

UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE SEMICONDUTORES BASEADA NOS MOMENTOS PEDAGÓGICOS DE ANGOTTI E DELIZOICOV

A PROPOSAL FOR TEACHING SEQUENCE ON SEMICONDUCTORS BASED ON THE PEDAGOGICAL MOMENTS OF ANGOTTI AND DELIZOICOV

Diego Rodrigues de Souza¹, Regina Célia Silva de Souza², Marcelo Castanheira da Silva³

¹Instituto Federal do Acre, Campus Cruzeiro do Sul, diego.souza@ifac.edu.br

²Instituto Federal do Acre, Campus Cruzeiro do Sul, regina.souza@ifac.edu.br

³Universidade Federal do Acre, Campus Rio Branco, mar.castanheira@yahoo.com.br

Com o intuito de inserir discussões sobre tópicos de Física Moderna e Contemporânea no terceiro ano do ensino médio, o trabalho que se descortinará à frente é uma sequência didática de dois encontros sobre semicondutores alicerçada na metodologia dos Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov e Angotti (1990): problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento. O momento de problematização inicial está ancorado no cenário da troca de lâmpadas convencionais por lâmpadas de diodo emissor de luz (LED) em espaços públicos de uma cidade brasileira, tendo em conta o impacto da diminuição do consumo de energia elétrica, algo que proporciona questões norteadoras que tocam as características, o modelo da física que ajuda a explicar o comportamento, os tipos possíveis e outras aplicações tecnológicas dos materiais semicondutores. No momento de organização do conhecimento, abordamos os seguintes conteúdos para tratar a situação-problema e responder a questionamentos propostos inicialmente: a classificação dos materiais sólidos quanto à condutividade, a história e as características básicas dos materiais semicondutores, o modelo de estrutura de bandas de energia, os semicondutores intrínsecos, extrínsecos dos tipos p e n e a junção PN, o comportamento fotoemissivo dos semicondutores e aplicações tecnológicas dos materiais semicondutores. No derradeiro momento da aula, o de aplicação do conhecimento, propomos uma discussão embasada cientificamente, em forma de revisão do conteúdo, dos questionamentos tomados como problematização inicial e a resolução de uma lista de exercícios de fixação.

PALAVRAS-CHAVE: Ensino de Física; Física Moderna e Contemporânea; Momentos pedagógicos; Materiais semicondutores.

In order to insert discussions on topics of Modern and Contemporary Physics in the third year of high school, the work that will be revealed ahead is a didactic sequence of two meetings on semiconductors based on the methodology of the Three Pedagogical Moments of Delizoicov and Angotti (1990): initial problematization, organization of knowledge and application of knowledge. The moment of initial problematization is anchored in the scenario of exchanging conventional lamps for light emitting diode (LED) lamps in public spaces in a Brazilian city, taking into account the impact of the decrease in electricity consumption, something that provides guiding questions that touch the characteristics, the physics model that helps explain the behavior, the possible types and other technological applications of semiconductor materials. At the time of knowledge organization, we address the following contents to address the problem situation and answer questions initially proposed: the classification of solid materials as to conductivity, the history and basic characteristics of semiconductor materials, the model of band structure of energy, the intrinsic, extrinsic semiconductors of types p and n and the PN junction, the photoemissive behavior of semiconductors and technological applications of semiconductor materials. At the last moment of the lesson, the application of knowledge, we propose a scientifically based discussion, in the form of content review, of the questions taken as the initial problematization and the resolution of a list of fixation exercises.

KEY-WORDS: Physics education; Modern and Contemporary Physics; Pedagogical moments; Semiconductor materials.

1. INTRODUÇÃO

Conforme afirmam Rodrigues et al. (2018) e Loch e Garcia (2009), diante das incontáveis modificações causadas pela ciência e pela tecnologia em nossa sociedade, tornou-se imprescindível uma discussão escolar sobre a Física estabelecida a partir do século XX, chamada de Física Moderna e Contemporânea (FMC). É possível constatar isto pela relevância de saber opinar, com argumentos científicos, sobre assuntos diversificados, tais como armas nucleares, energias sustentáveis e uso de radiação ou mesmo pela necessidade de se conhecer as raízes científicas de aparatos tecnológicos tão

comuns como o Sistema de Posicionamento Global (GPS), os celulares, os computadores modernos e outros (MACHADO e NARDI, 2006; OLIVEIRA et al., 2007; SOARES, 2009, p.7).

Mesmo que não cite nominalmente, dada a necessidade de se compreender o universo à nossa volta, a inserção de tópicos de FMC no ensino médio é almejada em documentos oficiais. Um exemplo disso é a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional que indica, no inciso IV do capítulo 35, ser uma finalidade do ensino médio “a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina” (BRASIL, 1996). Outro exemplo é quando a Base Nacional Comum Curricular toma as diretrizes um e três como competências de ciências da natureza e suas tecnologias:

1. Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global. 3. Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (BRASIL, 2018, p. 553).

Já no campo acadêmico, com críticas à concentração de conceitos, teorias e leis construídos entre 1600 e 1850 nos currículos de física do ensino médio, Terrazzan (1992) foi um dos primeiros brasileiros a propor a inserção de tópicos de FMC neste nível de ensino. Para ele e, posteriormente, outros autores, tal medida seria uma modernização do que integraria o conhecimento ao contexto histórico e social em que vivemos, algo que viabilizaria a conscientização de cidadãos sobre as mudanças que lhe são apresentadas e um suporte para a tomada de possíveis decisões de ordem individual e/ou coletiva em problemas atuais (RODRIGUES et al., 2018; OSTERMANN e MOREIRA, 2000; PEREIRA e OSTERMANN, 2009).

Dentre os diversos assuntos que dependem de FMC e que interferem em nossa sociedade, chamamos a atenção os fenômenos relacionados aos semicondutores, que têm vasta quantidade de aplicações tecnológicas e pouco destaque na física tratada no ensino básico, como fica demonstrado em sua baixa ou nenhuma alusão em livros didáticos do ensino médio (ALVES, 2017, p. 28; CORREIA et al., 2017). São exemplos de usos desta classe de materiais os dispositivos sensíveis à tensão elétrica, que incluem células fotoemissivas como o Diodo Emissor de Luz (LED), os dispositivos sensíveis à luz, que são os casos das células fotocondutivas, como o resistor dependente de luz e das células fotovoltaicas usadas em usinas solares, e os dispositivos que possibilitam a existência da microeletrônica, tais como diodos, transistores e circuitos integrados.

Assim, partindo dos pressupostos estabelecidos por documentos oficiais e pelo campo acadêmico de que há a necessidade de se tratar de FMC no ensino básico e da necessidade de se criar material sobre assuntos desse ramo da Física, direcionado a professores do ensino médio, construímos uma sequência didática com vistas à popularização e ao tratamento do tema semicondutores. Para tanto, utilizamos a metodologia de ensino dos Três Momentos Pedagógicos (3MP) para cuidar do conteúdo de ciência, desta classe de materiais, com base na problematização da troca de lâmpadas convencionais por lâmpadas LED em espaços públicos, tendo em conta o impacto da diminuição do consumo de energia elétrica.

Diante do que foi exposto no parágrafo anterior, haveria possibilidade de tratar de questões como a classificação dos materiais sólidos quanto à condutividade, a história e as características básicas dos

materiais semicondutores, o modelo de estrutura de bandas de energia, os semicondutores intrínsecos, extrínsecos dos tipos *p* e *n* e a junção PN, o comportamento fotoemissivo dos semicondutores e aplicações tecnológicas dos materiais semicondutores.

O principal intuito desse trabalho é a apresentação de uma sequência didática sobre semicondutores, utilizando os Três Momentos Pedagógicos (3MP), descrito na Fundamentação Teórica, para direcionar a criação de uma sequência de atividades que tratem o conteúdo de ciência deste tópico fundado na problematização da troca de lâmpadas convencionais por lâmpadas LED em espaços públicos, tendo em vista o impacto na diminuição do consumo de energia elétrica.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os Três Momentos Pedagógicos (3MP)

Segundo Albuquerque et al. (2015), o contorno dos 3MP foi desenvolvida por Demétrio Delizoicov e José André Peres Angotti, dois pesquisadores da área de ensino de Física, utilizando a ideia de investigação temática de Paulo Freire. Por se tratar de uma metodologia que preza pelo diálogo professor-aluno é comumente utilizada na elaboração de materiais didáticos, de currículos e sequências de aulas (ABREU et al., 2017).

Para qualquer das propostas de ensino supracitadas, a dinâmica didático-pedagógica dos 3MP é caracterizada por

Problematização Inicial: apresentam-se questões ou situações reais que os alunos conhecem e presenciam e que estão envolvidas nos temas. Nesse momento pedagógico, os alunos são desafiados a expor o que pensam sobre as situações, a fim de que o professor possa ir conhecendo o que eles pensam. Para os autores, a finalidade desse momento é propiciar um distanciamento crítico do aluno ao se defrontar com as interpretações das situações propostas para discussão e fazer com que ele sinta a necessidade da aquisição de outros conhecimentos que ainda não detém. **Organização do Conhecimento:** momento em que, sob a orientação do professor, os conhecimentos necessários para a compreensão dos temas e da problematização inicial são estudados; **Aplicação do Conhecimento:** momento que se destina a abordar sistematicamente o conhecimento incorporado pelo aluno, para analisar e interpretar tanto as situações iniciais que determinaram seu estudo quanto outras que, embora não estejam diretamente ligadas ao momento inicial, possam ser compreendidas pelo mesmo conhecimento (MUENCHEN E DELIZOICOV, 2012).

Albuquerque et al. (2015) e Abreu et al. (2015) ainda acrescentam: no primeiro momento pedagógico, é necessário que a exposição de questões e/ou situações cotidianas seja tornada problema, isto é, algo que faça o estudante demonstrar o conhecimento que tem acerca do tema gerador e o convença da necessidade de superar seus possíveis apontamentos ingênuos; no segundo momento pedagógico, o professor passa a ter um papel mais ativo, embora como mediador da construção de novos conhecimentos, de maneira que é nessa etapa que deve ocorrer a ruptura de conhecimento de senso comum a partir de conceitos, teorias e leis da ciência, proporcionando uma nova interpretação de mundo; no terceiro momento pedagógico, distinto da avaliação do aluno, o ideal é voltar às questões e/ou situações cotidianas problematizadoras para constatar se houve assimilação dos conhecimentos construídos no momento de organização do conhecimento, bem como fornecer novos gatilhos para o surgimento de possibilidades de interpretar a realidade com o conhecimento recém adquirido.

De um modo geral, Pierson (1997, p. 156 apud MUENCHEN e DELIZOICOV, 2012) assevera que os 3MP

devem se suceder no processo de ensino e aprendizagem: o primeiro momento de mergulho no real, o segundo caracterizado pela tentativa de apreender o conhecimento, já construído e sistematizado, relacionado a este real que se observa e o terceiro momento de volta ao real, agora de posse dos novos conhecimentos que permitam um novo patamar de olhar.

Diante disso, a proposta desse trabalho é apresentar uma sequência didática explorando o tema de semicondutores, fundamentada nos 3MP, de modo a gerar uma aprendizagem conceitual de Física para os alunos do ensino médio, refletindo na maneira como enxergam o mundo e em suas ações na sociedade.

3. METODOLOGIA

Como o objetivo deste trabalho é a apresentação de uma sequência didática sobre semicondutores, cujo conteúdo está localizado no apêndice B, firmada nos 3MP de Delizoicov e Angotti (1990). Nesse sentido, distinguimos um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas assentados nesta teoria para permitir aprendizagem. Vislumbramos uma situação de três aulas de 50 minutos, com a primeira aula individual e as duas outras conjuntas, que podem ser implementadas em sala de aula para alunos do 3º ano do ensino médio, já em fim de ano letivo, tendo em vista os conhecimentos prévios necessários para o pleno acompanhamento do tema.

4. A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Pelo fato de a aprendizagem dos alunos ser de interesse primordial, acreditamos que o tratamento ou revisão antecipada de conteúdos devem facilitar o processo da sequência didática. Dentre os conhecimentos prévios necessários, destacamos os seguintes: modelos atômicos, noções de química geral, corrente elétrica, tensão elétrica, resistência elétrica, potência elétrica e intensidade luminosa.

A seguir, expomos os assuntos, os objetivos, as estratégias didáticas, os recursos didático-pedagógicos e as avaliações que projetamos para uma virtual intervenção de dois encontros com uma e duas aulas de 50 minutos, respectivamente.

Primeiro encontro – Problematização inicial

O primeiro encontro prevê a realização de dois objetivos:

- 1º - realizar um levantamento de conhecimentos prévios dos alunos sobre materiais semicondutores;
- 2º - proporcionar dúvidas aos alunos acerca das características de materiais semicondutores.

Vamos propor, agora, a estratégia didática e apontar os recursos didático-pedagógicos que poderão ser utilizados.

- Expor, com auxílio de um projeto multimídia e dialogicamente, os assuntos presentes do apêndice A (Conceitos físicos sobre iluminação), disponível para *download*, para que entendam, minimamente, os conceitos de ângulo sólido, intensidade luminosa (unidade candela), fluxo radiante e fluxo luminoso (unidade lumens).

- Formar grupos de três ou quatro alunos.

- Apresentar aos alunos: lâmpadas fluorescentes, incandescentes e LEDs em suas respectivas caixas. No caso da impossibilidade de levar as caixas, aconselhamos o uso de imagens, tal como as expostas nas figuras 1, 2 e 3.



Lâmpada v Vela Lisa 127V 60W E27 Clara

Produto decorativo. Ideal para compor o design de lustres. Formato tradicional. Dimerizável.
Vida útil de até 1.000 horas

- Potência: 60W
- Bulbo: cristal
- Tensão: 127V
- Base: E27
- Fluxo luminoso: 550lm
- Eficiência luminosa: 9lm/W
- Temperatura de cor: 2800K
- *Marcas diversas

Figura 1 – Lâmpada incandescente de 60 W. Fonte: LojaElétricaLtda (2020b).



Lâmpada Fluorescente Eletrônica Espiral 14W 127V 2700K Luz Amarelada T3 GE

- Cor da luz: Amarela
- Fluxo luminoso: 820 lúmens
- Consumo total de energia: 14W
- Vida útil mediana: 6.000 horas
- Tensão: 127V
- Frequência: 60 Hz
- Corrente: 185 mA
- Equivalência lâmpada incandescente: 60W
- Eficiência luminosa: 59 lm/W
- Temperatura da cor: 2.700 K
- Distorção total de harmônicos: < 150%
- Base: E-27
- Tc: 40°C
- Ta: 0°C ~ 40°C
- Fator de energia: A
- Dimensões do Produto
- Altura: 11 cm
- Largura: 5 cm
- Profundidade: 5 cm

Figura 2 – Lâmpada fluorescente de 14 W. Fonte: LojaElétricaLtda (2020a).



Lâmpada LED A60 8W Bivolt E27 6500K Luz Branca Fria 806lm Ledvance

Lâmpada LED
 Bulbo A60
 Bivolt
 8W
 Base E27
 806lm de fluxo luminoso
 6500K - Luz Branca Fria
 25mil horas vida útil
 12x65cm
 Osram

Figura 3 – Lâmpada LED de 8 W. Fonte: LojaElétricaLtda (2020c).

- Solicitar aos alunos que anotem características como tensão elétrica de trabalho, potência elétrica, fluxo luminoso, horas de vida útil, eficiência luminosa etc. de cada tipo de lâmpada. Pedir aos alunos que façam um quadro com as informações requeridas acima para facilitar a comparação entre os tipos de lâmpadas. Sugerimos o modelo abaixo (quadro 1).

Quadro 1 – Informações obtidas das embalagens das lâmpadas.

Tipo de lâmpada	Incandescente	Fluorescente	LED
Tensão elétrica (V)			
Potência elétrica (W)			
Fluxo luminoso (lumens ou lm)			
Horas de vida útil			
Eficiência luminosa (lm/W)			
Outras ...			

- Proporcionar aos alunos a leitura do artigo “Prefeitura de Anápolis já instalou 5,5 mil lâmpadas de LED”, publicada pelo Jornal Estado de Goiás em 11 de junho 2019 (veja o Anexo A).

- Apontar o seguinte trecho do artigo acima para discussão: “[...] As lâmpadas LED duram 25 vezes mais que as incandescentes e proporcionam redução de até 40% no consumo de eletricidade. Isso, além de representar opção sustentável, pois quase não há necessidade de manutenção, diminui a utilização de água para a geração de energia”.

- Questionar:

1. Diante de características como tensão elétrica de trabalho, potência elétrica, intensidade luminosa etc. das lâmpadas fluorescente, incandescente e LED e do texto supracitado, a troca de lâmpadas fluorescentes e incandescentes por lâmpadas LED é razoável para uma cidade que deseja diminuir o consumo de energia elétrica?

2. A lâmpada LED é construída com material semicondutor. Quais as principais características desse tipo de material?

3. Quais os tipos possíveis de materiais semicondutores?

4. Quais outras aplicações tecnológicas dos materiais semicondutores?

- Solicitar que reflitam sobre as questões propostas e, posteriormente, socializem suas respostas.

- Anotar e arquivar os argumentos de cada grupo de alunos e as principais dúvidas acerca da problematização.

Por fim, se houver tempo restante de aula, solicitar aos alunos que, com uma pesquisa na internet, tentem responder às indagações supracitadas.

Avaliação: A avaliação de cada grupo de alunos deve ser estabelecida pelos critérios de empenho e participação durante a aula.

Segundo encontro – Organização do conhecimento e aplicação do conhecimento

Conteúdos de aula:

- A classificação dos materiais sólidos quanto à condutividade em condutores, semicondutores e isolantes.

- Uma breve história e características básicas dos materiais semicondutores.

- O modelo de estrutura de bandas de energia.

- Os tipos de semicondutores: semicondutores intrínsecos, extrínsecos dos tipos p e n e a junção PN.

- O comportamento fotoemissivo dos semicondutores e a lâmpadas LED.

- Aplicações tecnológicas dos materiais semicondutores.

Objetivos:

- Proporcionar a discussão de conteúdos necessários a uma compreensão científica das questões colocadas como problematização inicial.

- Oportunizar a sistematização de respostas cientificamente embasadas às questões pontuadas como problematização inicial.

- Favorecer a assimilação dos assuntos abordados durante a sequência didática com discussões, dinâmicas e/ou propostas de novos problemas.

Estratégia didática e recursos didático-pedagógicos:

- Para o momento pedagógico de organização do conhecimento, deve-se:

- Revisar as discussões que aconteceram na aula anterior, dando ênfase às questões levantadas.

- Solicitar aos alunos a socialização das respostas encontradas na *internet* às questões propostas.

- Indicar aos alunos que as respostas às questões suscitadas até o momento terão seus devidos aprofundamentos no decorrer do encontro.

- Expor, com auxílio de um projetor multimídia e dialogicamente, os seguintes assuntos:

+ A classificação dos materiais sólidos quanto à condutividade em condutores, semicondutores e isolantes, salientando informações da ordem de grandeza da condutividade elétrica para cada um desses materiais e seus respectivos comportamentos quando expostos a um campo elétrico externo.

+ A história e as características básicas dos materiais semicondutores, expondo a descoberta dessa classe de materiais, suas propriedades de retificação de corrente elétrica e sua sensibilidade à luz, à variação de temperatura, à introdução de impurezas e a tensões elétricas.

+ O modelo de estrutura de bandas de energia, explicando conceitos como bandas de valência e de condução, energia de Fermi, portadores de carga negativa (elétrons) e positiva (lacunas), energia do *gap* e demonstrando a sua validade para elucidar a condução de corrente elétrica em condutores e semicondutores.

+ Os semicondutores intrínsecos e os semicondutores extrínsecos dos tipos *p* e *n* e a junção do tipo PN, indicando exemplares e as características de cada tipo de semicondutor, assim como suas respectivas condutividades elétricas.

+ O comportamento fotoemissivo dos semicondutores, ilustrando os fenômenos de difusão e recombinação de elétrons e lacunas que ocorrem em uma junção do tipo PN, devido a uma tensão elétrica e a emissão de luz como produto de todo esse processo. Além disso, é necessário explicitar curiosidades acerca da construção das várias cores das lâmpadas LED e os benefícios de seu uso em detrimento de lâmpadas convencionais, tais como: economia de energia, maior vida útil, maior eficiência, baixa voltagem de operação, maior controle dinâmico de suas cores, possibilidade de acionamento instantâneo, maior controle de intensidade, cores vivas e sem filtros, menos danos ecológicos e não emissão de radiação infravermelha.

+ Aplicações tecnológicas dos materiais semicondutores, destacando exemplos advindos de células fotocondutivas, de células fotovoltaicas e de dispositivos como diodos, transistores e circuitos integrados.

Durante o desenvolvimento desse segundo momento pedagógico, indica-se que o professor utilize:

- O texto produzido pelos autores deste trabalho (apêndice B), disponível para *download*, para professores do ensino médio com base em um levantamento bibliográfico sobre semicondutores. Trata-se de um material introdutório, mas com informações objetivas que devem beneficiar o processo de ensino para uma aprendizagem ao dar direcionamento sobre as características, o modelo de estrutura de bandas de energia que explica a condução de corrente elétrica em sólidos, os tipos possíveis de semicondutores, o comportamento fotoemissor e uma de suas principais aplicações na forma de dispositivos tecnológicos, o LED, e aplicações tecnológicas.

- A simulação “Semicondutores” desenvolvida pelo *Phet Interactive Simulations* (PhET, 2020), repositório de objetos de aprendizagem criado pela Universidade do Colorado Boulder. A simulação favorece à visualização da estrutura molecular dos semicondutores, bem como a compreensão do semicondutor do tipo intrínseco, do processo de dopagem, dos semicondutores dos tipos *p* e *n* e da junção PN.

- Vídeos sobre semicondutores como os desenvolvidos pelo canal do YouTube “GV Ensino” (GV, 2014). Neste caso, além de servir como aparato didático, os vídeos podem ser tidos como fontes de inspiração no tratamento dos assuntos complexos tratados nessa sequência didática.

Para a realização do **terceiro momento pedagógico**, quer dizer, o momento de aplicação do conhecimento, cabe responder, em forma de revisão do conteúdo tratado em sala de aula, os questionamentos tomados como problematização inicial juntamente com os alunos. Nesse instante, uma alternativa é abrir o arquivo criado com explicações dadas pelos alunos às questões, no primeiro momento da sequência didática, e estabelecer saltos conceituais possíveis com o tratamento do conteúdo. Além disso,

é interessante propor aos alunos a resolução de uma lista de exercícios de fixação, se possível em forma de *Quiz*, assim como os selecionados no apêndice (B).

Avaliação: A avaliação individual dos alunos deve ser estabelecida pelos critérios de empenho, participação e realização das atividades propostas durante a aula.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da importância de se compreender o mundo a nossa volta e de conscientizar os cidadãos sobre as mudanças científico-tecnológicas que se colocam em nossa sociedade, desenvolvemos uma sequência didática sobre um tópico de FMC: os semicondutores. O trabalho teve como base a metodologia de ensino dos três momentos pedagógicos de Delizoicov e Angotti (1990), que é um grande instrumento de difusão de conhecimentos científicos, principalmente, de FMC no ensino médio, dada a necessidade de imersão em situação-problema do cotidiano.

A sequência didática foi planejada para ocorrer em dois encontros com uma e duas aulas de 50 minutos, respectivamente. Contudo, acreditamos na possibilidade de se personalizar por uma organização temporal distinta, desde que a estratégia didática prevalescente seja o diálogo entre professor e alunos na expectativa de facilitar a aprendizagem significativa.

Por fim, esperamos que essa proposta de ensino seja capaz de transformar o conteúdo de semicondutores em soluções práticas, algo que necessariamente estimule nossos alunos a reflexões sobre as raízes científicas de produtos tecnológicos e vá além da introdução asséptica de um conteúdo de física.

REFERÊNCIAS

- ABREU, J. B.; FERREIRA, D. T.; FREITAS, N. M. S. Os Três Momentos Pedagógicos como possibilidade para inovação didática. In: **XI ENPEC – Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. ISSN: 1809-5100, 2017.
- ALBUQUERQUE, K. B.; SANTOS, P. J. S.; FERREIRA, G. K. Os Três Momentos Pedagógicos como metodologia para o ensino de Óptica no Ensino Médio: o que é necessário para enxergarmos? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 32, n. 2, p. 461-482, mar. 2015.
- ALVES, A. G. **Materiais semicondutores: uma abordagem didática para o ensino médio**. Dissertação (Mestrado em ensino de física) - Programa de pós-graduação profissional em ensino de física da Universidade Federal de Lavras. Lavras, Minas Gerais, 2017.
- BOMFIM, D. D. S. A abordagem dos três momentos pedagógicos no estudo de velocidade escalar média. **Experiências em Ensino de Ciências**, v.13, n. 1, 2018.
- BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular: Ensino Médio**. Brasília: MEC/Secretaria de Educação Básica, 2018.

- BRASIL. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional**. Lei número 9394, 20 de dezembro de 1996.
- CALLISTER, W. D. J. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**, 7ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- CAMPANÁRIO, M. A.; DA SILVA, M. M.; COSTA, T. R. Política Industrial de Apoio ao Desenvolvimento da Indústria Brasileira de Semicondutores. **Revista de Ciências da Administração**, v. 11, n. 24, p. 69, 2009.
- CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C.; DE SOUZA, D. F.; MUZINATTI, J. Uma aula sobre o Efeito Fotoelétrico no desenvolvimento de competências e habilidades. **Física na Escola**, v. 3, n. 1, p. 24-29, 2002.
- CHIQUITO, A. J.; LANCIOTTI JR., F.; Transistores, 50 anos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 20, n. 4, Dezembro, 1998.
- CORREIA, E. S.; DANTAS, J. M.; ANDRADE, J. E. Considerações acerca dos conceitos de condutores, isolantes e semicondutores nos livros de Ensino Médio sob um olhar da teoria de bandas de energia. **Revista Scientia Plena**, v. 13, n. 1, 2017.
- DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. Metodologia do ensino de ciências. São Paulo: Cortez, 1990
- DELIZOICOV, D. **Problemas e problematizações**. In: PIETROCOLA, Maurício (org.). Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Florianópolis, UFSC, 2001.
- GV, Ensino. **Aula 1 - Semicondutores e Semicondutor Intrínseco**. 2014. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=snLCgz7W22Y&t=66s>>. Acesso em: 11 maio 2020.
- HORIGURI, A. M.; OLIVEIRA, I. Determinação da constante de Planck através de dispositivo emissor de luz (LED). **Revista Sinergia**, v. 9, n. 1, p. 43-48, jan. /jun. 2008
- LUKASIAK, L.; JAKUBOWSKI, A. History of Semiconductors, **Journal of Telecommunications and Information Technology** 1, 3 (2010).
- LOCH, J; DIAS GARCIA, N.M. Física Moderna E Contemporânea Na Sala De Aula Do Ensino Médio. In: **VII Enpec – Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. ISSN: 21766940, 2009.
- LOJAELETRICALTDA. **Lâmpada Fluorescente Eletrônica Espiral 14W 127V 2700K Luz Amarelada T3 GE**. 2020a. Disponível em: <<http://www.lojaeletrica.com.br/lampada-fluorescente-eletronica-espiral-14w-127v-2700k-luz-amarelada-t3-ge,product,2350600002910,dept,13002.aspx>>. Acesso em: 09 maio 2020.

- LOJAELETRICALTDA. **Lâmpada Incandescente Vela Lisa 127V 60W E27 Clara**. 2020b. Disponível em: <<http://www.lojaeletrica.com.br/lampada-incandescente-vela-lisa--127v-60w-e27-clara,product,2350403210079,dept,13004.aspx>>. Acesso em: 09 maio 2020.
- LOJAELETRICALTDA. **Lâmpada LED A60 8W Bivolt E27 6500K Luz Branca Fria 806lm Ledvance**. 2020c. Disponível em: <<http://www.lojaeletrica.com.br/lampada-led-a60-8w-bivolt-e27-6500k-luz-branca-fria-806lm-ledvance,product,2560102710507,dept,13008.aspx>>. Acesso em: 09 maio 2020.
- MACHADO, D. I.; NARDI, R. Construção de conceitos de física moderna e sobre a natureza da ciência com o suporte da hipermídia. **Revista Brasileira de Ensino Física**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 473-485, 2006.
- MUENCHEN, C.; DELIZOICOV, D. A construção de um processo didático-pedagógico dialógico: aspectos epistemológicos. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v.14, n. 03, p. 199-215, set-dez, 2012.
- NIGHTSEA. **Lumens and Lights for Fluorescence**. 2020. Disponível em: <<https://www.nightsea.com/articles/lumens-fluorescence-1/>>. Acesso em: 10 maio 2020.
- OLIVEIRA, F. F.; VIANNA, D. M.; GERBASSI, R. S. Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 3, p. 447-454, 2007.
- 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.
- 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, 2009.
- PhET, Interactive Simulations. **Semicondutores**. 2020. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/semiconductor>. Acesso em: 11 maio 2020.
- ROCKETT, A. **The materials science of semiconductors**. Springer Science & Business Media, 2007.
- RODRIGUES, E. S.; BEZERRA, D. O.; SOUZA, C. J. M. Análise das propostas de inserção de Física Moderna e Contemporânea e sua viabilidade de aplicação no ensino médio do sertão pernambucano. **C&D-Revista Eletrônica da FAINOR**, Vitória da Conquista, v.11, n.1, p. 144-173, jan/abr. 2018.
- SCHILLER, C. **MOTION MOUNTAIN - The Adventure of Physics – Vol. III – Light, Charges and Brains**. Germany: Creative Commons, 2018.
- SCOPACASA, V. A. Introdução à Tecnologia de LED. **Revista LA_PRO**, São Paulo, v. 1, p. 5-10, 2008.

SOARES, M. S. **Introdução de tópicos de física moderna e contemporânea no ensino médio por meio do estudo de ondas eletromagnéticas**. Dissertação (Mestrado em ensino de ciências) – Programa de pós-graduação em ensino de ciências da Universidade de Brasília. Brasília, 2009.

SPIE. **Solid Angle**. 2020. Disponível em: <https://spie.org/publications/fg11_p02_solid_angle?SSO=1>. Acesso: 10 maio 2020.

STAR, E. **Learn About Brightness**. 2020. Disponível em: <https://www.energystar.gov/products/lighting_fans/light_bulbs/learn_about_brightness>.

Acesso em: 09 maio 2020.

TERRAZZAN, Eduardo Adolfo. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de Física na escola de 2º grau. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 209-214, jan.

APÊNDICE A

CONCEITOS FÍSICOS SOBRE ILUMINAÇÃO

Observação: dispomos o conteúdo desse apêndice para acesso eletrônico. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1C9YbliNKOIz5OARRfIOPuhsMplXC0ORy/view?usp=sharing>

Nessa parte será abordado alguns conceitos importantes sobre iluminação que geralmente são pouco explorados na Física do ensino médio. O propósito é fornecer subsídios ao professor e alunos sobre esse tema.

Um requisito importante é o de ângulo sólido, que é essencial quando se trata de superfícies esféricas. O ângulo sólido (Ω) é definido pela área superficial de uma esfera (A) formada pelas linhas que se originaram de um vértice:

$$\Omega = \frac{A}{r^2}, \quad (1)$$

onde r é o raio da esfera, ilustrado na figura 1. A unidade de ângulo sólido é o esferorradiano (sr), se a área superficial for igual a área da esfera ($A = 4\pi r^2$), o ângulo sólido vale 4π esferorradianos ($\Omega = 4\pi$ sr).

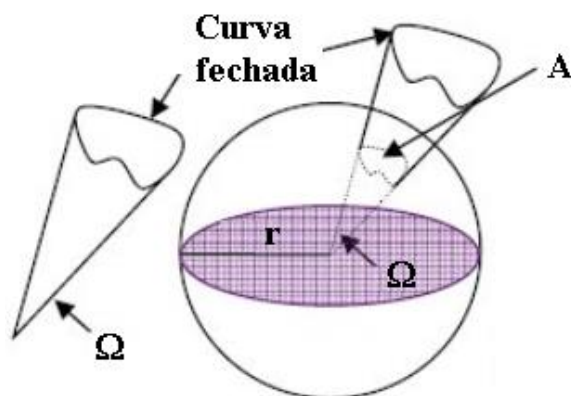


Figura 1 – Ilustração do ângulo sólido. Fonte: Adaptado de SPIE (2020).

Há uma diferença entre luz e claridade. A luz pode ser direcionada, tal como um feixe luminoso, ou ser difusa, enquanto o meio atingido poderá ser “claro” ou “escuro”. Para ajudar nessa distinção é útil definir a unidade candela (cd), pertencente ao Sistema Internacional de Unidades (SI):

Candela é a intensidade luminosa, numa dada direção, de uma fonte que emite radiação monocromática de frequência 540.10^{12} hertz e tem uma intensidade radiante numa direção de $(1/683)$ watt por esferorradiano (SCHILLER, 2018, p. 153).

Candela é a unidade da grandeza de potência luminosa por ângulo sólido, mais conhecida por intensidade luminosa, porém deve ser considerada a sensibilidade do olho humano, isto é, se relaciona somente a potência visível por ângulo sólido. Da frequência $f = 540.10^{12}$ Hz e do valor da velocidade da luz no vácuo ($c = 3,00.10^8$ m/s), se pode calcular o comprimento de onda correspondente $\lambda = 555$ nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9}$ m). Para isso foi usado a expressão abaixo:

$$c = \lambda f. \quad (2)$$

A figura 2 apresenta um gráfico da sensibilidade do olho humano frente ao espectro de luz visível, onde o pico se dá em 555 nm (verde). A definição de candela é baseada nesse gráfico, na qual 1,00 W de

luz, em 555 nm, gerará um brilho, ou claridade, de 683 lumens (lm). Isso foi feito por esse comprimento de onda ser o mais sensível ao brilho ao olho que qualquer outro.

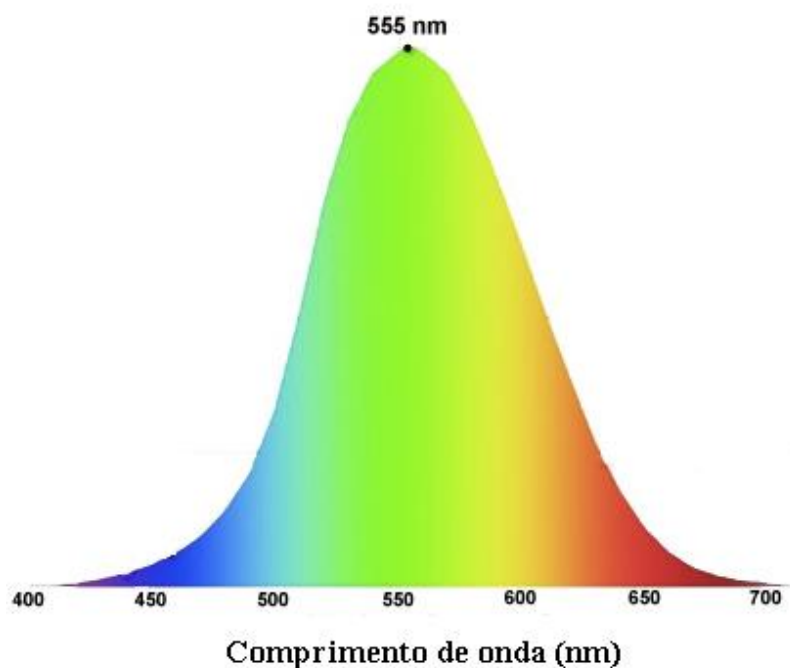


Figura 2 – Sensibilidade do olho humano: comprimento de onda (nm) em função dos lumens relativos. Fonte: Adaptado de NIGHTSEA (2020).

Pela definição de candela se observa que $1,00 \text{ cd} = 1,00 \text{ W} / 683 \text{ sr}$, no pico do gráfico da figura 2 ($\lambda = 555 \text{ nm}$) se atribuiu que $1,00 \text{ W}$ de luz produzia um brilho de 683 lumens, portanto $1,00 \text{ cd} = 683 \text{ lumens} / 683 \text{ sr} = 1,00 \text{ lumen} / \text{sr}$. Com isso é possível diferenciar dois tipos de potência (ou fluxo de energia). Quando medida em watts se trata da potência radiante, ou fluxo radiante, enquanto medida em lumens se trata da potência luminosa, ou fluxo luminoso. O último se refere apenas a parte visível e sensível do olho humano.

Uma vela emite uma intensidade luminosa em torno de 1 cd, podendo ser observada a distância de 10 a 20 quilômetros, a luz de um carro aproximadamente 100 cd e luz de um farol pode chegar a 2000 cd (SCHILLER, 2018). Uma lâmpada incandescente de 60 W pode emitir um fluxo luminoso de 550 lm, ao mesmo tempo que uma lâmpada LED de 8,0 W emite 806 lm (LOJAELETRICALTDA, 2020b; 2020c).

APÊNDICE B

OS SEMICONDUTORES¹

Observação: dispomos o conteúdo desse apêndice para acesso eletrônico. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/14HJgBiJ0v4nZk_cFVI6FlgzNDO_gjafm/view?usp=sharing

Em geral, conforme Callister (2008), os materiais sólidos possuem diversas propriedades que, geralmente, são agrupadas em mecânica, elétrica, térmica, magnética, ótica e deteriorativa. Ainda segundo o mesmo autor, baseado nessas propriedades e nas constituições química e atômica da matéria, esses mesmos materiais têm sido convenientemente classificados em metais, cerâmicas e polímeros, existindo outros grupos denominados materiais inteligentes, compósitos, nanomateriais, biomateriais e semicondutores.

Desse arranjo, os materiais semicondutores se mostram importantes como temas de pesquisa para aplicações tecnológicas (ROCKETT, 2007, p. 73-139; CAMPANÁRIO et al., 2009), pois possuem propriedades intermediárias de condução em relação aos condutores e aos isolantes elétricos. Além disso, os semicondutores são objeto de inúmeros trabalhos científicos por possuírem a flexibilidade de alterar sua condutividade em função de sua composição ou de uma ação externa. Por exemplo, tais materiais podem ter sua atividade elétrica facilmente controlada por tensões, por variações de temperatura, por incidência de radiação luminosa apropriada e pela introdução de impurezas.

Em conformidade com Łukasiak e Jakubowski (2010), o termo “semicondutor” foi usado primeiramente por Alessandro Volta (1745–1827), em 1782. No entanto, a primeira observação, mais tarde estudada por Johann Hittorf (1824–1914), foi documentada por Michael Faraday (1791 – 1867), em 1833, quando noticiou que a resistência do Sulfeto de Prata diminuía com a temperatura, enquanto o mesmo não acontecia com outros metais. Tais fatos foram ímpares para o, até então, recente estudo dos semicondutores, que, inicialmente, refletiu sobre duas propriedades importantes desses materiais: a retificação causada pela junção metal-semicondutor e a sensibilidade de semicondutores à luz (ŁUKASIAK e JAKUBOWSKI, 2010; CHIQUITO e LANCIOTTI JR., 1998).

A retificação foi observada de forma independente por Karl Ferdinand Braun (1850–1918) e por Arthur Schuster (1831–1934), em 1874, a partir de experimentos distintos. Entretanto, somente em 1929, Walter Schottky (1886 -1976) provou a existência de uma barreira de potencial em uma junção de metal-semicondutor (ŁUKASIAK e JAKUBOWSKI, 2010), o que possibilitou, na década de 1940, em razão da intensificação das pesquisas sobre semicondutores na segunda guerra mundial, a descoberta do efeito transistor por John Bardeen (1908–1991) e Walter Houser Brattain (1902–1987) (CHIQUITO e LANCIOTTI JR, 1998), laureados com o prêmio Nobel de Física em 1965.

Dentre avanços possíveis de se frisar, essa nova perspectiva proporcionou certa abertura e colaboração entre Física de semicondutores e construção de novos dispositivos, revolucionando os parâmetros de aplicação científica no desenvolvimento social (CHIQUITO e LANCIOTTI JÚNIOR, 1998). A título de exemplo, o estudo sobre materiais semicondutores foi imprescindível para a construção e aperfeiçoamento dos diversos tipos de diodos e transistores que existem no mercado de eletrônica e que

¹ Seção baseada, principalmente, em Callister (2008, p. 490-507) e em Silva (2010, p. 10-49).

facilitaram a substituição das válvulas por circuitos integrados, algo que oportunizou menor dimensão espacial e maior eficiência aos computadores modernos.

CONDUTIVIDADE EM MATERIAIS SÓLIDOS

Um traço importante dos materiais sólidos é a facilidade com que eles podem transmitir uma corrente elétrica. Uma quantidade física capaz de explicitar isso é a condutividade elétrica (σ), visto que ela especifica o caráter elétrico de um material e desempenha o papel de constante de proporcionalidade entre a medida de corrente elétrica (i) por unidade de área transversal (A), denominada densidade de corrente elétrica (\vec{J}) e calculada pela expressão $J = \frac{i}{A}$, quando um campo elétrico externo (\vec{E}) é aplicado, conforme a equação

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \tag{1}$$

em que a intensidade de \vec{J} é medido em A/m^2 , σ é medido em $(\Omega.m)^{-1}$ e a intensidade de \vec{E} é medido em V/m , segundo o Sistema Internacional de Unidades.

Por se estender por uma faixa de 27 ordens de grandeza (10^{27}) em materiais sólidos, a condutividade elétrica favorece classificar os materiais sólidos em três categorias: condutores, semicondutores e isolantes. A tabela 1 evidencia essa diferenciação.

Tabela 1: classificação de materiais sólidos a partir da condutividade elétrica.

	Condutor	Semicondutor	Isolante
Condutividade elétrica			
$(\Omega.m)^{-1}$	10^7	$10^{-6} - 10^4$	$10^{-10} - 10^{-20}$

Fonte: Callister (2008)

Nos condutores, um campo elétrico externo gera uma corrente elétrica por causa do movimento dos chamados elétrons livres, seus únicos portadores de carga. Os semicondutores e alguns isolantes, em contrapartida, se comportam de forma distinta: a corrente elétrica gerada por um campo elétrico externo se dá como se o material tivesse dois tipos de portadores de carga: os elétrons livres (carga negativa) e as lacunas (carga positiva). Isso pode ser confirmado pelo efeito Hall (HALLIDAY, RESNICK, WALKER, 2012, p. 195), técnica que permite determinar o sinal dos portadores de cargas num metal ou semicondutor.

Tais comportamentos peculiares de cada tipo de material sólido podem ser compreendidos com fundamentos em Mecânica Quântica. Por conseguinte, uma forma de entendê-los é por meio da teoria de bandas de energia, que auxilia na obtenção de bons resultados experimentais. Portanto, daqui em diante, apresentaremos e nos fiaremos nessa forma de interpretação física.

ESTRUTURA DE BANDAS DE ENERGIA EM SÓLIDOS

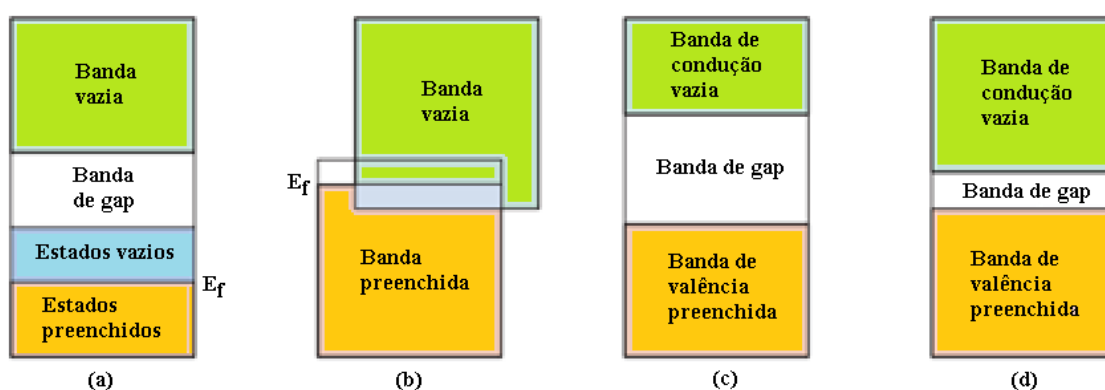
Um sólido possui um número grande de átomos que formam uma estrutura cristalina. Em distâncias relativamente grandes, os átomos se tornam independentes e passam a ter níveis de energia e configurações eletrônicas como se estivessem isolados. Porém, no arranjo cristalino, os átomos interagem com seus vizinhos e essa influência gera, em dada região do material, uma série de estados eletrônicos em comum, o

que denominamos banda de energia eletrônica, que tem sua extensão dependente da distância interatômica e possui estados de energia discretos.

A banda que possui elétrons de mais baixa energia, ou seja, elétrons de valência, é chamada de banda de valência. Já a banda que tem maior energia, virtualmente desocupada por elétrons, é chamada de banda de condução e é onde o movimento de portadores de carga se dá. O mais alto nível ocupado numa banda na temperatura do zero absoluto (0 K) é chamado de energia de Fermi.

As lacunas, entes teóricos com carga positiva, são os lugares deixados pelos elétrons e, conseqüentemente, se movimentam na banda de valência. Essas duas bandas possibilitam quatro estruturas tipificadas nos materiais condutores, semicondutores e isolantes, quando próximos de 0 K, como mostra a figura 1.

Figura 1: Estruturas de bandas de valência em sólidos próximos a 0 K. a) e b) estrutura de banda eletrônica em metais; c) estrutura de banda eletrônica em isolantes e d) estrutura de banda eletrônica em semicondutores.



Fonte: Adaptada de Callister (2008, p. 493).

As figuras 1-a e 1-b se referem aos metais e nos permitem constatar que eles têm grande facilidade de condução porque a banda de valência está sobreposta, adjacente ou pouco acima da banda de condução, o que facilita os elétrons mudarem de banda. Nas figuras 1-c e 1-d, os estados na banda de valência estão completamente preenchidos por elétrons, mas não existe nenhuma proximidade com a banda de condução, isto é, existe um espaço na banda de energia que é batizada de banda de *gap*, característico de cada material semicondutor ou isolante, que dificulta os elétrons mudarem de banda. Essa região proibida requer, para a livre movimentação dos elétrons, uma quantidade de energia externa chamada de energia do *gap* (E_g), que é dependente do tipo de arranjo cristalino de cada material sólido.

Haja visto que as ligações interatômicas são fortemente covalentes nos isolantes, podemos dizer que sua E_g é relativamente grande, enquanto o mesmo não acontece para semicondutores, já que suas ligações são predominantemente covalentes e estas, por acontecerem devido ao compartilhamento de elétrons entre átomos, são frágeis e facilmente quebráveis.

A SEMICONDUTIVIDADE

Comumente a energia do *gap* necessária para quebrar as ligações covalentes em um semicondutor é proveniente de diferenças de potencial elétrico, trocas de calor ou de radiação eletromagnética do meio ambiente com o material. Com essas rupturas, elétrons passam a se deslocar para a banda de condução e

deixam lacunas na banda de valência que acabam cumprindo a atribuição teórica de portadores de carga positiva e criando uma associação especial nos semicondutores: o par elétron-lacuna.

A quantidade dessas entidades físicas e as propriedades elétricas mudam com a composição do material. Se puro, o semiconductor é dito intrínseco e, a temperaturas baixas, se comporta como um bom isolante; em temperaturas intermediárias e mais altas, tem o potencial de conduzir corrente elétrica. Caso impuro, ou seja, se contém átomos de impurezas acrescentados em um processo denominado dopagem, então o material pode ser chamado de extrínseco e tem como principal atrativo a possibilidade de controle de correntes elétricas.

Cabe destacar que esse último tipo é produzido com materiais inicialmente puros, apesar de ser grande o número de portadores de cargas após a dopagem e os fatores externos, especificamente se aplicada uma tensão elétrica, um aumento de temperatura e/ou incidência de radiação eletromagnética de determinada frequência.

A SEMICONDUÇÃO INTRÍNSECA

São exemplos de semicondutores intrínsecos o Silício (Si), o Germânio (Ge), o Arsenieto de Gálio (GaAs), o Antimonieto de Índio (InSb), o Sulfeto de Cádmi (CdS) e o Telureto de Zinco (ZnTe). Neles, a banda proibida é geralmente menor que 2 eV (1 eV = 1,60 x 10⁻¹⁹ J). Por exemplo, no Si e Ge são, respectivamente, 0,7 eV e 1,1 eV.

A condutividade tem contribuição dos dois portadores de carga, como mostra a equação

$$\sigma = n|e|\mu_e + p|e|\mu_h \tag{2}$$

em que *n* é o número de elétrons livres por unidade de volume, *|e|* é a magnitude da carga elementar (*|e|* = 1,6.10⁻¹⁹ C), *μ_e* é a constante de mobilidade do elétron, *p* é o número de lacunas por unidade de volume e *μ_h* é a constante de mobilidade da lacuna.

Nos semicondutores intrínsecos, *n* = *p*. Então, podemos dizer que

$$\sigma = n|e|(\mu_e + \mu_h) \tag{3}$$

A tabela 2, mostrada a seguir, aponta valores da banda de *gap*, condutividade elétrica e mobilidades de elétrons e lacunas para os semicondutores do tipo intrínseco supracitados.

Tabela 2: Alguns materiais semicondutores intrínsecos, suas energias de *gap* e condutividades elétricas.

Material	Banda de Gap (eV)	Condutividade elétrica (Ω . m) ⁻¹	Mobilidade de elétrons $\frac{m^2}{V.s}$	Mobilidade de lacunas $\frac{m^2}{V.s}$
Si	1,11	4 . 10 ⁻⁴	0,14	0,05
Ge	0,67	2,2	0,38	0,18
GaAS	1,42	10 ⁻⁶	085	0,04
InSb	0,17	2 . 10 ⁴	7,7	0,07
CdS	2,40	—	0,03	-

ZnTe	2,26	—	0,03	0,01
------	------	---	------	------

Fonte: Callister (2008, p. 680).

A SEMICONDUÇÃO EXTRÍNSECA

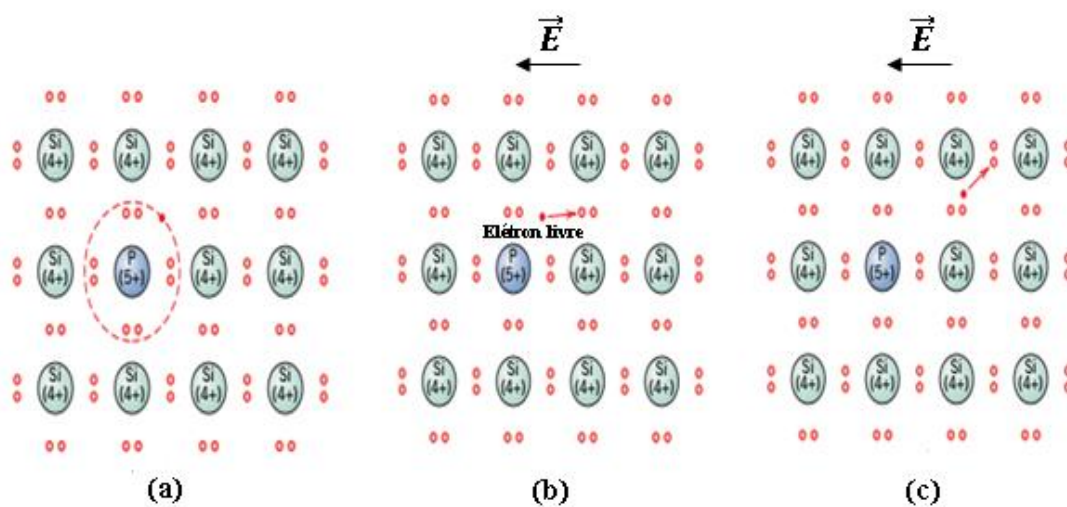
O comportamento de semicondutores extrínsecos é determinado por impurezas. Ainda que em concentrações reduzidas, átomos pentavalentes ou trivalentes inseridos em redes cristalinas de materiais semicondutores criam elétrons livres ou lacunas que formam, respectivamente, os semicondutores extrínsecos do tipo n e do tipo p .

A SEMICONDUÇÃO EXTRÍNSECA DO TIPO n

Em geral, para a produção de semicondutores extrínsecos do tipo n , ocorre a dopagem de cristais semicondutores puros com átomos de Arsênio (As), Antimônio (Sb) e Fósforo (P) para que seja maior a quantidade de elétrons na banda de condução e ele passe a conduzir corrente elétrica ao invés de isolá-la, como acontece naturalmente em temperaturas baixas ou na ausência de outros agentes externos. Assim se realiza esse processo, pois os átomos dos semicondutores puros interagem entre si e atingem a estabilidade com seus vizinhos de jeito que cada átomo do cristal passa a ter oito elétrons em sua camada de valência e, em vista disso, alcança sua estabilidade.

No entanto, quando incluídos átomos de impurezas pentavalentes, estes se ligam a outros átomos dos semicondutores, mas deixam um elétron que pode se movimentar para além de sua posição inicial. Por exemplo, a figura 2 demonstra a inserção de um átomo de P em um cristal puro de Si e seu posterior comportamento, diante de um campo elétrico externo.

Figura 2: modelo de semicondução extrínseca do tipo n . a) Um átomo de P é incorporado a uma rede cristalina de Si e traz como resultado um elétron de valência. b) A excitação consegue formar elétrons livres e c) um campo elétrico \vec{E} dá origem ao movimento deles no cristal.



Fonte: Adaptada de Callister (2008).

Embora aumente o número de elétrons na banda de condução, as impurezas causam uma diminuição nas lacunas, pois também oportunizam mais transições da banda de condução para a banda de valência.

Deste jeito, em semicondutores extrínsecos do tipo n , a condutividade passa a ser consequência, quase exclusiva, do número de elétrons na banda de condução.

Sendo assim, é válido afirmar que a equação que descreve a condutividade elétrica em semicondutores extrínsecos do tipo n é

$$\sigma \cong n|e|\mu_e \quad (4)$$

Por fim, é preciso salientar que tensão elétrica, energia térmica ou radiação eletromagnética com certa frequência são suficientes para excitar elétrons a partir de estados doadores nesse tipo de semicondutores.

SEMICONDUÇÃO EXTRÍNSECA DO TIPO p

No caso da produção de semicondutores extrínsecos do tipo p , a dopagem normalmente acontece com átomos de Alumínio (Al), Boro (B) e Gálio (Ga). Essas impurezas são chamadas de aceitadoras, visto que produzem lacunas na banda de valência pelo fato de que cada uma das ligações covalentes existentes no material tem em falta um elétron. Nessa situação, um elétron e uma lacuna trocam de lugar e, em decorrência disso, em um estado excitado chamado de aceitador, tem-se corrente elétrica gerada na banda de valência. Trata-se, dessa forma, de um processo parecido com aquele apresentado na figura 2, mas com a ocorrência de uma lacuna na banda de valência ao contrário de um elétron livre.

Nessa forma de semicondutor extrínseco, a concentração de lacunas é maior que a de elétrons, de maneira que a condução é essencialmente feita por partículas teoricamente positivas. Portanto, para semicondutores extrínsecos do tipo p , é verdade que

$$\sigma \cong p|e|\mu_e \quad (5)$$

e o nível de Fermi ocupado mais energético está posicionado perto do nível aceitador.

A LUZ E OS SEMICONDUTORES

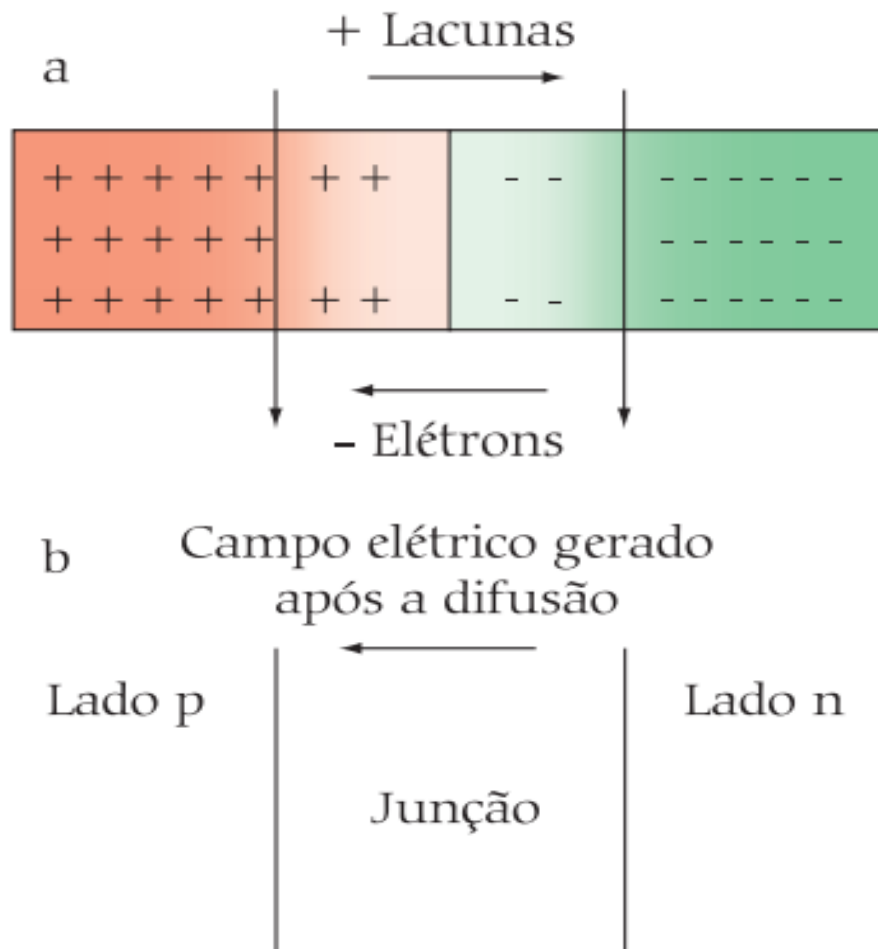
Os materiais semicondutores podem ter um comportamento fotoemissivo diante de uma tensão elétrica ou fotossensível em função da presença de luz externa. Essas características são manifestas em pelo menos três fenômenos que envolvem luz: efeito fotoemissivo, efeito fotocondutivo e efeito fotovoltaico.

Visando explorar o primeiro, pretendemos discuti-lo e, posteriormente, citar uma de suas respectivas aplicações na forma de dispositivos tecnológicos.

O EFEITO FOTOEMISSIVO EM SEMICONDUTORES

Segundo Cavalcante *et al.* (2002), quando um semicondutor do tipo p e outro do tipo n são colocados em contato e formam uma junção do tipo PN , elétrons da região n e lacunas da região p podem se difundir e se recombinar. Se isso acontecer, o lado p fica mais negativo em uma das extremidades da junção e o lado n fica mais positivo na outra, ambos com relação à parte interna do semicondutor, como é possível ver na ilustração da figura 3a.

Figura 3: ilustração de uma junção de semicondutores do tipo p e do tipo n. a) Quando colocados em contato, há a difusão e a recombinação de portadores de carga. b) Isso causa o surgimento de um campo elétrico interno no material.



Fonte: Cavalcante et al. (2002).

Ainda de acordo com Cavalcante *et al.* (2002) e, também, Horiguri e Oliveira (2008), o deslocamento desses portadores de carga elétrica cria um campo elétrico que funciona como uma barreira ao movimento dos mesmos, como podemos notar na figura 3b. Se aplicado um campo elétrico externo no sentido do campo elétrico da junção, então se origina uma pequena corrente elétrica denominada corrente térmica. Contudo, caso a aplicação do campo elétrico externo seja no sentido oposto ao da junção, devido ao deslocamento de portadores majoritários, é criada uma corrente elétrica maior e proporcional a esse campo (CAVALCANTE *et al.*, 2002; ROCKETT, 2007, p. 123).

Dada a ocorrência da segunda situação, dizemos que a junção polariza diretamente e, como resultado, tanto os elétrons quanto as lacunas são empurrados para seu centro. Por isso, conforme Cavalcante *et al.* (2002) e Horiguri e Oliveira (2008), há recombinação de muitos elétrons com muitas lacunas e perspectiva de emissão de luz como produto de todo o processo, ou seja, um fóton com energia $h\nu$ deve ser emitido a partir de um limiar de tensão, assim como mostra a equação

$$h\nu = eV_0 \quad (7)$$

em que h é a constante de Planck, de medida igual a $6,63 \times 10^{-34}$ J.s ou $4,14 \times 10^{-15}$ eV.s, ν é a frequência do fóton emitido e V_0 é uma tensão de corte para o qual a junção PN começa a emitir luz.

A cor da luz, com frequência bastante definida, é fruto da natureza do material e seu grau de impureza (HORIGURI e OLIVEIRA, 2008).

Um dispositivo baseado em uma junção PN capaz de realizar a tarefa de retificar circuitos eletrônicos (nesse caso, a corrente elétrica flui em sentido único, possibilitando a retificação de sinais senoidais, presentes na corrente alternada) e, ao mesmo tempo, transformar energia elétrica em luz é o LED (SCOPACASA, 2008). Os LEDs são muito utilizados em locais e instrumentos em que é interessante a substituição de lâmpadas convencionais, uma vez que são muitos os seus benefícios, tais como: economia de energia, maior vida útil, maior eficiência, baixa voltagem de operação, maior controle dinâmico de suas cores, possibilidade de acionamento instantâneo, maior controle de intensidade, cores vivas e sem filtros, menos danos ecológicos e não emissão de radiação infravermelha (SCOPACASA, 2008). É possível empregá-los em semáforos, em painéis luminosos, em cortinas luminosas, pistas de LED, postes de iluminação pública etc.

Em conformidade com Scopacasa (2008), o LED de cor vermelha, com baixa intensidade, foi concebido por Nick Holonyac (1928 -), em 1963. Já o LED de cor amarela e outro de cor próxima ao verde, também com baixa intensidade, foram produzidos no final da década de 1960 e em 1975, respectivamente. Apenas recentemente, os LEDs atingiram níveis de luminosidade que permitiram a consecutiva substituição de lâmpadas tradicionais, de início na indústria automotiva (SCOPACASA, 2008).

Em meio às crescentes pesquisas então realizadas, a contar do início dos anos 1990, os LEDs com frequências específicas das cores azul, verde e ciano foram criados, algo que permitiu a produção do LED branco, que satisfaz o espectro de todas as outras cores. Inclusive, em 2014, os japoneses Isamu Akasaki, Hiroshi Amano e Shuji Nakamura foram agraciados com o prêmio Nobel de Física pela invenção do LED azul, importante peça para a constituição de fontes de luz branca brilhantes e eficientes.

ANEXO A

PREFEITURA DE ANÁPOLIS JÁ INSTALOU 5,5 MIL LÂMPADAS DE LED

A nova iluminação também garante mais segurança para os anapolinos

Fonte: Prefeitura Municipal de Anápolis. Foto: Renato Lopes – Dircom. Disponível em: <<https://www.jornalestadodegoias.com.br/2019/06/11/prefeitura-de-anapolis-ja-instalou-55-mil-lampadas-de-led/>>. Acesso em: 24 abril 2020.

Mais economia e segurança para a população. Essa é a proposta da Prefeitura de Anápolis ao substituir as lâmpadas incandescentes do município por LED (Light Emitting Diode). Desde que o serviço começou a ser executado, há um ano, 5,5 mil postes receberam a nova iluminação em 30 pontos da cidade – entre bairros, avenidas e praças. Neste momento, a equipe está realizando a troca na Avenida Presidente Kennedy.

Adeilton Pereira é dono de um sacolão próximo à Praça dos Romeiros, que costuma ser fechado já no início da noite, o que era perigoso. Mas agora, ele conta com uma nova iluminação em frente ao seu estabelecimento. “Essa lâmpada é visivelmente mais clara. Além de valorizar a região, garante a nossa segurança”, disse o comerciante.

A mudança, um compromisso de campanha do prefeito Roberto Naves, significa mais economia no bolso da população, já que no prazo de três anos terá reflexo direto na diminuição da Contribuição de Iluminação Pública (CIP). As lâmpadas LED duram 25 vezes mais que as incandescentes e proporcionam redução de até 40% no consumo de eletricidade. Isso, além de representar opção sustentável, pois quase não há necessidade de manutenção, diminui a utilização de água para a geração de energia.

A segurança também é um fator importante, levado em consideração pelo prefeito Roberto Naves quando pensou em fazer a troca. “A luminosidade dela é muito maior, agora as vias estão bem mais claras”, garante o secretário municipal de Obras e Serviços Urbanos, Francisco Lacerda. Nas avenidas estão sendo instaladas lâmpadas de 168 watts e nas demais ruas, de 50 watts.

ANEXO B**LISTA DE EXERCÍCIOS**

Fonte: Professor João Luiz Cesarino Ferreira. Disponível em:
<<http://files.joaoluizcf.webnode.com/200000034-4299043962/Exercicios%20-%20Semicondutores.pdf>>. Acesso em: 24 abril 2020.

1. Cada elétron de valência num semicondutor intrínseco estabelece?
 - a) Uma ligação covalente.
 - b) Um elétron livre.
 - c) Uma lacuna.
 - d) Uma recombinação.

2. Como é denominada a fusão de um elétron livre com uma lacuna?
 - a) Ligação covalente.
 - b) Tempo de vida.
 - c) Recombinação.
 - d) Energia térmica.

3. O elétron de valência de um condutor é chamado também?
 - a) Elétron de ligação.
 - b) Elétron livre.
 - c) Núcleo.
 - d) Próton.

4. Num semicondutor intrínseco, o número de elétrons livres deve ser?
 - a) Igual ao número de lacunas.
 - b) Maior que o número de lacunas.
 - c) Menor que o número de lacunas.
 - d) Independente do número de lacunas.

5. Qual dos seguintes itens não se relaciona com os outros três?
 - a) Semicondutor.
 - b) Condutor.
 - c) Quatro elétrons de valência.
 - d) Estrutura cristalina.

6. Para produzir um semicondutor tipo P, o que você usaria?
 - a) Átomos receptores.
 - b) Átomos doadores.
 - c) Impurezas pentavalentes.

- d) Silício.
7. Em que tipo de semicondutor as lacunas são portadores minoritários?
- Intrínseco
 - Extrínseco de qualquer tipo.
 - Tipo n
 - Tipo p
8. Na temperatura de zero absoluto um semicondutor intrínseco:
- Tem alguns elétrons livres.
 - Tem muitas lacunas.
 - Tem muitos elétrons livres.
 - Não tem lacunas nem elétrons livres.
9. Qual afirmativa a seguir caracteriza um semicondutor do tipo P?
- Cristal com impurezas pentavalentes.
 - Os portadores minoritários são as lacunas.
 - Átomos doadores foram adicionados ao cristal.
 - Os portadores majoritários são os elétrons livres.
 - Dopado com átomos receptores.
10. As lacunas agem como?
- Átomos
 - Cristais
 - Cargas negativas
 - Cargas positivas
11. Qual dos seguintes descreve um semicondutor tipo n?
- Neutro.
 - Carregado positivamente.
 - Carregado negativamente.
 - Possui muitas lacunas.
12. Qual dos seguintes descreve um semicondutor tipo p?
- Neutro.
 - Carregado positivamente.
 - Carregado negativamente.
 - Possui muitos elétrons livres.

GABARITO

Questão	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Resposta	A	C	A	A	B	A	C	D	E	D	C	B