dentro do cristal pode ter uma energia entre esses dois valores, ou seja, o *gap* de energia representa uma espécie de “região” proibida para um elétron. O gráfico da energia possível para um elétron que se movimenta na rede cristalina em termos a sua velocidade está colocado na figura 2.

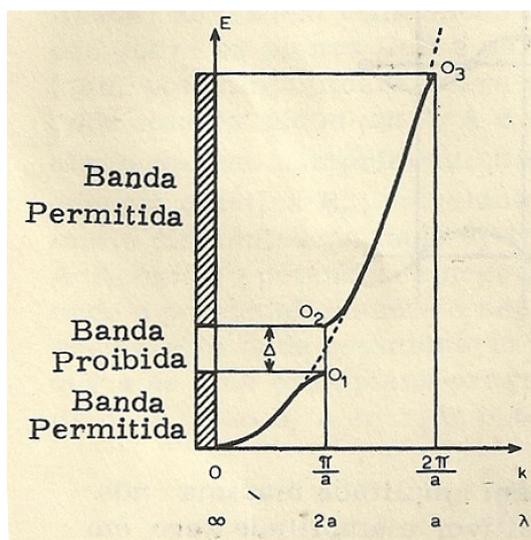
Da figura 2, é possível concluir que um elétron fracamente ligado aos átomos de um cristal tem um alguns intervalos de valores permitidos para sua energia. Esses intervalos

Figura 1: Nos planos AA as esferas indicam regiões onde há núcleos atômicos. Nos planos RR, há predominância de elétrons.



Fonte: (FALICOV, 1968).

Figura 2: Esse gráfico relaciona a energia de um elétron que se movimenta em uma rede em termos do seu comprimento de onda. É interessante notar que esse gráfico é descontínuo em $k = \frac{\pi}{a}$, onde a é o espaçamento entre os núcleos dos átomos da rede.



Fonte: (FALICOV, 1968).

são chamados de bandas de energia. Entre as bandas de energia de um cristal tem o que normalmente é chamado de *gap* de energia. Nenhum elétron dentro do cristal pode ter qualquer

valor de energia dentro do *gap*. E através dessas bandas e *gaps* de energia é possível descrever o comportamento dos condutores, isolantes e, principalmente, dos cristais semicondutores.

Cristais Semicondutores

O conjunto formado pelas bandas de energia permitida e pelos *gaps* de um sólido cristalino é chamado de espectro de bandas (KITTEL, 1978; FALICOV, 1968). Esse espectro descreve quais estados de energia um elétron pode ter quando está dentro de um sólido cristalino. Todos os elétrons desse sólido devem estar organizados nesses estados de energia, obedecendo dois princípios básicos: primeiro, um elétron ocupa, sempre que possível, o nível de energia mais baixo. Segundo, dois elétrons não podem compartilhar todas as características. Eles podem até ter o mesmo valor de energia, mas para isso devem ter valores de *spin*^d diferentes. Essa é uma maneira simplificada de entender o que diz o princípio de exclusão de Pauli. Como só existem dois estados relacionado ao *spin* de um elétron (o *spin up* e o *spin down*), não é possível obter um conjunto grande de elétrons que fique confinado na mesma região (em um sólido, por exemplo) com o mesmo estado de energia.

Como a quantidade de elétrons que preenche um sólido cristalino é bem grande, podem existir diversas bandas de energia completamente “preenchidas” de elétrons. O valor de energia associado ao maior nível ocupado por elétrons à temperatura de 0K é chamado de **nível de Fermi**. Nessa situação, todas as bandas de energia abaixo dele estão completamente “preenchidas”. ($E_{\text{ocupados}} < E_F$).

Se o nível de Fermi estiver dentro de uma banda de energia semi-preenchida, isso significa que os elétrons ligados mais fracamente podem ganhar pequenos valores de energia e, por isso, sempre surge corrente elétrica nesses materiais. Eles são os materiais condutores. Caso o nível de Fermi estiver dentro de um *gap* de energia, esse material pode ser um isolante ou semicondutor. A diferença entre eles será dada, principalmente, pelo tamanho desse *gap*. Nos materiais isolantes, esse *gap* é tão grande que o elétron mais fracamente ligado praticamente nunca consegue vencê-lo, mesmo quando o material é aquecido ou submetido a um valor considerável de campo elétrico.

Nos semicondutores, esse *gap* pode ser “vencido” pelos elétrons que estão ligados mais fracamente se o material for aquecido, iluminado ou submetido a alguma outra condição parecida. Nesse caso, o elétron que estava “preso” a uma banda preenchida é “promovido” para uma banda praticamente vazia e, com isso, o semicondutor fica apto à passagem de corrente.

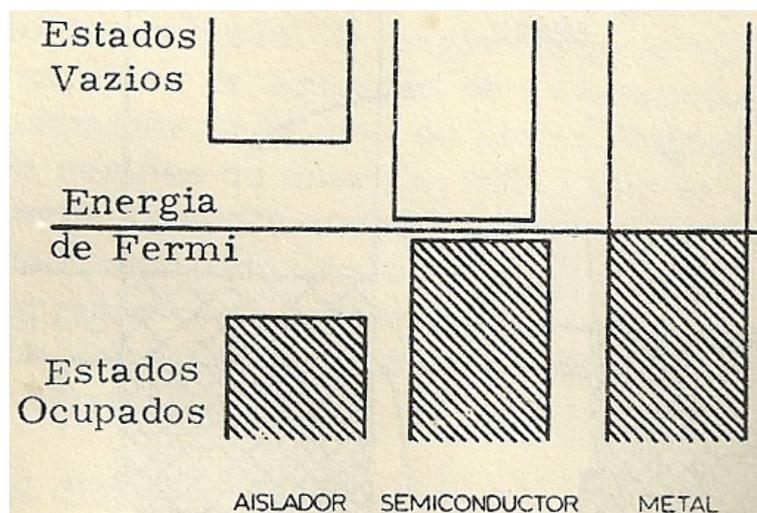
^d*Spin* é uma grandeza característica da Física Quântica sem análogo clássico. É tratada como sendo um momento de dipolo magnético intrínseco de algumas partículas (inclusive do elétron)(RODITI, 2005).

Só para se ter uma ideia, o *gap* de um isolante fica em torno de $3eV$, enquanto que o *gap* de um semicondutor é cerca de $1,5eV$.

Devido a esse mecanismo de condução dos semicondutores, os portadores de carga responsáveis pela corrente elétrica que passa por eles não são somente os elétrons “promovidos” para a banda de condução. Além disso, os buracos deixados pela falta desses elétrons na banda de valência (que estava anteriormente preenchida) também se movimentam. O movimento desses buracos (ou lacunas) se comporta como se fosse uma carga positiva, apesar de não ser efetivamente uma carga elétrica.

Como visto, a posição do nível de Fermi e o tamanho do *gap* de energia explicam a diferença de comportamento entre isolantes, condutores e semicondutores. Tudo isso parece meio complicado em uma primeira leitura. Mas o gráfico da figura 3 colocado na página 102 ajuda a entender o que foi escrito. Nele é mostrado um gráfico das bandas de energia permitidas para cada um dos tipos de sólido que foram comentados aqui.

Figura 3: Veja a diferença entre o espectro de bandas de um condutor, de um semicondutor(semicondutor) e de um aislador (isolante).



Fonte: (FALICOV, 1968).

Dopagem

Os semicondutores encontrados na natureza, em sua forma mais pura, são chamados de intrínsecos. Se a esses semicondutores forem adicionados, de forma controlada, átomos diferentes, ocorre o que chama-se de dopagem. Isso é feito de forma a se obter um controle diferente das propriedades desses semicondutores dopados ou extrínsecos.

Existem basicamente dois tipos de semicondutores extrínsecos: os semicondutores **tipo P** e **tipo N**. Os semicondutores tipo P são obtidos quando alguns átomos trivalentes, ou seja, com três elétrons na camada de valência, substituem átomos de um cristal semiconductor puro. Quando o semiconductor é o silício, costuma-se utilizar o Boro, Índio ou Gálio nesse processo. Comparados aos átomos de Silício, eles têm um elétron a menos na camada de valência. Quando esses átomos substituem algum átomo de Silício em um sólido cristalino, eles geram um nível de energia dentro do *gap* do semiconductor, mas bem próximo à banda de valência. Esse nível é chamado de receptor e devido à agitação térmica pode facilmente ser preenchido por um elétron. Com isso a dopagem tipo P gera vários buracos na banda de valência, ou seja, gera diversos portadores de carga positiva disponíveis para a passagem de corrente elétrica.

De maneira análoga, quando átomos pentavalentes (com cinco elétrons na camada de valência) substituem átomos de um cristal semiconductor puro, temos uma dopagem tipo N. Nesse caso, a presença desses dopantes faz com que surja um nível de energia dentro do *gap* do semiconductor, mas bem próximo à banda de condução. Esse nível é chamado de doador, pois ele fica repleto de elétrons quando o sólido está em temperatura ambiente. Nesse caso, uma diferença de potencial pode facilmente promover esses elétrons do nível doador para a banda de condução e, nesse caso, o sólido conduzirá corrente elétrica.

Em separado, as dopagens tipo P e tipo N não são muito interessantes. Contudo, ao fazer a junção entre essas duas dopagens em um mesmo semiconductor, cria-se a chamada junção PN que tem propriedades muito interessantes.

Na junção PN um dos lados estará repleto de “buracos” e o outro repleto de elétrons “quase livres”. Vale lembrar que isso é visto do ponto de vista energético, uma vez que ambos estão eletricamente neutros, sempre. Isso fica fácil de ver quando uma junção PN é ligada a uma lâmpada, por exemplo. Se isso ocorrer, a lâmpada não irá acender. Agora, se a junção PN for ligada a uma diferença de potencial, duas situações distintas são possíveis.

No primeiro caso, se o lado positivo da bateria for ligado ao lado N da junção, se observa que não passa corrente pela junção. Uma forma de explicar isso está no fato de que o lado positivo da bateria atrai os elétrons “quase livres” do lado N, ao passo que “afasta” os buracos do lado P. Com isso, eles ficam em lados opostos da junção e nunca irão se recombinar. A recombinação entre um buraco e um elétron é a única forma de estabelecer corrente elétrica em uma junção PN. Nessa situação diz-se que a junção está na polarização inversa.

Por outro lado, se o lado positivo da bateria for ligado ao lado P da junção, os buracos se “sentirão” repulsão e irão para a divisão entre os semicondutores tipo P e N

da junção. Por outro lado, os elétrons se sentem atraídos pelo polo positivo da bateria, indo também para a divisão entre os dois semicondutores da junção. Assim, ocorre a recombinação entre os elétrons de um lado da junção (tipo N) com os buracos do outro lado da junção (tipo P). Nesse caso a corrente elétrica ocorre sem maiores problemas e diz-se que a junção está com polarização direta.

A junção PN é a forma mais simples de construir um diodo, equipamento idealizado para permitir a passagem de corrente em um só sentido, como descrito. Ele é utilizado em diversos equipamentos, como computadores, televisores, aparelhos de rádio, carregadores de celular e de outros aparelhos, enfim, sempre que é necessário transformar uma corrente alternada (AC), como a da tomada, em corrente contínua (DC). O símbolo que representa um diodo em esquemas de circuitos elétricos pode ser visto na figura 4

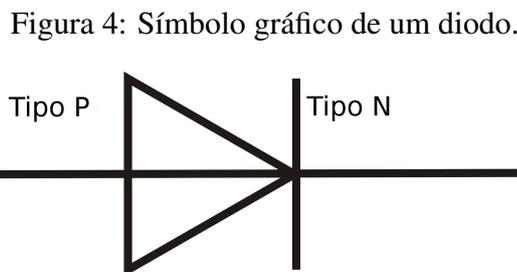


Imagem adaptada de <http://commons.wikimedia.org>

Normalmente usam-se os diodos para transformar a corrente alternada (AC), disponível nas tomadas, em corrente contínua (DC), usada no funcionamento de diversos aparelhos e usada também para carregar baterias de telefones celulares, notebooks e outros componentes.

Além de serem usados nos diodos, os semicondutores dopados também servem como base para outro dispositivo importante: o transistor. Normalmente ele é composto por três terminais, chamados de base, coletor e emissor ou portão, dreno e fonte.

Através de um sinal enviado à sua base (ou portão), ele é capaz de controlar a corrente que passa entre o coletor e o emissor (ou entre a fonte e o dreno). Dependendo do tipo de transistor, esse sinal enviado à sua base pode ser uma corrente elétrica ou uma diferença de potencial. Por isso, a aplicação mais comum para os transistores é a amplificação de sinais e o “chaveamento” de circuitos elétricos.

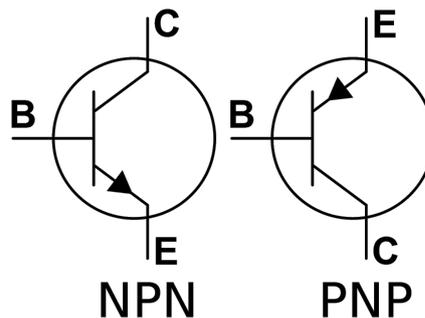
Pode parecer simples, mas essas duas aplicações permitiram que os transistores substituíssem as válvulas termiônicas em várias funções nas quais elas eram empregadas. As vantagens do uso dos transistores estão, principalmente, no seu tamanho diminuto (alguns transistores comerciais tem cerca de $22nm$ de tamanho (INTEL, 2011), a sua capacidade de operar

em altas frequências e a possibilidade de integração com outros componentes.

Como os transistores são compostos por junções de semicondutores extrínsecos (dopados), em uma mesma peça de Silício podem ser construídos centenas de milhões de transistores integrados. Para isso, basta “dopar” essa peça de forma que os transistores formados fiquem integrados uns aos outros.

Outro dispositivo muito importante que pode ser construído por semicondutores dopados é o transistor. Esse componente consegue controlar a corrente que passa por ele através de um sinal recebido externamente. Por isso ele costuma ser utilizado como amplificador ou como chave em circuitos elétricos. Basicamente, os transistores comportam semicondutores do tipo NPN ou do tipo PNP. Essa diferença não interfere em suas principais características de funcionamento, só indica os tipos de dopagem usa

Figura 5: Símbolo gráfico de dois tipos de transistores.



Fonte: <http://robokyle.wordpress.com>

Roteiro para o vídeo 01:

A Física dos aparelhos eletrônicos – seção: “Semicondutores”

Frederico Campos Freitas

	Vídeo	Áudio
1	Começar o vídeo instantes	<u>Todas as falas abaixo serão do narrador:</u>
2	depois do som.	
3		Imagine um mundo onde máquinas desse tamanho...
4	Colocar a imagem de um	tivessem capacidade similar a uma calculadora comum.
5	computador antigo (MARK I) e de	
6	uma calculadora, nessa ordem.	
7		Um mundo no qual as máquinas como tablet's e
8	Inserir imagens de PC's e	computadores comuns não poderiam existir...
9	tablet's.	
10		Os aparelhos de rádio seriam tão pesados quanto
11	Inserir a imagem de um rádio	motores de carros e tão grandes que ocupariam um
12	antigo	grande espaço dentro de uma sala
13		
14	Colocar a imagem de telefones e	Os telefones seriam restritos à poucas pessoas e seu
15	telefonistas antigos	funcionamento baseado em equipamentos caros e
16		pesados
17		
18	Mostrar um celular que tenha	Telefones celulares com câmera fotográfica, bluetooth,
19	todos esses efeitos.	GPS, ... seriam possíveis somente na imaginação e na
20		ficção científica...
21		
22	Mostrar o motor de um portão	Mesmo um simples sistema de controle para um portão
23	automático.	automático seria praticamente impossível!
24		
25		Esse era o mundo antes de 1950. Um mundo que soaria
26		como pré-histórico para os dias atuais
27		
28		
29	Fazer uma transição para depois	
30	Cortar para o narrador em plano	Olá. Tudo bem? Eu sou o Professor Frederico e eu
31	médio.	espero que você tenha compreendido que o nosso modo
32		de vida atual não existiria se não tivéssemos descoberto
33		os materiais semicondutores. Mas você sabe o que é um
34		semicondutor, um isolante ou um condutor?
35		
36	Agora colocar o narrador em	Antes, vamos pensar em uma coisa? O que todos esses
37	plano americano.	equipamentos têm em comum?
38		Em primeiro lugar, todos funcionam utilizando a energia
39		elétrica. Ela é indispensável para que eles se comportem
40		da forma que conhecemos.
41		
42	Voltar para o plano médio	Como a energia elétrica chega até esses aparelhos?
43		Em quase todos os casos, a energia é fornecida através

44		de uma corrente elétrica que atravessa os circuitos desse aparelho.
45		
46		
47	Durante essa fala, colocar uma	Apenas lembrando: Corrente elétrica é a taxa com que
48	“apresentação” estilo “power	cargas elétricas atravessam uma determinada área (que
49	point” da relação: $i = \frac{q}{\Delta t}$.	pode ser de um fio condutor ou de uma trilha de um
50		circuito).
51		
52	Colocar o vídeo “marbles” cuja	Se ainda não ficou claro, vamos fazer uma analogia, que
53	fonte é uma animação presente	embora simplificada nos ajudará a entender isso um
54	no site	pouco melhor: Imagine que um fio comum de cobre
55	“ http://nobelprize.org/educational/	fosse um tubo de PVC cheio de bolinhas de gude.
56	physics/semiconductors/index.ht	O movimento das bolinhas representa a corrente
57	ml ”.	elétrica. Observe que quando uma bolinha entra no tubo,
58		outra sai quase instantaneamente. Mas veja que demora
59		um certo tempo para cada bolinha atravessá-lo.
60		
61	Voltar para o plano médio do	O exemplo pode ser até legal, mas cuidado. Vale lembrar
62	narrador	que no fio de verdade há sempre o mesmo número de
63		cargas positivas e negativas. Por isso ele fica
64		eletricamente neutro. Para cada carga que entra de um
65		lado sai outra no lado oposto.
66		
67	Usar o plano americano do	Raios, choques e faíscas são exemplos visuais de
68	narrador (levemente deslocado)	corrente elétrica. Exemplos geralmente indesejáveis,
69	com imagens de fundo dos	pois estes costumam causar danos.
70	elementos citados: raios, faíscas,	Nas linhas de transmissão e nos fios dos postes também
71	linha de transmissão...	ocorre a passagem de corrente elétrica. É uma pena que
72		não possamos vê-la! Essa corrente elétrica é a
73		responsável pelo transporte da energia gerada nas
74		usinas.
75		
76	Voltar para o plano médio do	Precisamos ainda destacar uma propriedade simples,
77	narrador.	mas importante da corrente elétrica: a intensidade da
78		corrente elétrica total que “entra” em um aparelho é
79		exatamente a mesma intensidade da corrente elétrica
80		que “sai” desse aparelho. O consumo de energia não
81		causa um “consumo” de corrente.
82		
83	Ir para o plano americano do	Agora que já falamos sobre alguns conceitos
84	narrador.	importantes relacionados às correntes elétricas, é legal
85		perguntar: todo material pode conduzir corrente?
86		
87		A resposta é não! Somente os materiais chamados
88	A partir desse ponto, colocar	condutores podem estabelecer uma corrente elétrica
89	imagens desses metais no fundo	com relativa facilidade. A maior parte dos metais são
90	(prata, o cobre e o ouro).	bons condutores, com destaque para a prata, o cobre e
91		o ouro.
92	A partir desse ponto voltar para o	Todavia, nem todos os materiais podem conduzir
93	plano americano do narrador.	corrente elétrica com facilidade. Os materiais isolantes
94		são maus condutores de eletricidade, pois é muito difícil
95	Colocar imagens dos isolantes	passar corrente através deles. A borracha, o plástico e a
96	citados ao fundo (objetos de	madeira são alguns exemplos de isolantes conhecidos.
97	madeira, borracha, etc).	

98	Aqui cortar para várias imagens	Os fios que ligamos às tomadas são feitos de condutores por dentro, mas revestidos de isolantes para que a corrente elétrica não passe pelo nosso corpo caso encostemos no fio. Acredite, isso não seria desejável!	
99	de fios de energia em corte.		
100			
101			
102			
103	Voltar para o narrador em plano		E como saber se um material é um isolante ou um condutor? Vejamos: Já posso adiantar que a aparência não é um bom parâmetro. O teste mais simples consiste em submeter o material a diversos valores de campo elétrico e medir a intensidade da corrente elétrica que surge em cada caso.
104	médio.		
105			
106			
107			
108			
109			
110			
111	Mostrar imagens de baterias,	Falando nesses termos, parece difícil. Então vamos entender isso por partes: Como submetê-lo a um campo elétrico? Para isso, é necessário conectar pelo menos duas das suas extremidades em fontes de diferença de potencial (a famosa ddp ou voltagem). Ou seja, é ligar um pedaço desse material em uma pilha ou bateria e ver quanta corrente passa por ele.	
112	pilhas e de tomadas e escrever		
113	ddp sobre elas.		
114			
115			
116			
117			
118		A grandeza física que vai “traduzir” a “dificuldade” do pedaço analisado em conduzir corrente é chamada de resistência elétrica .	
119	Voltar para o narrador em plano		
120	médio.		
121			
122		Basicamente, ela é a razão entre a diferença de potencial aplicada ao material e a corrente que passa por ele. O problema é que a resistência de um fio depende do material com o qual ele é feito, mas também depende do seu formato. Uma grandeza que independe do formato e está ligada à resistência elétrica é a sua “irmã” resistividade elétrica. A resistividade elétrica é uma característica única de cada material. Na prática, isso significa que quanto maior for o valor de resistividade, mais difícil é estabelecer uma corrente elétrica no mesmo. Por outro lado, quanto menor a resistividade, mais fácil é passar corrente em um material.	
123	Durante essa fala, colocar a		
124	seguinte equação (em uma		
125	animação tipo power point):		
126	$R = \frac{V}{I}$		
127			
128			
129			
130			
131			
132	Plano americano com o narrador		Os condutores são aqueles que apresentam pequenos valores de resistividade, ou seja, uma pequena diferença de potencial dá origem a uma corrente considerável. Só para se ter uma ideia dos valores, a resistividade típica de um condutor é da ordem de $10^{-8}\Omega.m$.
133	sendo deslocado quando for		
134	apresentar os valores de		
135	resistividade.		
136			
137	Nesse caso, é legal colocar uma	Os isolantes são materiais de alta resistividade elétrica, ou seja, é necessário um campo elétrico muito grande para que haja corrente. E em geral isso destrói o material. Para efeitos comparativos, os isolantes apresentam resistividade um sextilhão de vezes maior que os condutores!	
138	animação com um zero, uma		
139	vírgula, e ir preenchendo de		
140	zeros para dar uma ideia de		
141	quão pequeno é o valor de		
142	resistividade dos condutores. O		
143	valor a ser mostrado é		
144	0,00000001 $\Omega.m$		
145			
146	Nesse caso, é legal colocar uma		
147	animação com a resistividade		
148	dos isolantes escritas “por		
149	extenso”, para dar uma ideia de		
150	quão grande é esse valor.		
151	1000000000000 $\Omega.m$		

152		O valor da resistividade, nesses casos, é da ordem de
153		$10^{12}\Omega\text{m}$.
154		
155	Colocando agora o narrador em	Mas você se lembra de todos os exemplos que
156	plano médio.	discutimos? Eles são sobre isolantes e condutores.
157		Dentro dos equipamentos antigos que foram citados no
158		início, só havia materiais condutores e isolantes.
159		
160	Narrador em plano americano	Essa história só mudou por volta dos anos 50, com a
161		descoberta dos materiais semicondutores. Eles
162		permitiram os equipamentos eletrônicos compactos e
163		poderosos que temos hoje.
164		
165		E o que os semicondutores têm de tão especial? Com
166		eles é possível fabricar pequenos componentes que
167		controlam a corrente que passa por eles.
168		Dependendo dos sinais elétricos que eles recebem,
169		esses componentes podem atuar como um isolante
170		(dificultando a passagem de corrente elétrica por eles)
171		ou como condutor (permitindo a passagem fácil de
172	Nesse instante, essas perguntas	corrente). Você conhece algum exemplo de
173	poderiam pipocar na tela.	semicondutor? Como eles funcionam? Como eles se
174		parecem? Responda a essa e outras questões sugeridas
175	Fechar com plano médio do	pelo seu professor ou professora e aguarde o nosso
176	narrador.	próximo encontro.
177		Até mais.
178		
179		
180		

Roteiro para o vídeo 02:

A Física dos aparelhos eletrônicos – seção: “Semicondutores”

Frederico Campos Freitas

	Vídeo	Áudio
1		<u>Todas as falas abaixo serão do narrador:</u>
2		
3	Narrador em plano médio.	Olá amigos! Muitas pessoas costumam pensar que
4		somente os metais são condutores de eletricidade.
5		Mas isso não é totalmente correto! A grafite, aquela
6	Mostrar foto de um pedaço de	usada no lápis e na lapiseira, que não é nada mais
7	grafite e de um lápis.	que o carbono em uma das suas formas sólidas, é
8		um exemplo de material que pode conduzir
9		eletricidade, sem ser metálico.
10		
11	Close do narrador.	Então, que tipo de material é a grafite? Vamos
12		descobrir isso agora!..
13		
14	Narrador em plano americano.	A grafite é o que chamamos de material
15		semicondutor. Semicondutores são materiais que,
16		dependendo dos sinais elétricos que eles recebem,
17		podem atuar como um isolante (dificultando a
18		passagem de corrente elétrica por eles) ou como
19		condutor (permitindo a passagem fácil de corrente).
20		
21	O narrador agora deve estar	Os semicondutores podem ser compostos por um
22	deslocado com as imagens de	único material ou pela combinação de alguns deles.
23	semicondutores colocadas ao	O principal semicondutor utilizado na indústria
24	lado (legendadas). A sequencia	eletrônica é o Silício. Ele é um dos elementos mais
25	é: silício, areia da praia,	abundantes da Terra. Onde podemos encontrá-lo? A
26	germânio e GaAs. Na legenda	areia da praia, por exemplo, é uma combinação de
27	escrever o nome dos compostos	silício com oxigênio.
28	por extenso. (Arseneto de Gálio,	O Germânio é outro semicondutor importante, além
29	Arseneto de Índio, Antimoneto	de outros compostos de nomes mais complicados.
30	de Índio)	
31		
32	Voltar para o plano médio do	Para entender melhor essa história, teremos que
33	narrador.	conhecer a natureza dos semicondutores um pouco
34		mais a fundo.
35		Para começar, vale a pena lembrar que toda a
36		matéria é composta por átomos. A tabela periódica
37		organiza e reúne todos átomos conhecidos.
38		
39	Narrador em plano americano.	Os átomos são compostos basicamente por prótons,
40		elétrons e nêutrons com exceção do hidrogênio, que
41		não tem nêutrons. Mas, como eles podem ter
42	Imagem de uma tabela periódica	comportamento tão diferente?
43	localizando e enfatizando os dois	A diferença entre os átomos é o número de prótons

44	átomos citados.	que eles contém. Por exemplo: o silício tem 14 prótons enquanto o oxigênio tem 8.
45		
46	Durante esse instante colocar o	
47	vídeo atomo_youtube com uma	No modelo atômico mais conhecido os elétrons giram
48	animação do modelo atômico	ao redor de um núcleo composto por prótons e
49	“planetário”	nêutrons, de forma muito parecida com os planetas,
50		que giram ao redor do Sol. Nos átomos normais, o
51		número de elétrons é igual ao número de prótons.
52		Embora essa é uma boa analogia, ela de fato não
53		representa o que é exatamente um átomo.
54	Fechar com plano médio do	
55	narrador.	O que é necessário para um elétron orbitar um
56		núcleo? Para ficar ao redor do núcleo, cada elétron
57		precisa ter uma certa energia. Quanto mais distante
58		do núcleo ele estiver, maior será o valor dessa
59		energia. Só que as órbitas dos elétrons não podem
60		ocorrer em qualquer distância do núcleo! Entre
61		algumas regiões permitidas, nas quais um elétron
62		pode estar, há regiões proibidas, nas quais eles
63		nunca poderão ser encontrados.
64	Narrador em plano americano	
65		Como isso influencia o átomo? A consequência disso
66		é que os elétrons não podem ter qualquer valor de
67		energia. Existem valores permitidos e proibidos. Essa
68		característica particular, que diferencia um átomo do
69		sistema solar ou qualquer outro sistema que
70		conhecemos é devido ao fato que é a Física Quântica
71		que é a que descreve o comportamento atômico.
72		
73	Narrador em plano médio.	Na explicação da Física Quântica, para que os
74		elétrons fiquem ligados a um átomo é necessário se
75		levar em conta dois princípios: o primeiro diz que os
76		elétrons sempre ocupam os níveis de menor energia
77		possível. O segundo diz que cada orbital (ou nível de
78		energia) permitido só comporta um número restrito de
79		elétrons. Assim, haverá vários níveis cheios de
80		elétrons e um último nível que pode estar cheio ou
81		não.
82		
83	Narrador em plano americano e	Para entender melhor, vamos fazer uma comparação:
84	deslocado com uma imagem de	é como organizar um monte de bolinhas de gude em
85	uma prateleira ao lado. Se for	prateleiras com altura fixa. A altura da prateleira
86	possível, seria legal mostrá-lo	representa a energia de cada nível. Seguindo regras
87	colocando bolinhas de gude em	similares àquelas dos átomos, as prateleiras devem
88	uma.	ser preenchidas a partir do nível mais baixo, sem
89		pular nenhuma. Dependendo do número de bolinhas,
90		o último nível pode ficar cheio ou não.
91		
92		E o que isso tem a ver com os semicondutores? Num
93	Narrador em plano médio.	sólido cristalino qualquer, inclusive os
94		semicondutores, há grande número de átomos
95		organizados. Nesse caso, os níveis de energia de
96		cada átomo interagem entre si formando uma série
97		de bandas de energia. Certo, mas qual o significado

98		disso? Adianta que não tem nada haver com as bandas de rock!
99		
100		
101		
102	Narrador em plano americano	Diferentemente de quando tratamos de átomos individuais, nos semicondutores, ao invés de ter um valor exato de energia, o elétron pode ter vários valores, desde que eles estejam dentro dessa banda. Mas entre as bandas de energia permitida, ainda existem intervalos de energia que são proibidos. O nome desses intervalos proibidos é gap .
103		
104		
105		
106		
107		
108		
109		Voltando à nossa comparação, seria como se a madeira de várias prateleiras fosse usada para construir uma cômoda com várias gavetas. Agora, as bolinhas podem ficar a qualquer altura, desde que dentro da gaveta. Só que nenhuma bolinha pode ser encontrada no espaço entre duas gavetas.
110	Iniciar com a imagem de uma cômoda e, depois, é interessante colocar a imagem do narrador colocando bolinhas de gude em gavetas.	
111		
112		
113		
114		
115		
116		A banda de energia mais alta que está preenchida por elétrons é chamada de banda de valência. A banda de energia que está logo acima é a chamada banda de condução.
117	Colocar o narrador em plano americano.	
118		
119		
120		
121		
122	Narrador em plano médio	E para que servem essa ideia das bandas de energia nos sólidos? É justamente através dela que podemos entender melhor a diferença entre isolantes, condutores e semicondutores. Veja só.
123		
124		
125		
126		
127	Colocar imagens de cabos de transmissão de energia.	Nos condutores acontece algo curioso. Neles não existe um intervalo entre a banda de condução e de valência, elas se sobrepõe. Isso significa que os elétrons mais energéticos sempre podem ganhar pequenos valores de energia e entrar em movimento sem sair da banda. Por isso é mais fácil ter uma corrente elétrica nos condutores. E essa corrente elétrica será composta basicamente por elétrons em movimento.
128		
129	A partir desse instante, colocar o narrador em plano americano deslocado com o “diagrama de bandas” do lado. Nas partes ressaltadas, colocar o que o narrador está apontando em um plano destaque (próximo).	
130		
131		
132		
133		
134		
135		
136		
137	Narrador em plano médio	Já nos semicondutores e isolantes, a banda de valência e a banda de condução estão separadas por um intervalo de energia proibido, um gap . E quando o sólido está em uma temperatura muito baixa, próxima a 0 K, a banda de valência de ambos está completamente preenchida por elétrons e a banda de condução vazia.
138		
139		
140		
141		
142		
143		
144		
145	Narrador em plano médio ainda, mas deslocado e mostrando um diagrama de energia de um isolante.	Nos isolantes, o intervalo de energia proibido é tão grande que os elétrons praticamente não conseguem ir para a banda de condução. A energia necessária para vencer esse intervalo praticamente não pode ser alcançada. Por isso eles impõe dificuldade à passagem de corrente elétrica.
146		
147		
148		
149		
150		
151		Nos semicondutores, esse intervalo de energia

152	Narrador em plano médio ainda,	proibido não é tão grande quanto nos isolantes, mas
153	mas deslocado e mostrando um	ele existe. Esse intervalo pode ser “vencido” se o
154	diagrama de energia de um	sólido for aquecido, iluminado ou se ele ganhar
155	semicondutor.	energia de alguma outra forma. Quando o elétron é
156		promovido para a banda de condução, ele pode
157		ganhar pequenos valores de energia e entrar em
158		movimento sem sair banda. Isso significa que ele
159		está apto a promover a passagem de corrente
160		elétrica. Isso mostra que o semicondutor só conduz
161		corrente em algumas situações específicas.
162		
163		Ao sair da banda de condução, esse mesmo elétron
164	Nesse caso, também deve ser	deixa um espaço vazio, um buraco, na banda de
165	colocado em plano destaque o	valência. Esses buracos também podem se
166	que o narrador vai mostrar no	movimentar e ajudam na composição da corrente
167	desenho da banda de valência	elétrica dos semicondutores. Isso parece meio
168	com “os buracos”. Voltando	esquisito, né? Provavelmente você está se
169	sempre para o narrador em	perguntando como um buraco se movimenta. Para
170	plano médio ou americano.	tentar entender vamos fazer uso novamente de uma
171		analogia:
172		
173		Nesse jogo, o desafio é movimentar as peças de
174	Colocar o filme “15-game”	forma a deixar os números em ordem crescente. A
175	conseguido na internet. Ou filmar	gente costuma pensar somente nos movimentos das
176	o narrador fazendo o jogo	peças em si. Mas observe que se as peças se
177	“estilizado”.	movimentam, o buraco indiretamente se movimenta!
178		
179		Algo parecido acontece nos semicondutores. Cada
180	Coloca novamente o narrador	elétron na banda de condução tem o seu respectivo
181	em plano americano deslocado	buraco na banda de valência e ambos se
182	para mostra o desenho da banda	movimentam quando surge uma corrente elétrica.
183	semicondutora com os elétrons	Como esse buraco surge da falta de um elétron, ele
184	e buracos.	se comporta exatamente como uma partícula de
185		carga positiva. Pode parecer estranho, mas essa é
186		uma das melhores explicações para vários efeitos
187		observados nos semicondutores.
188		
189		E vocês já pensaram em quais seriam as aplicações
190	Narrador em plano médio.	práticas dos semicondutores? Como eles poderiam
191		ser utilizados na eletrônica, por exemplo?
192		
193		Esse será nosso tema no próximo encontro.
194		
195		Até mais.
196		
197		
198		
199		
200		

Roteiro para o vídeo 03:

A Física dos aparelhos eletrônicos – seção: “Semicondutores”

Frederico Campos Freitas

	Vídeo	Áudio
1		<u>Todas as falas abaixo serão do narrador:</u>
2		
3	Close do narrador	Olá pessoal, tudo bem?
4		
5	Narrador em plano médio.	A maior parte de nós já ouviu falar de corrente elétrica, átomos e da diferença entre condutores, isolantes e semicondutores. Alguns mais privilegiados já tiveram contato até com a chamada “teoria das bandas de energia”, que explica a diferença do comportamento elétrico apresentado pelos materiais. Será esse o fim da história?
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		Não, não é. Pelo contrário. Além dos semicondutores puros, existem também aqueles que são chamados de dopados. Quando falamos em dopagem, logo pensamos naquelas pessoas que tomam substâncias ilegais para melhorar seu desempenho. No caso dos semicondutores não é nada disso. A dopagem deles não lhes causa problemas, mas altera algumas de suas propriedades. Vejamos:
14	Colocar imagem de seringas e de “acidentes” causados pelo uso de doping.	
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21	Narrador em plano médio.	Um semicondutor fica dopado quando são misturados a ele substâncias que mudam algumas das suas propriedades químicas. Na dopagem chamada “tipo P”, por exemplo, são misturados alguns átomos que deixam ele “sentindo falta” de alguns elétrons. Como isso funciona?
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28	Colocar uma tabela periódica e destacar o grupo 14.	Se a gente olhar na tabela periódica, os semicondutores puros estão no grupo 14. Para torná-los semicondutores tipo P, os dopantes utilizados são átomos do grupo 13. Ou seja: onde inicialmente só tinha silício, por exemplo, alguns átomos podem ser substituídos por Boro. Como cada átomo de silício tem 4 elétrons na banda de valência e os átomos de Boro só têm 3, o semicondutor dopado tipo P fica repleto de buracos esperando elétrons.
29		
30		
31		
32		
33	Colocar uma figura mostrando a dopagem, como a do slide 22 do <i>nobel prize</i> . Se possível, colocar o narrador em plano médio deslocado mostrando os elementos citados na respectiva tabela periódica.	Já com a dopagem do “tipo N” ocorre o oposto. Nesse caso, são misturados átomos do grupo 15, para que fiquem alguns elétrons “sobrando” no material. Novamente, é como se num sólido onde antes só tinha átomos de silício, alguns fossem substituídos por
34		
35		
36		
37		
38		
39		
40		
41		
42		
43		

44		átomos de Fósforo. Como cada átomo de silício tem 4
45		elétrons na banda de valência e os átomos de Fósforo
46		têm 5, o semiconductor dopado tipo N fica repleto de
47		elétrons fracamente ligados.
48	Narrador em plano americano	
49		Ao contrário do que muita gente pensa, os
50		semicondutores dopados não são eletricamente
51		carregados. Isso porque, essa falta ou sobra de elétrons
52		a qual nos referimos está relacionada somente às
53		ligações químicas entre os átomos. Na verdade tanto os
54		semicondutores “tipo P” quanto os “tipo N” têm o mesmo
55		número de prótons e elétrons, ou seja, são
56		eletricamente neutros.
57	Narrador em plano americano.	
58		Mas afinal de contas, porque alguém iria dopar um
59	Mostrar o diodo na mão do	semiconductor? Basicamente isso é feito para ampliar as
60	narrador e dar um <i>close</i> nele.	possibilidades de uso de um semiconductor. Um exemplo
61		disso é a chamada junção PN, que dá origem a um
62		componente muito importante na eletrônica: o diodo,
63		também chamado de retificador por deixar passar
64		corrente somente em um sentido.
65	Narrador em plano médio	
66		Mas por quê o diodo funciona dessa forma? Vejamos
67	Começar o vídeo “juncao-PN-	essa animação:
68	1.mpeg”.	Nela é possível ver uma junção PN. No lado P há vários
69		“buracos” praticamente soltos e do lado N há vários
70		elétrons.
71	Mostrar rapidamente o narrador	
72	e em seguida colocar o vídeo	Como ambos os lados P e N são eletricamente neutros,
73	“juncao-PN-2.mpeg”	se a junção for ligada sozinha a uma lâmpada, a mesma
74		não vai acender.
75	Narrador em plano médio	
76		Agora se no circuito for ligada uma fonte de tensão
77		(como uma bateria ou uma tomada), a junção pode ter
78		dois comportamentos:
79	A partir daqui mostrar o vídeo	
80	“juncao-PN-3.mpeg”	Se o lado negativo da fonte de tensão for ligado ao
81		semiconductor tipo P e o positivo ao semiconductor tipo N,
82		não passará corrente pela junção. Isso porque os
83		buracos do lado P sentirão atração pelo lado negativo
84		da bateria (lembre-se que eles se comportam como
85		cargas positivas) e os elétrons do lado tipo N sentirão
86		repulsão, ficando do outro lado da junção. Esses
87		buracos e elétrons não podem sair da junção, que dessa
88		forma não passa corrente elétrica.
89		Nesses casos o diodo estará ligado na polaridade
90		inversa.
91	Narrador em plano médio	
92		Agora se os polos da fonte de tensão forem invertidos,
93	Mostrar o vídeo “juncao-PN-	veja o que acontece:
94	4.mpeg”	Os buracos do lado tipo P sentirão repulsão do polo
95		positivo da bateria e os elétrons do lado tipo N se
96		sentirão atraídos por ele. Assim, buracos e elétrons
97		serão empurrados uns em cima dos outros. Como os

98		buracos são falta de elétrons, eles se combinam e
99		ocorre a passagem de corrente elétrica. Agora o diodo
100		está ligado na polaridade direta.
101	Colocar o narrador em plano	
102	americano com o vídeo “juncao-	Resumindo. O diodo, cujo símbolo no circuito é esse, só
103	PN-5.mpeg” ao lado. Em	permite passagem de corrente quando o seu lado P
104	seguida, colocar imagens de	(base da seta) está ligado a um terminal positivo.
105	diodos de verdade e a	
106	correspondência com o símbolo.	
107		
108	Narrador em plano médio	
109		Mas você pode se perguntar: o que isso tem a ver com
110		os aparelhos eletrônicos que foram citados
111		anteriormente? Por que eles precisam de diodos?
112	Narrador em primeiro plano	
113	mostrando a frequência da rede	Na nossa tomada, os lados positivo e negativo se
114	elétrica escrita no selo de algum	alternam 60 vezes por segundo. Por isso a corrente
115	aparelho eletrônico.	gerada por ela é chamada de alternada e recebe a sigla
116		AC. Quando um diodo é inserido no circuito, ele só deixa
117		passar corrente quando está com polarização direta.
118		
119	A partir daqui, voltar para o	Por isso, ele é imprescindível para as fontes que
120	narrador em plano americano.	transformam a corrente alternada da tomada (AC) em
121		corrente contínua (DC). Basta lembrar que a corrente
122		contínua precisa ter um lado positivo bem definido, o
123		que é conseguido com a ajuda do diodo. Para trabalhar,
124		o computador precisa necessariamente de corrente
125		contínua e, por isso, ele tem uma fonte interna que
126		converte corrente alternada em contínua usando diodos.
127		
128	Narrador em plano médio.	Uma questão que pode surgir a partir disso é: será que
129		essa é a única ligação entre os semicondutores e os
130		computadores?
131		Não, não é.
132		
133	Narrador em plano americano.	Os vários modelos de transistores são outro tipo de
134		componente eletrônico baseado em semicondutores
135		dopados. Eles usam os buracos dos semicondutores
136		tipo P e os elétrons dos semicondutores tipo N para
137		controlar a corrente que passa por eles.
138		
139	Imagens de transistores	Basicamente, os transistores são divididos em três
140	destacando onde estão a base, o	partes. Dependendo do tipo de transistor, essas partes
141	coletor e o emissor ou o portão, o	são chamadas de base, coletor e emissor ou portão
142	dreno e a fonte, dependendo do	(<i>gate</i>), dreno (<i>drain</i>) e fonte (<i>source</i>).
143	caso.	
144		
145	Narrador em plano americano.	O funcionamento básico desses componentes pode ser
146		entendido da seguinte forma: a base do transistor
147		funciona como se fosse uma chave, que abre e fecha o
148		caminho entre o emissor e o coletor. Se há corrente na
149		base, também há corrente entre o coletor e o emissor.
150		Além disso, quanto maior for essa corrente de base,
151		maior é a corrente entre o coletor e o emissor. E

152		adivinha o que acontece se a corrente da base zera? O
153		transistor desliga. Fazendo uma analogia, ele funciona
154		como uma torneira, que permite (ou não) a passagem
155	Narrador em plano médio.	de corrente, controlando-a.
156		
157		Esse comportamento dos transistores tem alguma
158	Mostrar um vídeo de uma	aplicação?
159	torneira sendo aberta e fechada.	Sim, pois através da corrente de base, é possível
160		controlar a corrente entre coletor e emissor. Fazendo
161		uma comparação, o transistor funciona como se fosse
162		uma torneira. A diferença é que nele o controle da
163		corrente principal é feito pela corrente de base. Assim, é
164	Em seguida, colocar o narrador	possível enviar qualquer sinal elétrico na base do
165	em plano médio	transistor e, no final das contas, teremos um sinal com
166		comportamento parecido e amplitude muito maior
167	A partir daqui, colocar o vídeo em	correndo entre coletor e emissor.
168	que um transistor aparece	
169	amplificando um sinal. O nome	Por isso hoje em dia os transistores estão em quase
170	do vídeo é “transistor-	todos os amplificadores elétricos de som, além de
171	amplificador.mpeg”.	equiparem também os aparelhos de rádio e de TV. Mas
172		afinal qual é sua função nos computadores, nos tablets,
173	Narrador em plano médio.	tocadores de música portáteis e smartphones?
174		
175		Esperem pelo nosso próximo encontro.
176		Abraços
177		
178		
179		
180		

Roteiro para o vídeo 04:

A Física dos aparelhos eletrônicos – seção: “Semicondutores”

Frederico Campos Freitas

	Vídeo	Áudio
1		<u>Todas as falas abaixo serão do narrador:</u>
2		
3	Close do narrador	Olá pessoal, tudo bem?
4		
5	Narrador em plano médio.	O comportamento dos semicondutores é algo incrível.
6		Normalmente se comportam como materiais isolantes
7		mas, basta mudar algumas de suas propriedades ou
8		dopá-los que eles passam a ter as mais diversas
9		aplicações..
10		
11	Narrador em plano americano.	Com uma junção de semicondutores tipo P e tipo N, por
12		exemplo, é possível construir um diodo, dispositivos que
13		só deixa a corrente passar em um único sentido. Se
14		forem feitas junções de semicondutores do tipo PNP ou
15		NPN é possível construir os transistores, que
16		conseguem controlar a corrente elétrica que passa por
17		ele através de um sinal externo.
18		
19	Narrador em plano médio. Talvez	Desde as calculadoras e computadores mais antigos,
20	mostrar umas animações com	todo símbolo ou informação utilizados pro eles eram e
21	bits e sequências de “0” e “1”.	ainda são representados por conjuntos de bits.
22		Cada bit é composto por dois estados distintos.
23		Normalmente, utiliza-se os números 0 e 1 para
24		descrever o estado de um bit.
25		
26	Narrador em plano americano.	Nos circuitos dos computadores os bits são traduzidas
27		em estados de desligado e ligado. Ligado quer dizer
28		“com passagem de corrente” e desligado quer dizer
29		“sem passagem de corrente”. Com os transistores, é
30		possível usar o estado de um ou mais bits para
31		determinar outro. Além disso, é possível ligar vários
32		deles de forma a realizar algumas operações lógicas. É
33		com base nessas operações que funciona o
34		processador de um PC.
35		
36		
37	Mostrar o apresentador	Usar um conjunto de transistores não é a única maneira
38	segurando uma válvula. (#pode	possível de se fazer essas operações. Isso também é
39	ser conseguida no laboratório de	possível utilizando-se a chamada válvula termiônica. Ela
40	Física da UFSCar#)	tem função e comportamento muito parecidos com os
41		transistores. Contudo, quando comparamos os dois
42		(transistores e válvulas), o transistor se mostra muito
43		mais útil para a indústria eletrônica na maioria das
		vezes.

44		
45	Mostrar a imagem que compara	O transistor é muito menor que uma válvula, por
46	o tamanho do transistor com um	exemplo. Enquanto os transistores presentes nos
47	fio de cabelo.	computadores atuais têm tamanho da ordem de 22 nm
48		(mais de mil vezes menor que a espessura de um fio de
49		cabelo), as válvulas tem algumas dezenas de
50		centímetros de tamanho.
51		
52	Mostrar a imagem de um	Só para comparar, vejamos como era um processador
53	processador valvulado e	feito com válvulas e um processador feito de transistores
54	compará-la com um processador	semicondutores. O detalhe maior é que o processador
55	comum.	valvulado era muito grande e continha somente alguns
56		milhares de válvulas, enquanto que um processador
57		atual possui quase um bilhão de transistores. É como
58		comparar a população de uma aldeia com a população
59		da China!
60		
61	Narrador em plano americano	Outra característica importante dos transistores
62		semicondutores: eles têm como base um mesmo
63		material (silício, em geral) onde são feitas algumas
64		modificações pontuais (a dopagem). Essa propriedade
65		permite que em um pedaço de silício sejam feitos
66		centenas de milhões de transistores em um pedaço de
67		silício sem dividi-lo, como é o caso dos processadores.
68		
69	Narrador em plano médio,	Os processadores dos computadores atuais estão
70	deslocado para mostrar os	baseados em circuitos integrados com milhões de
71	processadores de computadores	transistores, cada um deles milhares de vezes menores
72	e uma comparação entre um	que a espessura de um fio de cabelo! E isso foi
73	transistor e um fio de cabelo.	imprescindível para que os computadores atuais
74	Além disso, mostrar a	pudessem ser bem menores e muito mais poderosos
75	comparação entre um	que aqueles que vimos no primeiro vídeo, por exemplo.
76	computador atual e o MARK I.	
77		
78	A partir de agora, usar os vídeos	Só lembrando: no primeiro vídeo, nós abordamos o
79	anteriores e “pincelar” imagens	conceito de corrente elétrica e algumas aplicações suas.
80	dos mesmos, como uma	Usando esse conceito, diferenciamos condutores e
81	retrospectiva.	isolantes. Por fim, falamos da resistência elétrica,
82		grandeza física que nos permite analisar a dificuldade
83		de um material em conduzir corrente. Viu-se que os
84		materiais isolantes tem uma grande resistência elétrica,
85		ao contrário da baixa resistência apresentada pelos
86		condutores.
87		
88		No segundo vídeo, vimos que além dos isolantes e
89		condutores, existem materiais chamados
90		semicondutores. Esses materiais, como a grafite e o
91		silício, apresentam um comportamento diferente. Podem
92		atuar de forma parecida com um isolante ou com um
93		condutor, dependendo das suas condições. Vimos
94		inclusive um pouco da teoria que explica o
95		comportamento dos isolantes, condutores e
96		semicondutores. A teoria das bandas de energia. Vimos
97		até que nos semicondutores existem buracos que se

98		movimentam e conduzem corrente elétrica!
99		
100		No terceiro vídeo viu-se que existem dois tipos de
101		semicondutores. Os puros, ou intrínsecos, e os
102		chamados dopados ou extrínsecos. A diferença é que
103		nos dopados alguns átomos de um material são
104		inseridos no semicondutor para dar a ele propriedades
105		especiais.
106		Ainda nesse vídeo essas propriedades foram
107		abordadas, explicando-se inclusive o funcionamento dos
108		diodos e dos transistores. Esses dois componentes,
109		chaves para os equipamentos eletrônicos, são
110		compostos por semicondutores dopados.
111		
112		Ao fim, nesse vídeo abordou-se as principais aplicações
113		dos transistores e diodos. Além disso, eles foram
114		comparados com tecnologias similares, como a válvula
115		termiônica. Com isso ficou claro o papel que os
116		semicondutores tiveram na chamada miniaturização dos
117		computadores, ou seja, viu-se que sem os
118		semicondutores nem as calculadoras portáteis seriam
119		viáveis. Pelo menos não com as outras tecnologias que
120		conhecemos hoje.
121		
122	Narrador em plano médio,	Enfim, em um mundo onde os computadores ficam cada
123	deslocado, com imagens	vez mais rápidos, os chips e transistores ficam cada vez
124	futuristas (de filmes e séries de	menores. Isso logicamente vai ter um limite. Podemos
125	ficção científica) ao lado.	nos perguntar “O que vai acontecer depois?” Essa
126		resposta eu não tenho. Acredito que ninguém a tem. O
127		que eu posso dizer é que hoje os cientistas estão
128		trabalhando arduamente para achar novos materiais e
129		melhorar os atuais. No futuro, pode ser que as
130		moléculas sejam manipuladas para funcionar como
131		transistores. Teríamos uma eletrônica molecular. Mas
132		isso é só uma hipótese. A única certeza é que as
133		mudanças, pequenas ou grandes, sempre acontecerão.
134		Espero que vocês tenham se divertido durante nossos
135		encontros.
136		Até mais.
137		
138		
139		
140		

Pesquisa espontânea sobre conceitos de Eletricidade

Questionário 01

Nome: _____ Turma: _____

Idade: _____ anos. |»| Gênero: () Masculino () Feminino |»| Gosta de Física () Sim () Não.

Sala: _____. Já havia cursado a disciplina de Eletricidade, em anos anteriores? () Sim () Não.

As questões abaixo devem ser respondidas de acordo com uma escala. A cada alternativa atribua um número inteiro de 1 (um) a 5 (cinco), sendo que 1 (um) significa “**discordo** totalmente, com convicção” e 5 (cinco) significa “**concordo** totalmente, com convicção”.

Para responder, consulte somente a tabela periódica, se necessário.

- a () Um isolante não permite a passagem de corrente porque está cheio de cargas elétricas, não sobrando espaço para a movimentação das mesmas.
- b () A corrente elétrica nos fios condutores é composta de elétrons.
- c () Para estabelecer corrente elétrica em um fio, é necessário um campo elétrico devido uma diferença de potencial.
- d () A grafite (do lápis) é feita de carbono e é um bom condutor de eletricidade.
- e () Todos os materiais que conhecemos podem ser classificados como isolantes ou condutores.
- f () Os metais são bons condutores de eletricidade.
- g () Os aparelhos elétricos costumam ser ligados à tomada por dois fios. Em um deles entra a corrente que será consumida pelo aparelho e, no outro, sai somente aquilo que não é gasto.
- h () Quanto mais rígido é um material, mais facilmente ele conduz eletricidade.
- i () A madeira é feita de carbono e é um mal condutor de eletricidade.
- j () Dentro dos *smartphones*, celulares, *tablets* e computadores existem materiais semicondutores.
- k () Uma mistura de água com sal de cozinha (NaCl) pode conduzir eletricidade facilmente.
- l () A velocidade das cargas elétricas em um fio condutor devido a passagem de corrente é muito grande. Vê-se isso porque basta apertar o interruptor que uma lâmpada acende instantaneamente.
- m () É possível distinguir visualmente bons condutores e maus condutores de eletricidade.
- n () Nos metais a corrente elétrica (quando existe) é composta pelo movimento de prótons e elétrons.
- o () Ainda não existe um dispositivo que só permita a passagem de corrente elétrica em um sentido.
- p () Quanto maior for a resistividade elétrica de um corpo, menor é a sua facilidade em conduzir corrente.

Em quantas questões você teve dúvidas? () Quais foram? _____

Em quantas questões você alterou as respostas? () Quais foram? _____

Pesquisa espontânea sobre conceitos de Eletricidade

Questionário 02

Nome: _____ Turma: _____

As questões abaixo devem ser respondidas de acordo com uma escala. A cada alternativa atribua um número inteiro de 1 (um) a 5 (cinco), sendo que 1 (um) significa “**discordo** totalmente, com convicção” e 5 (cinco) significa “**concordo** totalmente, com convicção”.

Para responder, consulte somente a tabela periódica, se necessário.

- a () Buracos e prótons são exatamente a mesma coisa, isto é, cargas positivas que compõe a corrente elétrica.
- b () Existem valores de energia “proibida” para o elétron, que os físicos chamam de *gap*.
- c () Nos semicondutores é muito fácil estabelecer uma corrente elétrica, independente da sua temperatura ou diferença de potencial.
- d () Tanto os átomos individuais quanto os sólidos cristalinos (compostos por muitos átomos) são caracterizados por bandas de energia bem definidas, ou seja, existem somente alguns valores de energia que são permitidos aos elétrons.
- e () Os elétrons de um sólido cristalino podem ter qualquer valor de energia
- f () De acordo com a teoria das bandas de energia, um isolante sempre terá mais elétrons do que um semicondutor.
- g () Os semicondutores são chamados assim porque são formados por materiais isolantes e condutores, divididos igualmente.
- h () Um semicondutor tem um *gap* de energia pequeno o suficiente para que algumas fontes externas de energia (como o aquecimento, por exemplo) possam promover elétrons para a banda de condução.
- i () Como a “última” banda de energia dos condutores não está completa, qualquer valor de energia pode gerar um movimento de cargas (corrente elétrica).
- j () Sólidos compostos por qualquer átomo podem se tornar semicondutores.
- k () Olhando para um material, não é possível afirmar se ele é condutor, isolante ou semicondutor.
- l () São chamados de buracos os “espaços” deixados pelos elétrons que saíram da banda de valência.
- m () Buracos se comportam como cargas negativas.
- n () Os isolantes são sempre mais leves do que os condutores.
- o () Existem substâncias nas quais a condução de eletricidade ocorre mais facilmente quando elas são aquecidas.
- p () Bandas de energia são um conjunto de valores permitidos para a energia de um elétron em um sólido cristalino.

Em quantas questões você teve dúvidas ? (). Quais foram? _____

Em quantas questões você alterou as respostas? () Quais foram? _____

Pesquisa espontânea sobre conceitos de Eletricidade

Questionário 03

Nome: _____ Turma: _____

As questões abaixo devem ser respondidas de acordo com uma escala. A cada afirmativa atribua um número inteiro de 1 (um) a 5 (cinco), sendo que 1 (um) significa “**discordo** totalmente, com convicção” e 5 (cinco) significa “**concordo** totalmente, com convicção”.

- a () O aspecto de uma substância é suficiente para avaliar se ela é condutora, isolante ou semicondutora.
- b () Em todos os materiais pode-se estabelecer corrente elétrica com facilidade.
- c () Em alguns materiais existem os chamados “buracos”, que se comportam como cargas negativas.
- d () Nos semicondutores, em baixas temperaturas, os elétrons estão todos na banda de valência.
- e () Para estabelecer corrente elétrica em um condutor, é necessário que os elétrons ganhem pequenos valores de energia.
- f () Nos condutores os elétrons de maior energia estão em uma banda semi-preenchida.
- g () Quando um aparelho é ligado na tomada por dois fios, sabe-se que um deles entra a corrente que será consumida pelo aparelho e, no outro, sai somente aquilo que não é gasto.
- h () A capacidade de uma substância conduzir corrente sempre aumenta com o aumento de temperatura.
- i () Sem os semicondutores não teríamos celulares, *smartphones*, computadores e *tablets* tão pequenos e poderosos.
- j () Existem dispositivos que só permitem passagem de corrente elétrica em um sentido.
- k () Nos isolantes e nos semicondutores há valores de energia proibidos para o elétron.
- l () Um elétron e um buraco podem se “recombinar”. Afinal de contas, o buraco surge quando um elétron deixa a banda de valência.
- m () Semicondutores dopados tipo **P** têm esse nome porque estão carregados positivamente.
- n () Nos condutores a corrente elétrica é composta pelo movimento de prótons, que tem carga positiva.
- o () O transistor é um componente baseado em semicondutores que consegue controlar a corrente que passa por ele utilizando um sinal elétrico.
- p () Nenhum processo dá energia suficiente a um elétron para que ele seja “promovido” da banda de valência e vá para a banda de condução.

Em quantas questões você teve dúvidas? () Quais? _____

Em quantas questões você alterou as respostas? () Quais? _____

Pesquisa espontânea sobre conceitos de Eletricidade

Questionário 04

Nome: _____ Turma: _____

As questões abaixo devem ser respondidas de acordo com uma escala. A cada alternativa atribua um número inteiro de 1 (um) a 5 (cinco), sendo que 1 (um) significa “**discordo** totalmente, com convicção” e 5 (cinco) significa “**concordo** totalmente, com convicção”.

- a () Os bits, representados pelos números 1 e 2, são na verdade processados através de sinais elétricos.
- b () Os semicondutores dopados formam componentes importantes ao funcionamento dos computadores, celulares, tablets, e outros equipamentos.
- c () Em todos os materiais é possível estabelecer corrente elétrica com facilidade.
- d () Existem materiais nos quais a corrente elétrica é composta também de “buracos”, que se comportam como cargas positivas.
- e () Os transistores usam condutores e isolantes para amplificar a corrente que passa por eles.
- f () Nos condutores não há “gap” entre a banda de condução e a banda de valência.
- g () Como são compostos por semicondutores do tipo P e N, os diodos funcionam da mesma forma que uma pilha (ou bateria), com um lado positivo e outro negativo.
- h () As válvulas termiônicas poderiam substituir completamente os semicondutores na construção de um celular, sem alterar em nada sua forma e funcionamento.
- i () Todos os materiais que conhecemos podem ser classificados como isolantes ou condutores.
- j () Sem os semicondutores não teríamos celulares, *smartphones*, computadores e *tablets* tão pequenos e poderosos.
- k () Os diodos só permitem passagem de corrente elétrica em um sentido.
- l () Nos isolantes e nos semicondutores há valores de energia “proibidos” para o elétron.
- m () Quando há passagem de corrente no transistor, há uma recombinação dos “buracos” (do lado **P**) e dos elétrons (do lado **N**).
- n () Nos semicondutores tipo **P**, a corrente elétrica é composta pelo movimento de prótons, que tem carga positiva.
- o () Nos computadores, *tablets*, *smartphones*, calculadoras e outros aparelhos eletrônicos, a informação é processada através de sinais elétricos.
- p () Um material que tenha elétrons na banda de condução terá pequena resistividade elétrica.

Em quantas questões você teve dúvidas? () Quais? _____

Em quantas questões você alterou as respostas? () Quais? _____

Questionário Final

Nome: _____ Turma: _____

Parte 1:

Classifique as afirmativas abaixo usando uma **escala** de 1 (um) a 5 (cinco), em que 1 (um) significa “**discordo** totalmente” e 5 (cinco) significa “**concordo** totalmente”, as afirmativas abaixo:

- I. () Os vídeos sobre semicondutores precisam, necessariamente, serem vistos em sequência.
- II. () A apresentação dos vídeos sobre semicondutores ocorreu sem nenhum problema. *(caso tenha ocorrido algum, qual (quais) foi (foram))?* _____.
- III. () As ideias dos vídeos sobre semicondutores foram expostas de forma clara e de fácil entendimento.
- IV. () O assunto abordado pelos vídeos não têm nenhuma conexão com assuntos cotidianos.
- V. () Foi possível ouvir, mas não foi possível entender nada do que foi dito nos vídeos sobre semicondutores.
- VI. () Os vídeos abordaram um assunto muito específico e sem importância prática.
- VII. () Os vídeos são muito longos, o que os torna cansativos.
- VIII. () Os vídeos sobre semicondutores conseguem chamar a atenção para um assunto que não costuma ser muito discutido, apesar da sua importância.

As afirmativas abaixo se referem aos seus hábitos e convicções (que serão mantidos compulsoriamente em sigilo).

- IX. () Eu já usei vídeos da internet (Youtube, Vimeo, ...) para me informar sobre um tema visto na escola? (uma experiência, um pedaço de uma aula, ...)
- X. () É possível avaliar a confiabilidade de um vídeo encontrado na internet. (se sua resposta for 3, 4 ou 5, indique quais fatores você usa para fazer essa avaliação de confiabilidade _____).
- XI. () O uso de vídeos da internet é extremamente útil para conhecer melhor um determinado assunto.
- XII. () Seria possível aprender praticamente qualquer assunto, de forma efetiva, usando somente vídeos da internet e de outras fontes (TV, DVD, Telecursos, ...)