



Physics of semiconductor materials in high school: possibilities and challenges

Física dos materiais semicondutores no ensino médio: possibilidades e desafios

SIQUEIRA, Kleber Saldanha de⁽¹⁾

⁽¹⁾ [0000-0003-2067-243X](https://orcid.org/0000-0003-2067-243X); Doutorando em ensino pela Universidade Federal de Alagoas. Maceió, AL, Brasil. Email: kleber.siqueira@cedu.ufal.br

O conteúdo expresso neste artigo é de inteira responsabilidade dos/as seus/as autores/as.

INFORMAÇÕES DO ARTIGO

Histórico do Artigo:

Submetido: 02/12/2022

Aprovado: 13/02/2023

Publicação: 10/04/2023



Keywords:

Electronics,
Physics Teaching,
Curriculum,
Science education.

Palavras-Chave:

Eletrônica,
Ensino de Física,
Currículo,
Educação científica.

ABSTRACT

The teaching of Science in High School prioritizes the substantive formation of subjects capable of understanding natural phenomena from laws, concepts and precise theoretical formulations. This appropriation of knowledge depends, in addition to the didactic aspects of teaching, on a modern curriculum, which prioritizes the technological advances produced by the different fields of science, contributing to the scientific training of students. Given this context, this article aims to discuss the importance and pedagogical possibilities of teaching the Physics of semiconductor materials in high school, considering the technological impact of these materials on modern society. To this end, a qualitative bibliographical study will be carried out, bringing together scientific works published in the last two decades that emphasize the need for a curriculum focused on the Physics of the so-called 'active' components, represented mainly by the semiconductor diode and the transistor, completing the exposition of the study of the Electrodynamics in High School. From the reflections of this work, we prove the need to include the study of these materials for the understanding of the main technologies present in the daily life of the digital society, making their users critical-reflective subjects of these resources, understanding their genesis, functionality, technical applicability, scope and evolution.

RESUMO

O ensino das Ciências no Ensino Médio prioriza a formação substantiva de sujeitos capazes de compreender os fenômenos naturais a partir de leis, conceitos e formulações teóricas precisas. Esta apropriação do conhecimento depende, além dos aspectos didáticos de ensino, de um currículo moderno, que priorize os avanços tecnológicos produzidos pelos diferentes campos da ciência, contribuindo para a formação científica dos estudantes. Diante deste contexto, este artigo tem por objetivo discutir a importância e as possibilidades pedagógicas do ensino da Física dos materiais semicondutores no Ensino Médio, considerando o impacto tecnológico destes materiais na sociedade moderna. Para tal, será realizado um estudo bibliográfico qualitativo reunindo trabalhos científicos publicados nas duas últimas décadas que ressaltam a necessidade de um currículo voltado para a Física dos chamados componentes 'ativos', representados majoritariamente pelo diodo semicondutor e pelo transistor, completando a exposição do estudo da eletrodinâmica no Ensino Médio. A partir das reflexões deste trabalho comprovamos a necessidade de incluir o estudo destes materiais para a compreensão das principais tecnologias presentes no dia a dia da sociedade digital, tornando seus usuários sujeitos crítico-reflexivos destes recursos, compreendendo sua gênese, funcionalidade, aplicabilidade técnica, alcance e evolução.

Introdução

Uma das funções da Física como ciência é explicar a dinâmica dos processos e fenômenos naturais que governam o universo e nosso cotidiano, permitindo dimensionar, prever e utilizar tal conhecimento no campo tecnológico, viabilizando técnicas e processos úteis para o ser humano (Young & Freedman, 2006). Assim, é indubitável que a educação voltada para os aspectos técnico-científicos representa importante tema de discussão curricular para a formação de indivíduos capazes e instruídos cientificamente (Aguilar & Passos, 2014). Fortalecendo este ponto de vista, o surgimento das tecnologias digitais e sua massificação na sociedade demanda cada vez mais iniciativas no campo do Ensino das Ciências que promovam a educação para a tecnologia, com vias à formação de cidadãos instrumentalizados a compreender o mundo que os cerca, tornando-os usuários ativos e transformadores destes recursos digitais.

Representando importante elemento na moderna cruzada tecnológica, os materiais semicondutores vêm impactando a sociedade desde meados da década de 1940, quando do surgimento dos primeiros dispositivos eletrônicos de estado sólido comercializáveis, que vieram com a missão de substituir as populares válvulas eletrônicas, utilizadas na construção de aparelhos e sistemas eletrônicos na primeira metade do século XX (Boylestad & Nashelsky, 2013). Nesse cenário, o diodo semicondutor de junção, é um dos mais importantes dispositivos eletrônicos já desenvolvidos, agregando os mais complexos avanços da Física do estado sólido até então, permitindo a redução drástica do tamanho dos equipamentos eletrônicos, a eficiência destes equipamentos, o surgimento da eletrônica digital e a revolução da Engenharia Eletrônica (Horowitz & Hill, 1998).

Com as possibilidades tecnológicas advindas do diodo e com os avanços ininterruptos da Física, outro componente semicondutor de grande relevância, o transistor, desenvolvido pelos Laboratórios Bell, nos EUA, transformou de forma definitiva o campo da eletrônica (Horowitz & Hill, 1998). Com suas propriedades, o transistor solucionou diversos problemas que afligiam os projetistas de circuitos até então, como a construção de circuitos de amplificação de sinais mais compactos (eram usadas válvulas eletrônicas robustas para esta finalidade), a construção de circuitos chaveados, portas lógicas e outros avanços que possibilitaram o surgimento de importantes tecnologias (Stupelman & Filaretov, 1976). Assim, o estudo destes materiais no Ensino Médio permite compreender o desenvolvimento da sociedade em torno da tecnologia e seus imperativos, ao mesmo tempo preparar os estudantes deste nível de ensino a entender a fenomenologia física dos materiais semicondutores.

Dessa forma, neste trabalho serão discutidas as possibilidades pedagógicas de ensino voltadas para o estudo dos materiais semicondutores no 3º ano do Ensino Médio, destacando sua importância na educação científica emancipatória dos estudantes, diante do que

preconizam a BNCC e os PCN. Para tal, será realizado um estudo bibliográfico qualitativo por meio de trabalhos publicados na última década disponíveis nos principais portais de acesso aberto, como também repositórios de trabalhos acadêmicos oriundos de programas de Pós-Graduação de Universidades e Institutos Federais. Este artigo está dividido em seis seções, a primeira diz respeito à introdução, que resgata as motivações, importância e estrutura desta pesquisa. A segunda seção discorre sobre o processo metodológico, trazendo à baila suas características e importância no contexto desta obra, enfatizando como a pesquisa bibliográfica qualitativa é importante para a delimitação e estudo de fenômenos já conhecidos e como esta possibilidade pode ser usada na compreensão de cenários com características semelhantes.

A terceira seção apresenta os materiais semicondutores como objetos de estudo, seu aperfeiçoamento ao longo da história e principais rupturas tecnológicas causadas pelo seu desenvolvimento e aplicabilidade na indústria. Serão apresentados o diodo clássico e o transistor, como também as características eletrodinâmicas que o tornam singulares, com relação aos demais componentes eletrônicos explorados na literatura do Ensino Médio. Na quarta seção, apresentamos os elementos teóricos que embasam nosso pensamento, recorrendo às diversas bases bibliográficas reunidas neste trabalho, permitindo fundamentar os vários elementos que potencializam o ensino da Física dos materiais semicondutores. Serão discutidos os diversos recursos voltados para este fim, possibilitando ao leitor direcionar de forma adequada qual deles é apropriado para os objetivos de ensino.

A quinta seção apresenta os resultados e conclusões derivadas das discussões e reflexões produzidas nas seções anteriores. É importante frisar que, diante da expressiva variedade de técnicas e produtos educacionais hoje desenvolvidos no campo acadêmico voltados para o ensino da Física, este artigo não pretende esgotar este universo de possibilidades, sendo discutidos aqui os caminhos e propostas didáticas mais comuns na literatura com potencial pedagógico para o ensino dos semicondutores.

Percurso metodológico

A pesquisa acadêmica apoia-se em métodos sistemáticos de coleta e validação de dados, levando à construção do conhecimento. Para cumprir essa tarefa, o pesquisador deve mapear de forma adequada o fenômeno ou problema a ser investigado, permitindo a escolha assertiva das técnicas e metodologia pertinente. Como destacado na introdução, a pesquisa bibliográfica narrativa constitui o método central de análise e discussão do problema didático de ensinar a Física dos semicondutores no Ensino Médio. Dessa forma, a análise crítico-reflexiva construída neste artigo é fundamentada nos resultados de pesquisas disponíveis nos principais repositórios acadêmicos de acesso livre (*SciELO*, Periódicos CAPES, *Google Scholar*, *Web of Science*) e periódicos especializados, incluindo trabalhos oriundos de pesquisas realizadas por

programas de pós-graduação de Universidades e Institutos Federais, todos publicados na última década.

Nesse contexto, a pesquisa bibliográfica de cunho narrativo, tem por objetivo, adensar discussões ou explicar cenários subjetivos importantes, principalmente no escopo teórico das Ciências Sociais, incluindo neste universo os processos educativos. Tal abordagem constituiu-se em importante método qualitativo de embasamento teórico. Para Gil (2002), citado por, Batista e Cumada (2021) a pesquisa bibliográfica narrativa vai além de uma simples fundamentação teórica, transpondo tal perspectiva, uma vez que procura reunir trabalhos acadêmicos relevantes, de forma refinada e densa, objetivando a explicação ou defesa de determinada tese importante para a explicação de certo fenômeno. Ao mesmo tempo, corroboramos com Souza, Oliveira e Alves (2021, p. 65) os quais afirmam que “ pesquisa bibliográfica está inserida principalmente no meio acadêmico e tem a finalidade de aprimoramento e atualização do conhecimento, através de uma investigação científica de obras já publicadas”.

Para Dorsa (2020) o estudo bibliográfico pode ser comparado a um fio condutor na gênese de projetos de pesquisa, teses, dissertações, ou artigos, sendo este método o elemento basilar que deve guiar a leitura dos pesquisadores, levando-os das hipóteses aos resultados. Da mesma forma, alinhamos nosso pensamento com Galvão e Ricarte (2020) acerca da pesquisa bibliográfica narrativa, que para estes autores, “é uma modalidade de pesquisa, que segue protocolos específicos, e que busca entender e dar alguma logicidade a um grande corpus documental, especialmente, verificando o que funciona e o que não funciona num dado contexto”. Assim, fundamentando nosso pensamento nos autores anteriormente citados e considerando os aspectos paradigmáticos da pesquisa bibliográfica narrativa, entendemos que este método é capaz de conduzir esta pesquisa a reflexões consistentes, subsidiando novas reflexões e possibilidades no campo do ensino da Física na contemporaneidade.

Materiais semicondutores: historicidade e desenvolvimento tecnológico

As primeiras evidências e estudos sobre o comportamento semicondutor, remontam a segunda metade do século XIX, quando Michael Faraday (1791-1867), físico e químico britânico, percebeu que a resistência elétrica de amostras de sulfeto de prata (Ag_2S), diminuía ao serem aquecidas, exibindo comportamento oposto àquele observado para a maioria das substâncias conhecidas na época (Oka, 2000). A princípio, tal fenômeno não foi associado a qualquer propriedade semicondutora do sulfeto de prata. No entanto, anos mais tarde, o francês Edmond Becquerel e o inglês Willoughby Smith, após vários experimentos, conseguiram explicar, de forma satisfatória para a época, as razões para a diminuição da resistência elétrica do Ag_2S diante de variações positivas de temperatura. Avançando com as

pesquisas, Karl Ferdinand Braun em 1874, conseguiu observar o efeito retificador, ao trabalhar com sulfetos metálicos de diferentes elementos químicos (Gibert, 1982).

Surgia então a possibilidade do uso tecnológico deste fenômeno, porém os sulfetos metálicos ainda precisavam ser aperfeiçoados. Com a continuidade das pesquisas, em 1894, o indiano Jagadish Chandra Bose conseguiu pela primeira vez detectar ondas de rádio por meio de um cristal semiconductor, aperfeiçoando o campo das telecomunicações que outrora utilizava válvulas diodo, criadas pelo físico inglês John Ambrose Fleming, robustas e com necessidade de aquecimento (Oka, 2000). Anos mais tarde, em 1903, o norte americano Greenleaf Whittier Pickard, pioneiro da radiodifusão nos EUA, aperfeiçoou o trabalho de Jagadish criando o primeiro detector de silício, denominada na época de *Cat's Whisker*, ou 'bigode de gato', em tradução literal. Até o início do século XX o diodo era utilizado como dispositivo de detecção de sinais, não possuindo aplicação como elemento eletrônico retificador, funcionalidade que só viria décadas mais tarde, com o avanço da Física da matéria condensada (Lecuyer & Brock, 2010).

Com o avanço da Física na primeira metade do século XX, especificamente com o surgimento da Mecânica Quântica e seus fundamentos teóricos sobre a mecânica do átomo, o diodo ganhou sofisticação, principalmente através das técnicas cada vez mais acuradas de purificação de materiais empregadas na época, possibilitando a obtenção de materiais semicondutores cada vez mais puros. Esta possibilidade permitiu que o norte americano Russell Shoemaker Ohl (1898-1987), na década de 1940, criasse o primeiro diodo de junção¹, como propriedades retificadoras. Tal descoberta tecnológica levou também à invenção do fotodiodo; diodo capaz de interagir com a luz, gerando sinais elétricos, ou luz através da eletricidade. A partir do desenvolvimento do diodo, outros dispositivos eletrônicos foram criados a partir dos desdobramentos teóricos gerados pelo diodo, surgindo então, nos laboratórios da AT&T Bell Laboratories, atualmente chamada Nokia Bell Labs, o transistor de junção, que, semelhantemente ao diodo, transformou radicalmente a eletrônica, produzindo possibilidades inéditas no campo da Engenharia Eletrônica até então (Lojek, 2007).

O transistor é um componente eletrônico estruturalmente formado por três materiais semicondutores, justapostos em camadas², com propriedades físico-químicas distintas, que conferem a este dispositivo as funcionalidades que o tornam tão especial na eletrônica (Cassignol, 1981). Tanto o diodo, quanto o transistor, são formados por materiais semicondutores dos tipos P e N, o material tipo N é 'rico' em elétrons enquanto o material tipo P sofre com 'falta' de elétrons. Esta diferença na concentração de elétrons, gera diferentes fluxos de corrente elétrica, tanto no diodo, quanto no transistor. De modo usual, denominam-

¹ Formado pela junção de dois materiais semicondutores com propriedades físicas e químicas distintas, relacionadas com as cargas elétricas predominantes em cada um dos materiais.

² Cada camada recebe, respectivamente, a designação de: coletor, base e emissor. Tal terminologia e sequência são idênticas para os dois tipos de transistores mencionados no texto.

se portadores de carga, as partículas que formam o fluxo eletrônico nos materiais semicondutores. Assim, para o material tipo N, dizemos que seus portadores de carga são majoritariamente elétrons (cargas negativas) e para o material tipo P, cargas positivas (lacunas), uma vez que a presença majoritária de cargas neste caso é gerada pela falta de elétrons (Malvino, 1987).

Para diferentes configurações de funcionamento o diodo pode operar como elemento retificador, muito utilizado em sistemas de retificação de corrente alternada, estando presente em inúmeros equipamentos domésticos e industriais, como dispositivo lógico de controle de potência, em circuitos lógicos digitais, como elemento de proteção, dentre outras possibilidades. O diodo é um componente de fluxo unidirecional, de dois terminais, permitindo a passagem de corrente elétrica apenas num sentido, ou não, quando polarizado direta ou reversamente. Quando diretamente polarizado por uma fonte de tensão externa, ou seja, quando o terminal do material tipo N está ligado ao pólo negativo da fonte e o terminal do material tipo P ao pólo positivo, surge uma corrente no diodo, denominada corrente de operação, ou corrente direta. No caso oposto, quando os terminais são invertidos, o diodo deixa de conduzir, interrompendo a passagem de corrente, neste caso dizemos que o diodo está em corte.

Já o transistor, componente de três terminais, frequentemente encontrado nas configurações NPN ou PNP tem a função precípua de amplificar pequenos sinais elétricos, sendo o elemento fundamental na construção de amplificadores operacionais³, circuitos chaveados, relés de estado sólido, portas lógicas, circuitos integrados e etc. O transistor (especificamente o transistor de efeito de campo, ou do inglês, *Field Effect Transistor* FET) originou-se a partir de pesquisas que remontam o início do século XX, várias delas, realizadas pelo físico austro-húngaro Julius Edgar Lilienfeld (1882-1963), em meados dos anos de 1920 (Lojek, 2007).

Na ocasião, os estudos teóricos realizados por Julius, demonstraram a viabilidade de um componente eletrônico como o transistor, mas, devido às precárias técnicas de purificação do silício, disponíveis na época, não foi possível constatar de forma efetiva, com a construção do dispositivo, a consistência de seu trabalho teórico. Tal possibilidade, no entanto, rendeu-lhe algumas patentes relacionadas ao transistor, entre 1928 e 1933. Acompanhando o frenético ritmo das pesquisas até então, o cientista alemão Oskar Ernst Heil (1908-1994), teve sua patente concedida, a partir de seus estudos sobre a eletrodinâmica do transistor de efeito de campo. No entanto, a invenção do transistor é creditada a William Bradford Shockley (1910-1989), John Bardeen (1908-1991) e Walter Houser Brattain (1902-1987), todos funcionários

³ Circuito capaz de realizar amplificação de sinais e operações algébricas fundamentais.

da então AT&T Bell Laboratories, no ano de 1947, rendendo aos três físicos o prêmio Nobel de Física do ano de 1956 (Morris, 2008).

Começava então a era dos semicondutores, com a introdução gradual do diodo e do transistor na indústria, suprimindo progressivamente o uso das clássicas e espaçosas válvulas eletrônicas, incapazes de competir com componentes eletrônicos com dimensões da ordem de alguns milímetros. A partir de 1950, o uso de semicondutores tornou-se algo recorrente em diversos campos tecnológicos, o que aperfeiçoou e fortaleceu vários segmentos da engenharia, como a computação e as telecomunicações. Muitas tecnologias frequentemente usadas nos dias de hoje, devem-se ao desenvolvimento dos semicondutores e do processo contínuo de aprimoramento destes componentes, que sofreram grandes modificações na sua capacidade e eficiência a partir dos avanços na Ciência dos Materiais. Nesse contexto, a miniaturização de componentes e circuitos, vem representando importante passo na evolução da própria eletrônica, como também dos vários campos da pesquisa teórica e aplicada (Gray; Searle, 1977).

Com o surgimento de novas técnicas de purificação de materiais, o germânio (Ge), substância conhecida desde 1886, com caráter semicondutor, juntamente com o silício, passaram a encabeçar a matéria prima da indústria eletrônica, a pesar do silício ser o mais explorado, em função de suas propriedades químicas que favorecem o efeito semicondutor (Vlack, 1988). Com o avanço das pesquisas, outros materiais passaram a ser empregados na fabricação de dispositivos semicondutores, permitindo a fabricação de *chips* eletrônicos, capazes de conter milhares ou até milhões de componentes eletrônicos, confinados numa área milimétrica. O desenvolvimento de *chips*, tem sua origem nos trabalhos de Geoffrey Dummer (1909-2002), cientista britânico, que, em 1952 publicou diversos trabalhos sobre o tema, permitindo mais tarde que os norte americanos Jack Kilby (Prêmio Nobel de Física em 2000) da Texas Instruments e Robert Noyce, da Fairchild Semiconductor, nos anos de 1960, desenvolvessem o primeiro *chip* funcional abrindo as portas da microeletrônica (Morris, 2008).

Nos anos seguintes, com o domínio e contínuo aperfeiçoamento das técnicas de fabricação, os *chips*, também conhecidos como circuitos integrados (CI), começaram a impulsionar a computação, reduzindo de forma considerável, as dimensões dos computadores utilizados no início dos anos de 1960. Tal possibilidade, permitiu não só reduzir espaço, mas aumentar a eficiência destes equipamentos, como também melhorar a linguagem de máquina e os sistemas operacionais utilizados na época. Diante da rápida ascensão da microeletrônica, o então químico da Universidade de Berkeley, Gordon Earle Moore, estabeleceu sua famosa lei, ou lei de Moore, afirmando que o número de componentes eletrônicos inseridos num *chip*, tem a possibilidade de dobrar, com custo zero, a cada 2 anos. Em outras palavras, o processo de miniaturização, no início dos anos de 1970, vem gerando circuitos integrados cada vez mais

sofisticados, rompendo os limites físicos da própria estrutura atômica. Diante disso, é fácil ver hoje chips micrométricos, com milhões de componentes eletrônicos, executando funções de alta complexidade, tornando possível executar tarefas outrora realizadas por computadores com o volume de uma sala inteira (Lecuyer; Brock, 2010).

Recentemente, a IBM, International Business Machines Corporation, anunciou a fabricação de um chip da ordem de 2 nanômetros composto por 50 bilhões de transistores, possibilitando maior eficiência e performance energética quando comparado aos chips de 7 nanômetros (Nogueira, 2021). Este resultado demonstra o grau de sofisticação e avanço da indústria eletrônica dos dias atuais, proporcionado, em sua maioria, pelas pesquisas no campo da Física Quântica. Assim, as pesquisas têm convergido para a fabricação de dispositivos com dimensões atômicas, o que impactará a humanidade de forma irreversível, tornando possível tecnologias nunca antes vistas, aperfeiçoando a medicina, os atuais dispositivos de comunicação móvel, os microcomputadores, as telecomunicações e vários outros setores tecnológicos de impacto. Outro fator de relevância na pesquisa de materiais semicondutores reside na importância destes na geração de energia limpa, ou renovável.

Tema de discussão e pesquisa tecnológica, a busca por novas técnicas de geração de energia de baixo custo e impacto ambiental, têm impulsionado o desenvolvimento de sistemas baseados em semicondutores como alternativa viável, principalmente na geração de energia solar, possibilidade que vem agregando valor e popularidade no mercado. A construção de células fotovoltaicas depende, muitas vezes, de placas semicondutoras, que, ao serem submetidas à luz solar, produzem corrente elétrica, devido ao deslocamento ordenado dos portadores majoritários de carga do tipo N (elétrons), possibilitando o fornecimento de energia elétrica. Assim, a produção do silício, matéria prima para a fabricação de placas fotovoltaicas, ganha nova roupagem endossando as atuais pesquisas no campo da geração de eletricidade.

Atualmente, diante da contínua demanda por materiais mais eficientes que o silício, a indústria eletrônica tem apostado em novos materiais, como o grafeno, substância composta essencialmente por átomos de carbono organizados espacialmente num plano monoatômico, o que confere a este material propriedades, mecânicas, elétricas e ópticas nunca antes observadas em outras substâncias. No campo da eletrônica, o grafeno vem ganhando espaço devido às suas semelhanças eletrodinâmicas com o silício, permitindo a fabricação de diodos e transistores mais rápidos e eficientes. No entanto, os elevados custos de produção do grafeno e sua posterior manufatura na produção de componentes eletrônicos de alta performance, tem inviabilizado, momentaneamente sua aplicação em escala industrial, sendo tais aplicações restritas ao setor aeroespacial e militar. Assim, o silício ainda é a matéria prima principal da indústria moderna.

Diante de tais impactos, produzidos em tão pouco tempo no setor tecnológico, é importante trazer à baila discussões no campo do Ensino Básico, destacando os movimentos

da ciência e seus paradigmas epistemológicos, neste contexto, possibilitando compreender o desenvolvimento tecnológico e a apropriação humana destes meios. Tal iniciativa permite que o estudante compreenda os avanços científicos e seus imperativos sociais, identificando a ciência como um elemento sociológico e não apenas um emaranhado de métodos sistêmicos. Assim, introduzir o estudo dos materiais semicondutores no currículo do Ensino Médio, torna possível não apenas ampliar o estudo da eletrodinâmica clássica, como introjetar saberes interdisciplinares e transversais no currículo escolar, uma vez que a sociedade vem moldando-se em torno dos semicondutores e das suas possibilidades tecnológicas.

Ao mesmo tempo, é possível inter-relacionar através do estudo dos semicondutores, aspectos da Física Clássica e Moderna, levando o estudante a perceber a evolução dos conceitos e da abordagem científica ao longo do século XX, destacando a rápida aplicação dos conhecimentos desenvolvidos neste período na tecnologia. Nesse sentido, medidas pedagógicas estratégicas devem ser adotadas em conformidade com os objetivos de ensino, por meio de atividades instigadoras. Considerando a gama de possibilidades disponíveis para o professor, a escolha do método e das estratégias empregadas são determinantes para a compreensão substantiva sobre o comportamento semicondutor e seus impactos sociais, desfazendo qualquer forma de dicotomia entre estes dois universos de aprendizagem.

Dessa forma, a fragmentação do ensino é suprimida dando lugar à apropriação dos conceitos físicos que explicam os fenômenos elétricos nos semicondutores, ao mesmo tempo, permitindo localizar as aplicações tecnológicas destes materiais. Assim, partimos da premissa que o aprendizado da Física deve ser efetivo, em termos algébricos e fenomenológicos, fazendo sentido material na compreensão e utilização de instrumentos tecnológicos, como também ser capaz de inserir o estudante no universo digital, característica marcante da sociedade atual.

Ensino e estratégias didáticas

O processo de ensino e aprendizagem requer um planejamento que possibilite a adoção de técnicas e estratégias que levem ao aprendizado sistemático e substancial. Ao longo do percurso de ensino, o professor deve dimensionar, através de instrumentos preliminares, qual o potencial dos estudantes diante da nova proposta educativa, objetivando contornar possíveis dificuldades e problemas durante a aplicação de seu plano (Siqueira, 2021). Nesse universo, rico em instrumentos didáticos, teorias da aprendizagem e recursos inovadores, o ensino da Física vem ganhando novas possibilidades, tornando-se cada vez mais eficiente em seu papel instrucional (Santos, *et al.* 2017). Diante deste cenário, o ensino da Física dos materiais semicondutores ganha significação no Ensino Médio, sendo o professor capaz de introduzir o tema de maneira dialógica e dinâmica, rompendo com o ensino unidirecional, baseado na oralização e centralização do conteúdo no professor.

Acompanhando tal perspectiva, o professor deve primar pela formação científica dos estudantes, tornando-os capazes de identificar, isolar e explicar fenômenos físicos, através de ferramentas matemáticas e abstrações conceituais precisas (Pugliesi, 2017). Assim, para o estudo dos materiais semicondutores, é importante para o professor, inicialmente, aplicar um pré-teste com seus estudantes com o objetivo de determinar seus conhecimentos básicos em Química, associados a (1) estrutura atômica da matéria, (2) ligações atômicas e (3) ligações intermoleculares. Ao mesmo tempo, determinar o nível de compreensão dos estudantes sobre (1) carga elétrica, (2) campo elétrico, (3) corrente elétrica, e (4) teoria de circuitos. A partir deste dimensionamento inicial, é facultado ao professor escolher qual abordagem a ser utilizada, como método de ensino, sempre com vistas ao aprendizado conceitual fenomenológico, baseado no deslocamento dos portadores de carga no material semicondutor.

O tratamento matemático necessário para tal a abordagem deve ser o mesmo utilizado pelo estudante ao longo do estudo da eletrodinâmica, concentrando-se na resolução de operações fundamentais de (1) divisão, (2) multiplicação, (3) potenciação, (4) resolução de equações do primeiro e segundo grau e (5) resolução de sistemas lineares. Considerando o nível do assunto e os propósitos de ensino, julgamos suficiente que o estudante domine as técnicas matemáticas acima, fortalecendo sua compreensão numérica diante do assunto, tornando-o capaz de solucionar problemas de montagem e dimensionamento de circuitos baseados em semicondutores. Dessa forma, ao trabalhar as perspectivas algébrica e conceitual de forma concomitante, não privilegiado uma em detrimento da outra, o estudante será capaz de compreender, resgatando conhecimentos prévios arraigados em sua estrutura cognitiva, os novos conceitos que explicam o funcionamento de diodos e transistores.

Assim, corroborando com os PCN, é possível propor no Ensino Médio a Física dos semicondutores para a formação científica e tecnológica, voltada para a vida. Diante desta possibilidade, o texto normativo destaca que:

Os objetivos do Ensino Médio em cada área do conhecimento devem envolver, de forma combinada, o desenvolvimento de conhecimentos práticos, contextualizados, que respondam às necessidades da vida contemporânea, e o desenvolvimento de conhecimentos mais amplos e abstratos, que correspondam a uma cultura geral e a uma visão de mundo (Brasil, 1998, p. 6).

O mesmo texto enfatiza o importante papel da Física na formação inicial dos estudantes do Ensino Médio, que encontram nesta disciplina a possibilidade de desenvolver habilidades e competências importantes no universo pessoal e coletivo. Especificamente a Física dos semicondutores tem a possibilidade de conectar os estudantes às atuais tecnologias digitais, tornando-os capazes de entender o funcionamento destes meios de forma conceitual, servindo de elemento facilitador da aprendizagem. Nesse contexto, os PCN afirmam:

Sendo o Ensino Médio um momento particular do desenvolvimento cognitivo dos jovens, o aprendizado de Física tem características específicas que podem

favorecer uma construção rica em abstrações e generalizações, tanto de sentido prático como conceitual (Brasil, 1998, p. 23).

Já a BNCC é enfática ao tratar as Ciências da Natureza e suas tecnologias como preponderantes para a inserção do estudante no mundo tecnológico por meio da apropriação consciente dos princípios e leis que regem a natureza. O texto destaca que:

Nesse cenário, a BNCC da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias – integrada por Biologia, Física e Química – propõe ampliar e sistematizar as aprendizagens essenciais desenvolvidas até o 9º ano do Ensino Fundamental. Isso significa, em primeiro lugar, focalizar a interpretação de fenômenos naturais e processos tecnológicos de modo a possibilitar aos estudantes a apropriação de conceitos, procedimentos e teorias dos diversos campos das Ciências da Natureza (Brasil, 2018, p. 537).

Dessa forma, propor estratégias de ensino direcionadas para a realidade tecnológica do mundo reafirma o fragmento normativo anterior, colaborando para o aprendizado científico emancipador, no qual o estudante torna-se usuário consciente, das modernas tecnologias baseadas em semicondutores. Outro ponto importante da BNCC a ser considerado pelo professor em seu planejamento de ensino, reside em desenvolver a seguinte competência nos estudantes:

(EM13CNT308) Analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos, redes de informática e sistemas de automação para compreender as tecnologias contemporâneas e avaliar seus impactos (Brasil, 2018, p. 545).

Tal competência objetiva capacitar o estudante a não só compreender o funcionamento de equipamentos elétricos, mas de avaliar seus impactos no construto social e suas relações ambientais, levando-o a transformar a sociedade digital na qual é nativo, através do uso consciente das tecnologias (Siqueira, 2022). Considerando os pontos normativos anteriormente apresentados, o professor deve decidir qual o melhor instrumento de ensino capaz de promover o aprendizado do tema, considerando os conhecimentos prévios dos estudantes e os objetivos de aprendizado (Pereira & Ostermann, 2009). Assim, considerando o extenso número de produtos educacionais voltados para o ensino da Física e suas possibilidades, vamos abordar alguns destes instrumentos em função de sua relevância e comprovada eficiência no ensino da eletrodinâmica.

Diante das peculiaridades do ensino da Física dos semicondutores, neste artigo, abordaremos a viabilidade pedagógica da aplicação de (1) sequências didáticas, (2) simulações computacionais, (3) experimentos em laboratório físico, e (4) laboratórios *online*. Serão discutidas as várias possibilidades pedagógicas destas ferramentas e suas contribuições para o efetivo aprendizado da teoria dos semicondutores. Neste repertório, as sequências didáticas são um dos mais importantes instrumentos de ensino, desenvolvidos e utilizados desde o século XIX em diferentes níveis e campos do ensino. Sua importância como elemento de transposição didática reside na sua estrutura bem definida e capacidade de articulação,

permitindo ajustes durante sua execução. Uma sequência didática é um instrumento pedagógico que busca organizar de forma objetiva o conteúdo a ser ministrado e as diferentes etapas do processo de ensino (Ugalde & Roweder, 2020).

Para Siqueira (2022), a elaboração de uma sequência didática pode ser dividida nas fases de planejamento, aplicação e avaliação. O planejamento diz respeito ao processo no qual os objetivos de ensino são delimitados, já a aplicação, corresponde ao momento efetivo onde o professor implementa a sequência, atentando para a receptividade e aderência dos estudantes ao conteúdo, finalizando com a avaliação, etapa caracterizada pelo agrupamento e análise de informações capazes de determinar se a sequência didática atingiu ou não seus objetivos. Durante a fase de planejamento, o professor deve determinar a dinâmica das aulas e que tipos de atividades, práticas ou teóricas, de fixação ou aprofundamento, devem ser realizadas durante o trabalho de ensino. Em geral, o conteúdo a ser ensinado demanda certa carga horária, sendo dividido em aulas ou módulos aula, permitindo que o professor possa analisar o desempenho dos estudantes aula após aula, alterando ou propondo novas formas de intervenção didática. Este é o grande benefício pedagógico das sequências didáticas; sua capacidade de 'reinvenção', mesmo durante a execução da proposta.

Assim, consideramos importante o uso deste recurso no ensino da Física dos semicondutores, devido ao caráter teórico do tema, que envolve discussões conceituais abstratas, facilitando o dialogismo; completado pela exposição matemática e resolução de problemas específicos, principalmente relacionados com o funcionamento de circuitos práticos, como a análise de circuitos retificadores de meia onda e onda completa, por exemplo. Essencialmente, o professor pode dividir cada aula da sequência iniciando uma apresentação do tema, motivando o estudante e localizando-o no conteúdo a ser estudado (Siqueira, 2022). Em seguida deve desenvolver a aula de forma dinâmica, centralizando o estudante no processo, tornando-o participativo, fortemente através da montagem e análise de circuitos básicos, permitindo assim a observação dos fenômenos físicos em discussão.

Considerando o diodo e suas propriedades funcionais, marcadas pelo fluxo de corrente unidirecional, ou seja, pelo fato do diodo apenas conduzir corrente numa direção, quando diretamente ou inversamente polarizado, o professor pode solicitar que os estudantes montem circuitos utilizando lâmpadas de *led* e pilhas comuns, objetivando evidenciar o efeito semicondutor, ao mesmo tempo propor problemas práticos introdutórios, resgatando princípios já conhecidos pelo estudante quando do estudo dos circuitos resistivos. Um ponto importante, que torna viável esta proposta, é o baixo custo dos componentes eletrônicos utilizados. Assim, uma sequência didática baseada na construção de circuitos básicos, como atividade, torna-se atrativa e instigadora para o estudante, que pode manipular materiais e componentes pouco conhecidos (Siqueira, 2022).

Semelhantemente, no estudo do transistor, a experimentação representa importante meio de aprendizagem significativa, permitindo que o estudante observe na prática as diferentes possibilidades de funcionamento deste dispositivo. Para a eletrodinâmica do transistor, é importante que o professor selecione atividades práticas que remetam à tecnologia e sua capacidade de resolver problemas. A construção de sensores e circuitos com funcionalidades específicas do nosso dia a dia, são opções importantes, considerando os objetivos e o desenvolvimento de habilidades e competências pelos estudantes. Assim, uma boa sequência didática é capaz de subsidiar a teoria dos semicondutores de forma eficiente, proporcionando maior interação entre os estudantes e entre o professor, além de diversificar e romper com os métodos expositivos ainda persistentes no ensino da Física.

Auxiliando o trabalho científico, as técnicas computacionais baseadas no uso de softwares capazes de modelar e simular fenômenos de alta complexidade representam importante avanço produzido pelas Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação, abreviadamente, TDIC's. Hoje é possível, com precisão milionésima, simular o movimento de moléculas e átomos interagindo em sistemas termodinâmicos, determinar a trajetória de planetas e corpos celestes a milhões de anos-luz da nossa galáxia, compreender a dinâmica de processos atmosféricos, analisar a dinâmica populacional de microrganismos causadores de patologias, gerar imagens de buracos negros, dentre outras possibilidades. Para o trabalho docente, as simulações computacionais representam uma das maiores ferramentas no ensino da Física, permitindo o estudo de fenômenos impossíveis de serem realizados na sala de aula.

No tocante à Física dos semicondutores, as simulações computacionais permitem que o estudante construa circuitos funcionais na tela do computador sem a necessidade de aquisição de componentes eletrônicos ou materiais específicos. O professor tem a possibilidade de propor atividades com diferentes graus de complexidade, problematizando situações específicas, a serem resolvidas pelos próprios estudantes por meio da construção virtual de circuitos baseados em semicondutores. Diante desta proposta, o professor deve delimitar a quantidade e tipo de componente eletrônico a ser utilizado pelos estudantes na construção do circuito, levando-o à concepção de 'projeto racional', onde o circuito deve conter o menor número de componentes possível para seu funcionamento. Mesmo com o uso de *softwares* o papel do professor como mediador da aprendizagem é fundamental na construção conceitual, algébrica e técnica vivenciada pelos estudantes durante as aulas.

Aqui, o diálogo representa valioso mecanismo de apresentação da teoria dos semicondutores durante as aulas, que podem ser realizadas no próprio laboratório de computação da escola, evitando que haja dois momentos distintos para a aula. Assim tanto a teoria Física, quanto as atividades e exercícios computacionais podem ser realizados de modo concomitante, tornando a aula 'fluida'. Muitas ferramentas computacionais são disponibilizadas de forma *online* e gratuita, dispensando a instalação de programas,

facilitando o planejamento e o trabalho do professor. Assim, destacamos alguns simuladores⁴ como o (1) *Easy EDA*, (2) *Autodesk Circuits*, (3) *MultiSim Live*, (4) *PartSim*, (5) *EveryCircuit*, dentre outros. Dessa forma, o professor dispõe de um poderoso recurso didático capaz de transpor as possíveis dificuldades práticas geralmente encontradas nas atividades de montagem de circuitos reais, principalmente a queima ou manuseio incorreto de materiais.

Com grande potencial pedagógico, os laboratórios de ensino, representam o lócus para o ensino especializado. É esperado encontrar nas escolas, laboratórios de ciências, matemática, literatura, dança, dentre outros. Para o ensino da Física, estes laboratórios são capazes de reproduzir, de forma adequada e segura, por meio da utilização de materiais e equipamentos didáticos, fenômenos físicos muitas vezes de difícil reprodução e controle, permitindo a observação, a comprovação e a dedução de leis e princípios físicos. Nestes laboratórios é possível para o professor, desenvolver aulas dinâmicas e potencialmente significativas através da montagem de circuitos eletrônicos, quando do estudo da eletricidade. Dessa forma, semelhantemente ao laboratório de computação, o estudante tem a chance manipular instrumentos, neste caso, componentes eletrônicos, *protoboards*, equipamentos de medição, como o multímetro, fontes de tensão e corrente.

Assim, tendo em mãos seu plano de ensino, o professor pode aproveitar este espaço para desenvolver a montagem robusta de circuitos baseados em diodos e transistores, tendo a chance de explorar atividades experimentais com roteiro aberto ou fechado. Ambas as possibilidades são importantes diante do planejamento de ensino, devendo ser escolhida de forma estratégica pelo professor. Atividades experimentais com roteiro fechado, em geral, são mais específicas e controladas pelo roteiro de atividades, o qual reúne todos os materiais a serem usados, os objetivos e a sequência de desenvolvimento. Neste tipo de atividade o estudante deve seguir passos bem definidos na montagem, medição de variáveis, solução de problemas ou dimensionamento de componentes, com o objetivo de evidenciar ou solucionar um problema específico.

Nesse contexto, o professor deve prezar pelo dialogismo, sendo o laboratório uma extensão da sala de aula, onde os conceitos da teoria dos semicondutores devem ser reforçados continuamente, fazendo o estudante refletir sobre os aspectos fenomenológicos ligados aos componentes semicondutores utilizados nos circuitos. Dessa forma, o estudante tem a chance de inter-relacionar teoria e prática. Já as atividades experimentais com roteiro aberto, demandam mais autonomia por parte dos estudantes, os quais são ‘confrontados’ por um problema proposto pelo professor, o qual lhes dá liberdade para escolher a melhor forma de resolver.

⁴Disponíveis em: <https://www.nerd-rosa.com.br/post/os-10-melhores-simuladores-de-circuito-eletr%C3%B4nico-on-line>

Assim, não há delimitação de materiais, equipamentos ou técnicas; os estudantes devem utilizar seu conhecimento e os meios que desejarem. Muitos educadores defendem esta proposta de ensino, pois incentiva o protagonismo e a criatividade dos estudantes. Cabe ao professor decidir qual roteiro de atividades utilizar, considerando os recursos disponíveis no laboratório, sua experiência, planejamento de ensino e tempo de execução. No entanto, considerando a realidade da maioria das escolas, que não possuem laboratórios de ciência ou de computação com infraestrutura adequada, uma forma eficiente de contornar este problema, consiste na utilização de simuladores *online*, facilmente encontrados na *internet*, de manuseio intuitivo. Com a popularização dos *tablets* e *smartphones* e o crescente nível de inclusão digital dos jovens em idade escolar, o professor pode alinhar sua proposta de ensino com a utilização didática destes dispositivos, ressignificando seu uso na sala de aula como instrumento estratégico.

Assim, através da utilização destes dispositivos na sala de aula, o estudante pode visualizar e interagir com simulações que fortalecem a explicação do professor, além do discurso dialógico que deve estimular o interacionismo na sala. Através destes recursos o estudante tem a chance de variar parâmetros intervenientes num circuito eletrônico, observando mudanças nos valores das correntes no transistor, da tensão de operação num diodo, realizar pequenas montagens com diodos, variar a densidade dos portadores de carga numa das camadas semicondutoras de um transistor analisando seu posterior funcionamento, verificar os efeitos do aquecimento no comportamento elétrico dos semicondutores, dentre outros fenômenos. É importante ressaltar que as simulações *online* permitem apenas mudanças de parâmetros, levando à reconfiguração funcional do circuito.

Ou seja, os circuitos utilizados nestes recursos, apresentam componentes e função definida, sendo o usuário capaz de manipular algumas de suas variáveis; diferente dos *softwares* de simulação que permitem a construção e acionamento de circuitos, tendo o estudante, neste caso, a chance de explorar de forma mais densa, os aspectos conceituais do conteúdo. Alguns simuladores⁵ *online* disponíveis na *internet* são o (1) *PhET*, (2) *vaskac* e (3) *OPhysics*, todos abrangendo as diferentes áreas da Física. Diante dos recursos pedagógicos apresentados neste texto, o professor pode, através de suas experiências, e a partir das potencialidades dos seus estudantes, implementar novas possibilidades no campo do ensino da Física, desenvolvendo a teoria dos semicondutores de forma significativa, afirmando as modernas tendências na educação científica.

Conclusões

⁵ Disponíveis em: <https://www.fisikaos.com.br/post/dicas-de-simuladores-gratuitos-para-melhorar-a-din%C3%A2mica-das-aulas-de-f%C3%ADsica>

Diante das reflexões produzidas neste artigo, é possível concluir que o estudo da Física dos materiais semicondutores no Ensino Médio reverbera a necessidade de implementar novos conteúdos no currículo da disciplina de Física, fortalecendo a formação de cidadãos cientificamente capazes de compreender, utilizar e transformar os recursos tecnológicos presentes na sociedade, ao mesmo tempo corroborando com os principais parâmetros norteadores da educação básica para a ciência e tecnologia. Assim, é importante a discussão deste tema, nas aulas de Física por meio de propostas estratégicas dialógicas, centradas no estudante, permitindo o resgate de conhecimentos anteriores e a completude do estudo da eletrodinâmica, como ponto de partida para a discussão da própria Física Moderna. Concluímos também que a apresentação da teoria dos semicondutores do Ensino Médio reforça a compreensão da ciência como elemento intrínseco do desenvolvimento humano e tecnológico, rompendo com a concepção linear de ciência neutra.

A partir da análise das ferramentas pedagógicas reunidas neste artigo, verifica-se a viabilidade de ensino do tema a partir de tradicionais e modernas formas de ensinar, com destaque para as ferramentas digitais de ensino, baseadas em simulações computacionais e laboratórios *online*, permitindo transpor dificuldades didáticas e de recursos. Assim, para o estudante nativo digital, a utilização de ferramentas digitais, além de romper com as práticas baseadas na oralidade e resolução mecânica de exercícios, torna possível a imersão do estudante em cenários multipropósito, diversificando o trabalho docente, ampliando as estratégias pedagógicas do professor, ressignificando o ensino da Física. Não obstante, consideramos importante o emprego de atividades experimentais clássicas que instiguem o estudante na construção e análise problematizante de circuitos eletrônicos a componentes semicondutores, introduzindo o manuseio de componentes e a expressão prática da teoria.

Assim, defendemos o ensino da teoria dos semicondutores no 3º ano do Ensino Médio em função de sua notória viabilidade didática e alinhamento com as necessidades educativas dos estudantes desta etapa, adensando o currículo da disciplina de Física; preenchendo lacunas de aprendizado originadas da valorização da Física Clássica em detrimento da Física Contemporânea. Com este trabalho procuramos fortalecer as atuais discussões no campo do Ensino das Ciências na busca por um currículo moderno que acompanhe os movimentos da sociedade atual baseada na tecnologia e em vigorosa mutação. Acreditamos que não só a Física dos materiais semicondutores, mas vários outros temas relevantes para a formação dos estudantes podem contribuir para a educação contemporânea, promovendo inclusão tecnológica e a apropriação consciente das modernas ferramentas digitais de informação e comunicação.

REFERÊNCIAS

- Aguiar, I. A.; Passos, E. (2014), A tecnologia como caminho para a educação cidadã, *Cairu em Revista*, 2(3), pp. 1-24. Disponível em: <https://www.cairu.br/revista/arquivos/artigos/2014/Artigo%20A%20TECNOLOGIA%20C%20MO%20CAMINHO%20PARA%20UMA%20EDUCACAO%20CIDADA.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2022.
- Batista, L. S.; Kumada, K. M. O. (2021), Análise Metodológica Sobre as Diferentes Configurações da Pesquisa Bibliográfica, *Revista Brasileira de Iniciação Científica*, 8(5) pp. 1-17. Disponível em: <https://periodicoscientificos.itp.ifsp.edu.br/index.php/rbic/article/view/113>. Acesso em: 20 out. 2022.
- Boylestad, R. L.; Nashelsky, L. (2013). *Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos*, (11ªed.). Pearson.
- Brasil. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília, 2018. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/historico/BNCC_EnsinoMedio_embaixa_site_110518.pdf. Acesso em: 30 nov. 2022.
- Brasil, Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza e Matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC, 1998. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2022.
- Cassignol, E. J. (1981). *Semicondutores Física e Eletrônica*. Edgard Blucher.
- Dorsa, A. C. (2020), O papel da revisão da literatura na escrita de artigos científicos, *Revista Interações*, 21(4), pp. 681-683. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/inter/a/cts4sLz6CkZYQfZWBS4Lbr/?lang=pt>. Acesso em: 27 nov. 2022.
- Galvão, M. C. B.; Ricarte, I. L. M. (2020), Revisão sistemática da literatura: conceituação, produção e publicação, *Revista LOGEION: Filosofia da informação*, 6(1), pp. 57-73. Disponível em: <https://sites.usp.br/dms/wp-content/uploads/sites/575/2019/12/Revis%C3%A3o-Sistem%C3%A1tica-de-Literatura.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2022.
- Gibert, A. (1982). *Origens Históricas da Física Moderna*. Fundação Calouste Gulbenkian.
- Gray, P. E. Searle, C. L. (1977). *Princípio de Eletrônica*. Ed. Livros Técnicos e Científicos.
- Horowitz, P.; Hill, W. (1998). *The Art Electronics*. Cambridge Press.
- Lecuyer, C.; Brock, D. C. (2010). *Makers of the Microchip: A Documentary History of Fairchild Semiconductor*. Chemical Heritage Foundation.
- Lojek, B. (2007). *History of Semiconductor Engineering*. Springer.
- Malvino, A. P. (1987). *Eletrônica*. Ed. McGraw.
- Morris, P. R. (2008). *A History of the World Semiconductor Industry*. The Institution of Engineering and Technology.
- Nogueira, J. G. 07/05/2021. *IBM anuncia o primeiro chip de 2nm do mundo, com 50 bilhões de transistores*, Adrenaline. Disponível em: <https://adrenaline.com.br/noticias/v/68850/ibm-anuncia-primeiro-chip-de-2nm-do-mundo-com-50-bilhoes-de-transistores>. Acesso em: 30 nov. 2022.
- Oka, M. M. História da Eletricidade, São Paulo, Nov. 2000, (Apostila). Disponível em: <http://www.lsi.usp.br/~dmi/manuais/HistoriaDaEletricidade.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2021.

- Pereira, A. P.; Ostermann, F. (2009), Sobre o ensino de física moderna e contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente, *Revista Investigações em Ensino de Ciências*, 14(3), pp. 393-420. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/141893>. Acesso em: 02 dez. 2022.
- Pugliese, R. M. (2017), O trabalho do professor de Física no ensino médio: um retrato da realidade, da vontade e da necessidade nos âmbitos socioeconômico e metodológico, *Revista Ciência e Educação*, 23(4), pp. 963-978. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ciedu/a/R76pQGB3xJrPqXKPSvJVTwc/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 02 dez. 2022.
- Siqueira, K. S. (2021). Ensino Virtual da Eletrostática para Alunos do 3º ano do Ensino Médio Auxiliado por Experimentos Caseiros como Estratégia de Aprendizagem Significativa: desafios pedagógicos frente à pandemia. Monografia (Especialização), Instituto Federal de Alagoas, Arapiraca. Disponível em: <https://www.doccity.com/pt/ensino-virtual-da-eletrostatica/7654393/>. Acesso em: 02 dez. 2022.
- Siqueira, K. S. (2022). Uma proposta de sequência didática para o ensino da física de materiais semicondutores. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Universidade Federal de Alagoas, Maceió. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/jspui/handle/123456789/9051>, Acesso em: 02 dez. 2022.
- Santos, A. O. S.; Souza, A. E. S. B.; Areias, G. B.; Assunção, J. P. P.; Nobre, I. A. M. & Nunes, V. B. (2017), Tecnologias digitais no ensino de física: uso de celular na abordagem de conteúdos programáticos de velocidade, *Revista Eletrônica DECT*, 7(3) , pp. 208-228. Disponível em: <https://ojs.ifes.edu.br/index.php/dect/article/download/213/208/827>. Acesso em: 02 dez. 2022.
- Souza, A. S. de; Oliveira, G. S.; Alves, L. H. (2021), A pesquisa bibliográfica: princípios e fundamentos, *Cadernos da Fucamp*, Campinas, 20(43), pp. 64-83. Disponível em: <https://revistas.fucamp.edu.br/index.php/cadernos/article/view/2336/1441>. Acesso em: 27 nov. 2022.
- Stupelman, V.; Filaretov, G. (1976). *Semiconductor Devices*. MIR.
- Ugalde, M. G. P. Roweder, C. (2020), Sequência didática: uma proposta metodológica de ensino-aprendizagem, *Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico*, 6(3), pp. 1-12. Disponível em: <https://sistemascmc.ifam.edu.br/educitec/index.php/educitec/article/view/992>. Acesso em: 02 dez. 2022.
- Vlack, L. H.V. (1988). *Princípios de Ciência dos Materiais*. Edgard Blucher.
- Young, H. D.; Freedman, R. A. (2006). *Física - I*. Pearson.