



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

MARIA LUIZA MIGUEZ

ESTRATÉGIAS DIDÁTICAS PARA ENSINO DE FÍSICA MODERNA USANDO LEDS

FORTALEZA

2024

MARIA LUIZA MIGUEZ

ESTRATÉGIAS DIDÁTICAS PARA ENSINO DE FÍSICA MODERNA USANDO LEDS

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ensino de Física. Área de Concentração: Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Santos de Almeida.

Coorientador: Prof. Dr. Nildo Loiola Dias.

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M578e Miguez, Maria Luiza.
Estratégias didáticas para ensino de Física Moderna usando LEDs / Maria Luiza Miguez. – 2024.
101 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação,
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Fortaleza, 2024.

Orientação: Prof. Dr. Carlos Alberto Santos de Almeida.

Coorientação: Prof. Dr. Nildo Loiola Dias.

1. Semicondutores. 2. Peer Instruction. 3. Experimentação. 4. Junção PN. 5. Modelo de Bohr. I. Título.
CDD 530.07

MARIA LUIZA MIGUEZ

ESTRATÉGIAS DIDÁTICAS PARA ENSINO DE FÍSICA MODERNA USANDO LEDS

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ensino de Física. Área de Concentração: Ensino de Física.

Aprovada em: 09/08/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlos Alberto Santos de
Almeida (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Nildo Loiola Dias (Coorientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Glauco Cohen Ferreira Pantoja
Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA)

Prof. Dr. Andrey Chaves
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À minha determinação incansável em alcançar meus objetivos. E ao Lindo, por estar sempre ao meu lado, facilitando meus passos e tornando o caminho mais leve.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta dissertação. O apoio que recebi ao longo deste percurso foi fundamental para a conclusão deste trabalho. A todos que, de alguma forma, fizeram parte desta jornada, expresso minha sincera gratidão.

Em especial, agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Carlos Alberto Santos de Almeida, que, mesmo achando inusitado uma doutora querer fazer outro mestrado, não hesitou em aceitar o desafio. Agradeço também ao meu coorientador, Prof. Nildo Loiola Dias, sempre disponível para ajudar e oferecer contribuições extremamente valiosas.

Agradeço sinceramente aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Glauco Cohen Ferreira Pantoja e Prof. Dr. Andrey Chaves, por dedicarem seu tempo e conhecimento para avaliar este trabalho. Suas observações criteriosas e sugestões valiosas contribuíram significativamente para o aprimoramento desta dissertação.

Expresso minha gratidão à Universidade Federal do Ceará e ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física por ofertar os recursos necessários à realização desta dissertação.

Gostaria de agradecer a todos os estudantes que, em algum momento, estiveram na minha vida e que, certamente, contribuíram para a formação da professora que sou hoje. Em especial, aos estudantes da turma 3B de Meio Ambiente, na qual apliquei o Produto Educacional presente nesta dissertação.

Aos meus colegas e professores do IFPA campus Paragominas, que fizeram parte da jornada deste mestrado, agradeço pelo companheirismo nas inúmeras vezes em que foi necessário ajustar horários. Foram 1 ano e 4 meses nos quais me senti muito bem acolhida.

Ao Lindo, meus mais sinceros agradecimentos. Não é fácil estar ao lado de alguém durante um mestrado; imagina dois! Agradeço por tornar meu caminho mais fácil sempre que possível e por me apoiar sempre. Mesmo à distância, você sempre se faz presente e me acompanhou em três mudanças até aqui. Te amo!

Finalmente, agradeço à minha mãe, que sempre me apoia, mesmo à distância, cuida da minha Maria com tanto carinho, atende a todos os gostos dela e me faz dormir com o telefone ligado quase todos os dias, fazendo companhia uma para a outra. Agradeço também aos meus irmãos, Marcus Vinícius e João Pedro, que fazem parte da minha vida.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

”Devemos acreditar que temos um dom para alguma coisa e que essa coisa, custe o que custar, deve ser alcançada.” (Curie, 1911)

RESUMO

Temas de Física Moderna e Contemporânea atualmente já são contemplados na BNCC, tanto na componente curricular de Ciências no Ensino Fundamental quanto no Ensino Médio e motivados por isso atualmente já existem diversos trabalhos que propõem práticas de intervenção em sala de aula nessa temática. Apesar disso ainda são poucos os trabalhos que trazem os resultados da aplicação dessas propostas. Devemos ressaltar ainda que são poucas as propostas que utilizam diversas metodologias de ensino articuladas. Nossa proposta baseia-se na teoria sociointeracionista de Vygotsky, a qual pressupõe que as interações sociais são fundamentais para uma maior eficiência do processo de ensino e aprendizagem, para fundamentar e justificar o uso das metodologias baseadas em experimentação e em questionários *Peer Instruction* para promover o ensino de Física Moderna usando LEDs. O produto educacional é uma sequência didática de 06 aulas. Iniciamos na Aula 01 com a classificação dos materiais quanto à condutividade elétrica e como se pode modificá-la em materiais semicondutores através do processo de dopagem. Nas aulas 02 e 03 introduzimos o modelo de Bohr e a atividade experimental de observação dos espectros de emissão de diversas fontes de luz, respectivamente. Na Aula 04 introduzimos a teoria de bandas de condução e na Aula 05 introduzimos a junção PN para justificar o funcionamento de um dispositivo LED. Finalizamos a sequência com uma atividade experimental na qual os estudantes devem investigar o funcionamento de um resistor ôhmico e de um LED e identificar as diferenças nas propriedades elétricas desses dispositivos. Foram aplicados questionários nas duas primeiras aulas para avaliar os conhecimentos prévios dos estudantes e a partir dos resultados foi possível verificar que os estudantes tiveram dificuldades na assimilação dos conteúdos anteriores e dessa forma o reforço era necessário para o andamento das aulas. No final das 5 primeiras aulas foram aplicados questionários usando a metodologia *Peer Instruction* e, a partir das respostas dos estudantes, foi possível avaliar o entendimento dos conteúdos discutidos na respectiva aula. Além disso foi possível verificar através da interação dos estudantes entre si e com a professora durante a aula que as estratégias aplicadas foram bem recebidas pelos estudantes. Podemos concluir que o ensino de Física a partir de situações contextualizadas, usando metodologias que colocam os estudantes em posições menos passivas podem ser alternativas ao uso do ensino completamente tradicional.

Palavras-chave: semicondutores; *Peer Instruction*; experimentação; junção PN; modelo de Bohr.

ABSTRACT

Themes of Modern and Contemporary Physics are currently already included in the BNCC (Base Nacional Comum Curricular), both in the Science curriculum component in Elementary School and in High School. Motivated by this, there are already several works proposing intervention practices in the classroom on this topic. Despite this, there are still few works that present the results of the application of these proposals. It is also important to note that there are few proposals that use various articulated teaching methodologies. Our proposal is based on Vygotsky's socio-interactionist theory, which assumes that social interactions are fundamental for greater efficiency in the teaching and learning process, to support and justify the use of methodologies based on experimentation and Peer Instruction questionnaires to promote the teaching of Modern Physics using LEDs. The educational product is a didactic sequence of 06 classes. We start in Class 01 with the classification of materials in terms of electrical conductivity and how it can be modified in semiconductor materials through the doping process. In classes 02 and 03, we introduce the Bohr model and the experimental activity of observing the emission spectra of various light sources, respectively. In Class 04, we introduce the theory of conduction bands, and in Class 05, we introduce the PN junction to justify the functioning of an LED device. We conclude the sequence with an experimental activity in which students must investigate the functioning of an ohmic resistor and an LED and identify the differences in the electrical properties of these devices. Questionnaires were administered in the first two classes to assess students' prior knowledge, and based on the results, it was possible to verify that students had difficulties assimilating previous content, thus reinforcement was necessary for the progression of the classes. At the end of the first 5 classes, questionnaires were administered using the Peer Instruction methodology, and based on students' responses, it was possible to evaluate the understanding of the content discussed in the respective class. Furthermore, it was possible to verify through student interactions with each other and with the teacher during the class that the strategies applied were well received by the students. We can conclude that teaching Physics from contextualized situations, using methodologies that place students in less passive positions, can be alternatives to the completely traditional teaching approach.

Keywords: semiconductors; Peer Instruction; experimentation; PN junction; Bohr model.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Tabela periódica completa. Os elementos denominados semicondutores intrínsecos estão destacados em verde. 29
- Figura 2 – Escala de condutividade σ em unidade de $\Omega^{-1}\text{m}^{-1}$ para alguns materiais isolantes, semicondutores e metais. Os valores estimados são para os materiais na temperatura ambiente. Os semicondutores são materiais que apresentam condutividade elétrica entre $10^{-5} \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$ e $10^5 \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$, valores aproximados. 29
- Figura 3 – A Figura 3a ilustra a estrutura de Silício puro, evidenciando os elétrons mais externos que formam as ligações atômicas. Idealmente todos os elétrons estão ligados e não existem buracos na estrutura. Nessa idealização o material é um mal condutor de eletricidade. Na Figura 3b evidenciamos que qualquer pequena perturbação, inclusive térmica, já produz elétrons livres e buracos na rede. 30
- Figura 4 – Essa sequência de figuras mostra como se dá a condução elétrica em um cristal de Silício, um semicondutor intrínseco, na presença de um campo elétrico aplicado. Uma vez existindo buracos na rede, podemos ver que os elétrons se movimentam através desses buracos. Quando um elétron ocupa um determinado buraco, instantaneamente cria-se um novo buraco. Dessa forma temos simultaneamente um movimento de buracos, partículas positivas, no sentido do campo elétrico e de elétrons no sentido contrário ao campo elétrico. 31
- Figura 5 – Dopagem de um semicondutor intrínseco com a substituição de átomos de Silício por átomos de Potássio. O átomo de Potássio possui 5 elétrons disponíveis para realizar as ligações com o átomo de Silício restando ainda um elétron livre na rede. O resultado é um semicondutor do tipo N. 31
- Figura 6 – Dopagem de um semicondutor intrínseco com a substituição de átomos de Silício por átomos de Boro. O átomo de Boro possui 3 elétrons disponíveis para realizar as ligações com o átomo de Silício, criando um buraco. O resultado é um semicondutor do tipo P. 32
- Figura 7 – As quatro linhas de emissão, no espectro visível, do átomo de hidrogênio. As linhas representadas correspondem à série de Balmer. 33

- Figura 8 – Diagrama esquemático dos níveis de energia para o átomo de Hidrogênio. No diagrama estão presentes o estado fundamental $n = 1$ e alguns estados excitados, $n = 2, 3, 4$ e 5 . Ainda está explicitado o estado do elétron livre, cuja energia é maior ou igual a zero, já que nesse caso o elétron não está mais ligado ao núcleo. 35
- Figura 9 – A Figura 9a exemplifica o processo de absorção de um fóton e a consequente transição do elétron de um nível menos energético $n = 2$, no exemplo da figura, para um nível mais energético $n = 3$. Já em 9b está representado o processo de emissão de um fóton quando o elétron faz a transição de um nível mais alto de energia, no exemplo $n = 3$, para o nível $n = 2$, de menor energia. 36
- Figura 10 – Diagrama esquemático dos níveis de energia para a molécula de H_2 antes e depois da sua formação. Antes da formação da molécula os elétrons se encontram nos níveis de energia $1s$, estado fundamental do átomo de Hidrogênio. Efetuada a formação da molécula temos a formação de dois níveis de energia possíveis denominados de orbitais moleculares. Na figura os dois elétrons compartilhados pela estrutura diatômica estão no nível denominado σ , de energia mais baixa. Enquanto o nível σ^* encontra-se desocupado. 37
- Figura 11 – Sequência de níveis de energia em moléculas. As duas primeiras colunas representam o esquema ilustrado na Figura 10. Conforme aumenta-se a complexidade das estruturas o número de níveis de energia aumenta. Para os semicondutores, o número de níveis que aparecem devidos às interações atômicas é tão grande que podem ser considerados um contínuo e, nesse caso, passam a ser tratados como bandas de energia. 38
- Figura 12 – Representação da banda de valência, *gap* de energia e banda de condução de isolantes, condutores e semicondutores. 39

Figura 13 – Diagrama de banda de energia para um semicondutor intrínseco. Em 13a a banda de valência está completamente preenchida e a banda de condução vazia, dessa forma os elétrons não têm mobilidade e o semicondutor não conduz. Em 13b podemos ver que alguns elétrons estão ocupando a banda de condução e conseqüentemente buracos podem ser vistos na banda de valência. Essa configuração é alcançada dando uma energia ΔE_g , correspondente ao <i>gap</i> , necessária para os elétrons transicionarem entre as bandas e dessa forma o semicondutor passa a ser capaz de conduzir corrente.	40
Figura 14 – Em 14a temos a representação do diagrama de bandas de um semicondutor intrínseco. Em 14b temos a mesma representação para um semicondutor do tipo P. O elétrons excedentes ocupam uma banda de energia imediatamente inferior à banda de condução e dessa forma a ocupação da banda de condução é facilitada e o semicondutor passa a ter uma condutividade maior do que a do semicondutor intrínseco. Por fim, em 14c, temos a representação de bandas para um semicondutor do tipo N, em que os buracos excedentes ocupam uma banda de energia próxima à banda de valência o que aumenta a corrente de buracos e conseqüentemente a condutividade do semicondutor.	41
Figura 15 – Na figura em vermelho um semicondutor do tipo P, cujos portadores majoritários são os buracos, e em azul um semicondutor do tipo N, cujos portadores majoritários são os elétrons.	42
Figura 16 – Em 16a os semicondutores do tipo P e do tipo N são justapostos. Isso implica o aparecimento de uma corrente elétrica que flui através da junção, na direção N-P, de forma que os buracos no material do tipo P, existentes na região de borda da junção, tendem a ser preenchidos pelos elétrons livres do material do tipo N, como indicado em 16b e 16c. Esse movimento de cargas cria uma região carregada chamada de região de depleção indicada na Figura 16d. . .	43
Figura 17 – Representação da densidade de carga, do campo elétrico e do potencial eletrostático no modelo unidimensional para uma junção PN.	44
Figura 18 – Na Figura temos as bandas de valência e condução para os semicondutores do tipo P e tipo N antes da junção em 18a e depois da junção em 18b.	48

Figura 19 – Na figura temos em 19a a junção PN sem diferença de potencial externa aplicada e a respectiva barreira de potencial de valor V_0 . Na sequência podemos observar o efeito da diferença de potencial externa aplicada na região de depleção na polarização direta em 19b, com a diminuição da barreira de potencial para um valor de $(V_0 - V)$, e na polarização reversa em 19c com o aumento da barreira de potencial para um valor de $(V_0 + V)$	49
Figura 20 – $V \times I$ para diferentes junções PN na temperatura ambiente. Temos na sequência de (a) até (e) Ge, Si, GaAs, GaAsP e GaInN. Na figura temos além das curvas os valores de energia do <i>gap</i> E_g em eV para esses materiais.	50
Figura 21 – Na Figura 21a temos a junção PN sem tensão externa aplicada, neste caso não pode-se observar condução elétrica. Em 21b podemos ver a junção PN sob o efeito de uma tensão externa aplicada na polarização direta. Neste caso, é possível observar a condução de corrente na banda de valência e na banda de condução, além da geração de fótons através dos processos de recombinação elétron-buraco.	51
Figura 22 – Gráfico da voltagem em um diodo para uma corrente de 20 mA em função da energia de <i>gap</i> , E_g , para diversos LEDs feitos de diferentes materiais semicondutores. A linha cheia presente no gráfico representa a relação $E_g = eV_{th}$. Na parte superior do gráfico podemos obter ainda o comprimento de onda correspondente a E_g	51
Figura 23 – Sequência da aplicação dos testes conceituais. Está proposto em cada etapa um intervalo de tempo para sua execução.	55
Figura 24 – Proposta de sequência a ser adotada em uma aula expositiva dialogada que utilize o método <i>Peer Instruction</i> . Nesse diagrama podemos observar que a evolução da aula se dá a depender do percentual de alunos que mostrem entendimento do conteúdo abordado.	56
Figura 25 – Exemplo de padrão que o aplicativo <i>Plickers</i> utiliza para a aquisição de respostas. O padrão possibilita a resposta de questões com até 4 alternativas a depender da orientação que o <i>card</i> é posicionado, essas possibilidades, de A a D, podem ser visualizadas na parte externa de cada um dos lados do padrão apresentado no <i>card</i>	58

Figura 26 – Imagem da visualização dos cartões pelo aplicativo <i>Plickers</i> . O aplicativo identifica quais são os <i>cards</i> que responderam ao teste e através de círculos vermelhos e verdes é possível identificar quais estudantes erraram (círculos vermelhos) e quais acertaram (círculos verdes).	58
Figura 27 – Opções de telas do <i>Plickers</i> . Imagem da visualização dos cartões pelo aplicativo <i>Plickers</i> . Na tela representada em 27a temos acesso ao número de estudantes que responderam cada um dos itens, qual a porcentagem de estudantes que acertaram, quantos estudantes responderam e quantos não responderam. Já na tela representada em 27b é possível identificar qual <i>card</i> corresponde a cada um dos itens.	59
Figura 28 – Fotografias dos estudantes segurando <i>cards</i> usados pelo aplicativo <i>Plickers</i> para identificar respostas. As fotografias 28a e 28b foram feitas em dias diferentes.	64
Figura 29 – Em 29a está apresentada a montagem para ligação da lâmpada de sódio e para a lâmpada de vapor metálico de alta pressão na rede elétrica. A lâmpada é ligada em um reator, caixa cinza, e o reator é ligado na rede elétrica. Em 29b uma lâmpada está acesa nessa montagem.	66
Figura 30 – Na imagem da esquerda temos o momento da impressão 3D e à direita temos alguns espectrômetros já montados, inclusive com o CD já fixado.	67
Figura 31 – Montagem experimental usada para determinar a curva $V \times I$ para um LED. O circuito para o resistor ôhmico é idêntico exceto pelo elemento sob investigação.	69
Figura 32 – Número de famílias na tabela periódica associadas corretamente (acertos) pelos estudantes no Problema 1. A linha tracejada marca 7 acertos, valor da média no IFPA para que o estudante alcance êxito.	72
Figura 33 – Exemplos de respostas para a Pergunta 2. Esses exemplos foram escolhidos por serem respostas frequentes entre os estudantes.	73
Figura 34 – Percentual de acertos para os Problemas de 1 a 4 da Aula 01 - Condutividade de Materiais. Em vermelho temos as respostas antes dos estudantes discutirem entre si e em azul as respostas depois da discussão entre eles.	75
Figura 35 – Exemplos de associações feitas pelos estudantes para auxiliar na resposta do Problema 01. Podemos ver que foram usados desenhos, a nomenclatura dos modelos e características típicas de cada modelo atômico.	78

Figura 36 – Número de itens associados corretamente (acertos) pelos estudantes no Problema 1. A linha tracejada marca 6 acertos, essa marcação indica o valor aproximando de 70% de acerto que é a média no IFPA.	78
Figura 37 – Percentual de acertos para os Problemas de 1 a 4 da Aula 02 - Átomo de Bohr e espectro de emissão. Em vermelho temos as respostas antes dos estudantes discutirem entre si e em azul as respostas depois da discussão entre eles. . .	81
Figura 38 – Fotografias dos estudantes observando os espectros solar em 38a e a lâmpada de sódio disponibilizada, fotografias 38b e 38c.	82
Figura 39 – Imagens de compartilhamentos que os estudantes fizeram em suas redes sociais. Os quadros rosas foram usados para cobrir imagens não relacionadas com esse trabalho.	82
Figura 40 – Percentual de acertos para os Problemas de 1 a 3 da Aula 03 - Observação de espectros. Em vermelho temos as respostas antes dos estudantes discutirem entre si e em azul as respostas depois da discussão entre eles.	84
Figura 41 – Percentual de acertos para os Problemas 1 e 2 da Aula 04 - Bandas de energia e GAP de energia. Em vermelho temos as respostas antes dos estudantes discutirem entre si e em azul as respostas depois da discussão entre eles. . .	86
Figura 42 – Percentual de acertos para os Problemas de 1 a 3 da Aula 05 - Funcionamento de um LED. Em vermelho temos as respostas antes dos estudantes discutirem entre si e em azul as respostas depois da discussão entre eles.	88
Figura 43 – Exemplo de dados coletados por uma das equipes de estudantes. Em 43a esses dados estão organizados em uma tabela que contém a voltagem obtida para diversos valores de corrente para o LED fornecido. Em 43b esses dados estão organizados em um gráfico construído pelos estudantes.	89
Figura 44 – Fotografias dos estudantes realizando o experimento e coletando os dados experimentais.	89
Figura 45 – Exemplos de respostas para as questões presentes no roteiro experimental. .	90
Figura 46 – Gráfico dos dados experimentais para o resistor. Na imagem podemos notar que os estudantes ligaram os pontos experimentais.	90
Figura 47 – Imagens dos estudantes preenchendo os roteiros experimentais e respondendo as questões propostas.	91

Figura 48 – Imagens de compartilhamentos que os estudantes fizeram em suas redes sociais. Os quadros verdes foram usados para cobrir informações pessoais do perfil dos estudantes.	91
Figura 49 – Respostas dos estudantes sobre a contribuição das diversas metodologias utilizadas na sequência didática para o entendimento da matéria. Em 49a avaliamos o uso de <i>softwares</i> de simulação, em 49b a metodologia <i>Peer Instruction</i> e em 49c o uso de experimentação.	92
Figura 50 – Respostas dos estudantes indicando se a sequência didática contribui para o entendimento da matérias.	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Perguntas e resposta do questionário usado para verificar a pescepção dos estudantes referente as diversas metodologias de ensino empregadas.	64
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	Aspectos gerais	18
1.2	Apresentação do trabalho	20
1.3	Estrutura do trabalho	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1	FMC nos livros-texto do PNLD	23
2.2	Estado da arte para o ensino de FMC	24
2.3	Justificativa do trabalho	26
3	LED - DIODO EMISSOR DE LUZ	27
3.1	A Física dos diodos emissores de luz	28
3.1.1	<i>Semicondutor</i>	28
3.1.2	<i>Teoria de Bandas</i>	32
3.1.2.1	<i>Modelo de Bohr para o Átomo de Hidrogênio</i>	33
3.1.2.2	<i>Estruturas mais complexas e bandas de energia</i>	36
3.2	Junção PN	42
3.2.1	<i>Interpretação da barreira de potencial</i>	47
3.2.2	<i>Condução elétrica na junção PN</i>	48
3.2.3	<i>Recombinação elétron-buraco</i>	50
4	FUNDAMENTAÇÃO PEDAGÓGICA E METODOLÓGICA	52
4.1	Vygotsky e a Teoria Sociointeracionista	52
4.2	Método <i>Peer Instruction</i> - Instrução por Pares	53
4.2.1	<i>Plickers para aquisição e análise das respostas</i>	57
4.2.2	<i>Método <i>Peer Instruction</i> e a Teoria Sociointeracionista</i>	59
4.3	Ensino por experimentação	60
4.4	Ensino por experimentação e a Teoria Sociointeracionista	61
5	APRESENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	63
5.1	Produto educacional	63
5.1.1	<i>Aula 01 - Condutividade de Materiais</i>	65
5.1.2	<i>Aula 02 - Átomo de Bohr e espectro de emissão</i>	65
5.1.3	<i>Aula 03 - Observação de espectros</i>	66

5.1.4	<i>Aula 04 - Bandas de energia e gap de energia</i>	67
5.1.5	<i>Aula 05 - Funcionamento de um LED</i>	68
5.1.6	<i>Aula 06 - Atividade experimental</i>	68
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	70
6.1	Aula 01 - Condutividade de Materiais	70
6.2	Aula 02 - Átomo de Bohr e espectro de emissão	76
6.3	Aula 03 - Observação de espectros	81
6.4	Aula 04 - Bandas de energia e gap de energia	85
6.5	Aula 05 - Funcionamento de um LED	86
6.6	Aula 06 - Atividade experimental	88
6.7	Avaliação dos estudantes sobre a sequência didática	92
7	CONCLUSÕES	94
	REFERÊNCIAS	96
	APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL.	101

1 INTRODUÇÃO

1.1 Aspectos gerais

A discussão sobre modificações no currículo de Física do Ensino Médio (EM), apesar de antiga, enfrenta diversos gargalos para que modificações possam ser implementadas de forma efetiva. Aqui podemos elencar a progressiva redução de carga horária da Física no EM e a frágil formação do professor de Física no que diz respeito à transposição didática de determinados conteúdos.

A exemplo disso temos a inclusão de tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no EM. Essa é uma discussão de décadas (Terrazzan, 1992; Ostermann, Cavalcanti, 1999) que atualmente já encontra-se contemplada na BNCC em vários pontos. Ainda no final do Ensino Fundamental (EF) podemos ver explicitadas habilidades que referenciam a FMC na componente curricular de Ciências do 9º ano:

(EF09CI06) Classificar as radiações eletromagnéticas por suas frequências, fontes e aplicações, discutindo e avaliando as implicações de seu uso em controle remoto, telefone celular, raio X, forno de micro-ondas, fotocélulas etc.

(EF09CI07) Discutir o papel do avanço tecnológico na aplicação das radiações na medicina diagnóstica (raio X, ultrassom, ressonância nuclear magnética) e no tratamento de doenças (radioterapia, cirurgia ótica a laser, infravermelho, ultravioleta etc.). (Brasil, 2018, pg. 351).

A presença dessas habilidades mostra a importância de alinhar os conteúdos escolares com situações reais que enfoquem ciência, tecnologia e sociedade.

No EM isso deve ser um objeto de ainda maior preocupação considerando a finalidade dessa etapa. Não podemos pensar no EM como apenas uma etapa que antecede o Ensino Superior (ES), uma vez que essa não é a realidade de boa parte dos estudantes brasileiros. Em dados de 2023, divulgados pelo INEP, de estudantes concluintes do EM que participaram do ENEM esse valor é de 50,8%, reduzindo ainda mais quando são analisados apenas os estudantes da Rede Pública. Nesse último caso, apenas 46,7% dos concluintes do EM em 2023 participaram do ENEM, que é a maior porta de entrada para o ES no Brasil (Brasil, 2024).

Esses percentuais não refletem o número de estudantes que continuarão no ES, que é ainda menor considerando a oferta de vagas. Ou seja, a realidade é que uma minoria segue em

cursos superiores, e um número menor seguirá áreas de ciência e tecnologia, e dessa forma o EM deve ser tratado como uma etapa de terminalidade.

No EM, a BNCC traz as seguintes habilidades a serem desenvolvidas com os estudantes (Brasil, 2018), nas quais pode-se trabalhar tópicos de FMC:

(EM13CNT103) Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, no ambiente, na indústria, na agricultura e na geração de energia elétrica.

(EM13CNT104) Avaliar os benefícios e os riscos à saúde e ao ambiente, considerando a composição, a toxicidade e a reatividade de diferentes materiais e produtos, como também o nível de exposição a eles, posicionando-se criticamente e propondo soluções individuais e/ou coletivas para seus usos e descartes responsáveis. (Brasil, 2018, pg. 555).

(EM13CNT205) Interpretar resultados e realizar previsões sobre atividades experimentais, fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas noções de probabilidade e incerteza, reconhecendo os limites explicativos das ciências.

(EM13CNT209) Analisar a evolução estelar associando-a aos modelos de origem e distribuição dos elementos químicos no Universo, compreendendo suas relações com as condições necessárias ao surgimento de sistemas solares e planetários, suas estruturas e composições e as possibilidades de existência de vida, utilizando representações e simulações, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação e de realidade virtual, entre outros). (Brasil, 2018, pg. 557).

Por exemplo, na habilidade EM13CNT103 é necessário garantir que o estudante tenha conhecimento sobre a temática de radiação, ou seja, o que são as ondas eletromagnéticas e quais são suas características, o que é a radiação de corpo negro e o efeito fotoelétrico. Nessa habilidade, além das aplicações tecnológicas, é importante desenvolver conceitos de espectroscopia e modelos atômicos.

Ainda para exemplificar, na habilidade EM13CNT104, ao ser trabalhada na área da Física é esperado que sejam trabalhados os processos de reações nucleares e suas aplicações na geração de energia, além de discutir as consequências à exposição a elementos radioativos, explorando assim as possibilidades de aplicações tecnológicas.

Atualmente são inúmeros os trabalhos com propostas de ensinar FMC em turmas de ensino médio. Considerando apenas o polo do MNPEF da UFC, a primeira dissertação nessa temática é de 2016 e propunha ensinar os tópicos de Física de Partículas, Física Nuclear e Radioatividade usando conjuntos táteis-visuais de forma a contemplar simultaneamente estudantes com e sem deficiência visual (Souza, 2016).

Desde essa primeira dissertação, já foram finalizadas outras dissertações na área de FMC no polo do MNPEF da UFC. Dentre esses trabalhos podemos destacar a proposta de

jogos educativos para o ensino das temáticas de corpo negro, efeito fotoelétrico, fóton e modelos atômicos (Araújo, 2018); aplicações experimentais para o ensino do efeito fotoelétrico (Sousa, 2018) e uso de simulações computacionais para ensinar sobre interação da luz com a matéria (Mesquita, 2022).

Em um artigo de revisão da literatura, Marques e colaboradores analisaram a recorrência dos temas de FMC e sua abordagem no EM. Durante o intervalo de 10 anos, entre 2008 e 2018, em três revistas conceituadas de Ensino de Física - Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF), Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF) e Revista Brasileira de Ciência e Tecnologia (RBCT) - foram encontrados 78 trabalhos sobre a temática, 40 destes trabalhos traziam aspectos de ensino e aprendizagem. Pode ser observado que atualmente vem diminuindo o número de artigos que buscam justificar a presença da FMC no EM já que os documentos oficiais já estimulam que esses conteúdos sejam abordados. Em contrapartida há um aumento de trabalhos que propõem intervenções didáticas (Marques *et al.*, 2019).

Mesmo com o progressivo aumento de trabalhos na temática de FMC, uma minoria discute resultados de implementação em salas de aula (Marques *et al.*, 2019). Dessa forma, podemos concluir que trabalhos completos que buscam discutir não só a prática mas também os resultados da implementação dessa prática ainda são trabalhos relevantes no contexto da área de ensino de Física.

1.2 Apresentação do trabalho

Essa dissertação tem como objetivo principal apresentar uma proposta pedagógica para ensinar como funciona um LED e para chegar nesse objetivo propusemos diversas aulas com múltiplas atividades que percorrem temas da FMC.

O LED é um dispositivo eletrônico que está presente em diversos equipamentos, desde lâmpadas domésticas até instrumentos sofisticados para a transmissão de dados via fibras ópticas. O LED é um dispositivo eletrônico construído a partir de materiais semicondutores, que são os materiais que compõem a maior parte da tecnologia atual. Por isso, inserir essa temática no EM, que além de proporcionar a inclusão de temas do dia a dia dos estudantes e apresentar áreas de ciência e tecnologia, poderá incentivar que os estudantes sigam suas carreiras nessas áreas (Siqueira, 2023).

Dentre as contribuições dessa dissertação propomos o estudo do LED de forma aprofundada e completa. Buscamos explicar o que são semicondutores e suas versões dopadas

não apenas quanto a características elétricas mas também apresentando os conceitos de bandas de energia e *gap* de energia para condutores, semicondutores e isolantes. Para isso sugerimos o uso de simuladores como recursos didáticos.

Para promover o entendimento da cor da luz emitida por um LED propomos inicialmente estudar os espectros discretos a partir do modelo de Bohr incluindo a observação de diferentes tipos de fontes usando um espectrômetro simples.

E, usando simulações, apresentamos o que seria a junção PN e de que forma ocorre a condução elétrica e a emissão de luz por um LED. Além de uma última atividade experimental para que os estudantes possam comparar o comportamento elétrico de um LED e de um resistor ôhmico e, através da curva $V \times I$ para o LED, calcular a constante de Planck.

Além da proposta de uma transposição didática rica em detalhes, descrevemos no capítulo 3 dessa dissertação o funcionamento do LED. Esse capítulo tem o objetivo de tratar em detalhes a junção PN e os processos de condução elétrica e recombinação elétron-buraco em LEDs, principalmente com o objetivo de discutir as limitações do experimento para a determinação da constante de Planck.

Para verificar o nível de assimilação dos estudantes propusemos trabalhar com questões conceituais usando a metodologia *Peer Instruction*. A escolha dessa metodologia foi fundamentada por promover maior engajamento dos estudantes. Ao incentivar a interação entre os estudantes, coloca-os em uma posição ativa, compartilhando assim a responsabilidade pelos estudos.

É importante ressaltar ainda que o uso de questões conceituais para o ensino de FMC no EM é adequado já que são temas que podem ser tratados com poucos cálculos e dando ênfase nos conceitos e aplicações. Para uma maior eficiência da metodologia usamos o aplicativo Plickers, que é capaz de fornecer estatísticas das respostas às questões no momento da aula.

1.3 Estrutura do trabalho

A dissertação está organizada em 7 capítulos: no presente capítulo fizemos uma breve introdução da área ressaltando as possibilidades do ensino de FMC segundo os documentos nacionais de referência e fazendo uma apresentação geral do trabalho apresentado nessa dissertação.

No capítulo 2 discutimos o presente estado da arte no panorama brasileiro, apresentando trabalhos relevantes já desenvolvidos nos diversos polos do MNPEF e em artigos

científicos. Ainda fizemos a análise do tratamento da temática nos livros-texto do PNL D.

No capítulo 3, apresentamos os fundamentos teóricos para o funcionamento de um dispositivo LED, desde o estudo da teoria de semicondutores, a teoria de níveis e bandas de energia, a junção PN que forma o LED e os processos de condução elétrica e emissão de luz por recombinação elétron-buraco.

No capítulo 4, apresentamos os fundamentos pedagógicos considerados para a elaboração desse trabalho, incluindo a Teoria de Aprendizagem de Vygotsky, cujas bases são o sociointeracionismo. Apresentaremos também as metodologias de ensino empregadas no produto educacional, o método *Peer Instruction* e o ensino por experimentação.

No capítulo 5, faremos a apresentação do produto educacional, destacando sua estruturação e descrevendo de que forma o mesmo deve ser aplicado em turmas de Ensino Médio.

No capítulo 6, faremos a apresentação dos resultados obtidos com a aplicação do respectivo produto educacional e, no capítulo 7, apresentamos as conclusões gerais após a aplicação do produto educacional proposto neste trabalho.

Por se tratar de um mestrado profissional, em uma seção anexa apresentamos o produto educacional utilizado como objeto de estudo dessa dissertação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Uma análise detalhada do estado da arte com relação ao ensino de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Básico deve abarcar tanto as literaturas oficiais, representadas pelos livros-texto do Plano Nacional do Livro Didático quanto trabalhos produzidos em meio acadêmico e que propõem métodos e técnicas de ensino e aprendizagem complementares. São essas análises que serão apresentadas nas próximas seções.

2.1 FMC nos livros-texto do PNLD

Considerando os livros-texto de Física do EM, ao analisar 3 dos principais livros-texto do Programa Nacional do Livro Didático de 2018 (PNLD) (Brasil, 2018) encontramos em todos eles a temática dos semicondutores (Biscuola *et al.*, 2016c; Luz *et al.*, 2016; Yamamoto, Fuke, 2016). No entanto, a abordagem utilizada tem caráter de divulgação científica, com textos introdutórios sobre este tema. Sobre a FMC, os 3 livros exploram as teorias da relatividade restrita de Einstein e os principais tópicos da teoria quântica: corpo negro, efeito fotoelétrico e espectros discretos, apenas em um dos livros textos foram ainda encontrados tópicos de Física Nuclear (Yamamoto; Fuke, 2016).

Na coleção de Física dos autores Helou, Guaber e Newton, composta por três livros-texto, são encontradas seções chamadas de “Intersaberes” e “Ampliando o olhar” que complementam os conteúdos apresentados nos capítulos, ilustrando situações em que as temáticas trabalhadas no capítulo estão presentes. Nessas seções, ainda nos volumes 1 e 2, é possível observar a discussão de temáticas de FMC.

No volume 1, por exemplo, é apresentado o tópico “Salvo pelo neutrino” (Biscuola *et al.*, 2016a), que apresenta a temática de Física de Partículas; essas seções não se aprofundam nos temas, se limitam apenas a recortes históricos na sua maioria. Enquanto no volume 2, encontramos seções que discutem Física Nuclear, “Uma reflexão sobre a energia nuclear” e a Teoria da Relatividade Geral em seções com título “Teoria da Relatividade Geral” e “Os quasares e as lentes gravitacionais” (Biscuola *et al.*, 2016b).

A presença desses tópicos ainda que nos volumes 1 e 2, mostra a importância da FMC no Ensino de Física atual, e a necessidade de alfabetização científica possibilitando que os estudantes disponham de conhecimentos científicos e tecnológicos conforme preconiza a BNCC.

O volume 3 é destinado ao estudo da Eletricidade e da Física Moderna, justamente os tópicos de Física explorados nessa dissertação. O estudo de semicondutores é sugerido em uma seção "Descubra mais", na qual são propostos estudos sobre a temática. Com relação aos dispositivos LED, apenas o comportamento de condução elétrica é apresentado. Nos temas de Física Moderna estão presentes a descrição do modelo atômico de Bohr e como ele explica a existência de espectros descontínuos de emissão em gases (Biscuola *et al.*, 2016c).

Na coleção de Física dos autores Máximo, Alvarenga e Guimarães também podemos observar nos volumes 1 e 2 temas de FMC apresentados em tópicos com o objetivo de divulgação científica. Entretanto, nessa coleção a temática de semicondutores está bem mais explícita. São apresentados os semicondutores do tipo N e do tipo P e os dispositivos elétricos criados a partir da junção desses. Entretanto não são apresentados cálculos e nem mesmo gráficos que possibilitem discutir o comportamento elétrico desses dispositivos. O modelo atômico de Bohr e o espectro atômico nessa coleção não são estudados com profundidade, apenas mostrando resultados sem qualquer demonstração (Luz, *et al.*, 2016).

Finalmente, na coleção de Física dos autores Kazunita e Fuke, os temas de Eletricidade e Física Modernas são apresentados apenas no volume 3 (Yamamoto, Fuke, 2016). Entretanto são feitas abordagens superficiais quando comparadas às demais coleções.

Apesar de presente em todos os três livros, os temas de semicondutores, diodos e LEDs são trabalhados de forma mais aprofundada na coleção dos autores Máximo, Alvarenga e Guimarães, na qual apesar da ausência de um tratamento quantitativo, que se repete nas demais literaturas, são apresentados qualitativamente com uma riqueza maior de detalhes. Com relação aos temas modelo atômico de Bohr e espectros atômicos, a coleção dos autores Helou, Guaber e Newton tem um tratamento notavelmente superior às demais, por tratar dos temas inclusive de forma quantitativa minuciosa.

2.2 Estado da arte para o ensino de FMC

Após essa análise de exemplos da literatura oficial podemos concluir que são necessários trabalhos que proponham formas de abordar o ensino de FMC no EM com a perspectiva de aplicações tecnológicas cotidianas semelhante à que será proposta nesse trabalho.

Na perspectiva de produzir um texto adequado tanto do ponto de vista da abordagem pedagógica quanto com relação ao conteúdo a ser abordado dentro da temática da FMC no EM, foram analisados especialmente alguns trabalhos de dissertação do MNPEF que tratam de

assuntos similares, além de outros trabalhos recentes dentro da mesma área. Isso permitiu ainda que este trabalho pudesse tratar de forma complementar àquelas propostas similares, visando assim propor um produto educacional moderno e viável para ser aplicado em sala de aula.

Considerando os trabalhos recentes que apresentam objetivos similares ao deste podemos destacar aqueles que utilizam propostas experimentais com LEDs para estudar o comportamento elétrico desses dispositivos em circuitos simples (Rodrigues, 2015; Silva, 2021; Alves, 2017; Siqueira, 2022; Fazolo, 2023). Esses trabalhos discutem a condutividade dos semicondutores, de que maneira é possível modificar essa característica e os elementos que são construídos a partir desses materiais combinados, como os diodos, os LEDs e os transistores.

Na proposta apresentada por Rodrigues, os estudantes devem utilizar sucata eletrônica para aprender sobre componentes elétricos e circuitos. Nesse ambiente são introduzidos os conceitos de semicondutores, formas de dopagem e diodos. Objetivando a construção de uma fonte de tensão contínua a partir desses componentes eletrônicos reaproveitados Rodrigues explora exclusivamente a temática de eletrodinâmica (Rodrigues, 2015).

Outra referência que traz como objetivo principal o estudo da eletrodinâmica é a proposta de Humberto. Nessa proposta são apresentados aos estudantes diferentes elementos de circuitos, fonte de tensão, resistores e o LED e as regras de associação para construção de circuitos elétricos, incluindo o estudo do comportamento elétrico através da construção de curvas $V \times I$ desse último (Silva, 2021).

O trabalho de Alves propõe o estudo de LEDs no EM pela introdução de conceitos de ondas mecânicas, evoluindo para ondas eletromagnéticas e a introdução do modelo atômico de Bohr. Usando um experimento demonstrativo de variação de intensidade luminosa para ilustrar o funcionamento desse dispositivo (Alves, 2017).

Siqueira, propõe uma sequência didática para estudar os semicondutores de forma aprofundada, objetivando entender o funcionamento dos dispositivos construídos a partir deles, como os diodos, LEDs e transistores. Nesse trabalho o objetivo final é um circuito medidor de nível de água e dessa forma explorar com os estudantes as características elétricas dos circuitos (Siqueira, 2022). Nesse trabalho os temas de FMC não são explorados, apenas a temática da eletrodinâmica.

No trabalho “O ensino por investigação como abordagem didática para o estudo da condução de eletricidade em sólidos semicondutores”, o autor explora a comparação dos LEDs com as lâmpadas convencionais, discute o conceito de eficiência energética e os mecanismos

físicos microscópicos que caracterizam o comportamento elétrico de LEDs (Fazolo, 2023).

Um outro conjunto de trabalhos objetiva relacionar a emissão de luz pelos LEDs com a FMC, e através de experimentação obter a constante de Planck (Maciel, 2015; Francisco, 2023).

Maciel em sua dissertação propõe uma sequência didática para estudar conceitos de Física Moderna utilizando simuladores para explicar a radiação de corpo negro e o efeito fotoelétrico, além de determinar a constante de Planck com um experimento que utiliza as curvas elétricas de LEDs (Maciel, 2015).

Já em “A Física Moderna através das tecnologias na realidade angolana: experimento da constante de Planck com LEDs”, o autor justifica a importância do experimento considerando a possibilidade de conectar teoria e prática, por ser um experimento acessível pode ser realizado em escolas com dificuldades de acesso a laboratórios mais sofisticados (Francisco, 2023).

2.3 Justificativa do trabalho

Considerando as referências bibliográficas oficiais e não oficiais analisadas é possível verificar uma boa quantidade de trabalhos que exploram o ensino de semicondutores no Ensino Básico, mostrando a relevância da temática. A FMC também aparece nas literaturas oficiais e já existem literaturas que trazem relação com os dispositivos LEDs, tanto pra explicar a coloração, através do modelo atômico de Bohr, quando para determinar a constante de Planck.

Essa dissertação tem como proposta usar o dispositivo LED para, através dessa temática geradora, ensinar tópicos de FMC. Com esse objetivo foram utilizados diversos métodos de ensino conjugados às aulas expositivas: experimentação qualitativa e quantitativa; simuladores e a avaliação através de questões utilizando a metodologia *Peer Instruction*.

3 LED - DIODO EMISSOR DE LUZ

Os primeiros estudos que indicam a descoberta do LED são de 1907 quando H. J. Round estava trabalhando com um cristal de Carbeto de Silício - SiC, também chamado de *carborundum* (Zheludev, 2007; Schubert, Kim 2005). Ao aplicar uma diferença de potencial nos terminais de um diodo feito desse cristal semiconductor observou a emissão de luz amarela. Observou ainda que o aumento da diferença de potencial aplicada implicava na geração de diferentes cores por esse dispositivo. Independentemente, O. Lossev, um físico da União Soviética, publicou diversos trabalhos que retratam a descoberta do que hoje chamamos de LED. Seus resultados mais relevantes iniciaram-se em 1920 quando Lossev observou a emissão de luz por diodos retificadores fabricados a partir de cristal de Óxido de Zinco (ZnO) e Carbeto de Silício (SiC) quando uma corrente elétrica passava por eles (Novik, 2004).

Já em seu primeiro trabalho Lossev estabeleceu a existência de uma corrente de *threshold*, também conhecida por *corrente de corte*, para que ocorra a emissão de luz pelo cristal de Carbeto de Silício e registrou o espectro dessa luz. Lossev ainda entendeu a natureza “não térmica” dessas emissões e realizou medidas das chamadas curvas características $V \times I$, de corrente em função da tensão aplicada nesses dispositivos. Lossev usou a teoria quântica de Einstein para explicar esse processo de emissão que foi chamado de “efeito fotoelétrico inverso”. Foi ainda capaz de propor uma expressão matemática relacionando a diferença de potencial aplicada no diodo, V , a carga elétrica, e , e a frequência da luz emitida f ,

$$f = \frac{eV}{h}, \quad (3.1)$$

sendo h a constante de Planck (Lossev, 1928). Essa expressão, dada em 3.1, é amplamente usada ainda hoje inclusive em práticas pedagógicas que propõem a determinação dessa constante a partir de um sistema experimental relativamente simples (André, André, 2014; Zhou, Cloninger 2008).

Somente na década de 60 um LED foi desenvolvido com finalidades comerciais pelo americano Nick Holonyak Jr. Esse primeiro dispositivo marca o nascimento do LED produzido industrialmente e que emitia luz no espectro visível com comprimento de onda de 710 nm (Bergh *et al.*, 2001).

Apesar da alta velocidade com que as tecnologias atuais se desenvolvem, o desenvolvimento de dispositivos do tipo LED ainda é um campo de pesquisa ascendente. Por exemplo, o LED de cor azul foi desenvolvido somente em 1993 pelo engenheiro japonês Shuji Nakamura, e representou um grande avanço na área sendo premiado em 2014 com o Nobel de Física por esse feito (Nakamura, 2015). E somente em 1996 foi comercializado o LED de luz branca muito usado em iluminação (Cho, 2017).

3.1 A Física dos diodos emissores de luz

O LED é um dispositivo construído a partir de um material semicondutor, que por ter na sua estrutura impurezas é capaz de conduzir corrente elétrica. A existência dessas impurezas permite a criação de junções PN, que através da recombinação de elétrons e buracos produz luz, radiação eletromagnética, por um processo chamado de “eletroluminescência”. Nos tópicos a seguir vamos explicar em detalhes o funcionamento do LED.

3.1.1 Semicondutor

Podemos classificar os materiais na natureza considerando a capacidade dos mesmos de conduzir corrente, e nesse caso podemos dividi-los em isolantes ou não condutores, condutores e semicondutores. Os semicondutores são assim chamados por possuírem condutividade elétrica intermediária quando comparado aos demais tipos de materiais (metais e isolantes).

Na Figura 1 temos uma tabela periódica completa cujos elementos destacados em verde são os denominados semicondutores intrínsecos.

Além dos semicondutores intrínsecos, compostos envolvendo não apenas esses elementos, como o Arseneto de Gálio, GaAs, apresentam propriedades elétricas semicondutoras. A condução elétrica nesses materiais se dá pelo movimento de dois tipos de portadores de carga, os elétrons e os buracos. Elétrons são partículas carregadas negativamente, enquanto os buracos, são posições nas ligações elétricas que deveriam estar preenchidas mas, por falta de elétrons, estão vazias, e por isso chamamos de buracos. Esses buracos se comportam como portadores de carga positiva. Em um material semicondutor intrínseco elétrons e buracos estão em mesmo número.

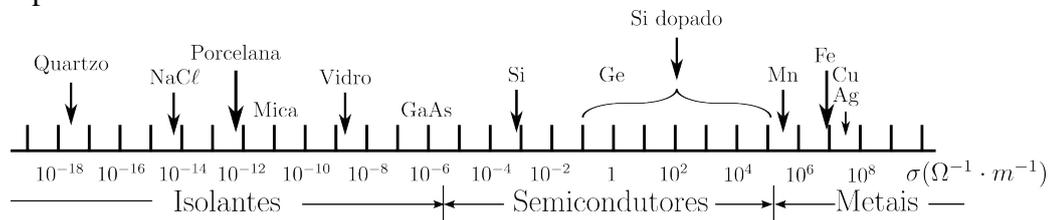
Na Figura 2 estão representados valores de condutividade elétrica para isolantes,

Figura 1 – Tabela periódica completa. Os elementos denominados semicondutores intrínsecos estão destacados em verde.

Fonte: Tabela Periódica Completa (Periódica, 2024).

semicondutores e metais. Na escala estão indicados alguns representantes típicos desses materiais. Os valores estimados são para os materiais na temperatura ambiente. Podemos observar que os semicondutores são materiais que apresentam condutividade elétrica aproximadamente entre $10^{-5} \Omega^{-1}m^{-1}$ e $10^5 \Omega^{-1}m^{-1}$.

Figura 2 – Escala de condutividade σ em unidade de $\Omega^{-1}m^{-1}$ para alguns materiais isolantes, semicondutores e metais. Os valores estimados são para os materiais na temperatura ambiente. Os semicondutores são materiais que apresentam condutividade elétrica entre $10^{-5} \Omega^{-1}m^{-1}$ e $10^5 \Omega^{-1}m^{-1}$, valores aproximados.

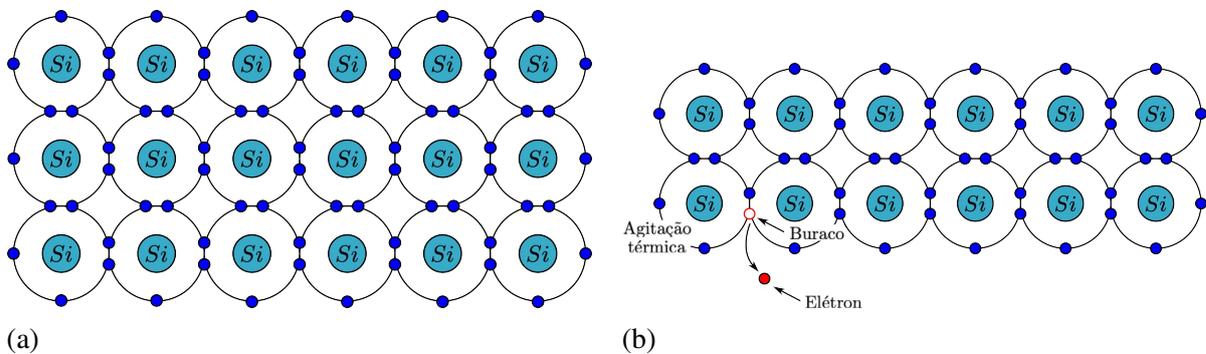


Fonte: Elaborada pela própria autora.

Na Figura 3 temos um esquema simplificado que mostra como os átomos de Silício se organizam para formar sua estrutura cristalina. Em ambas as figuras, 3a e 3b temos linhas circulares com pequenos círculos preenchidos que representam os elétrons mais externos responsáveis pelas ligações químicas. Podemos ver na Figura 3a que todos os elétrons estão ligados

formando 4 ligações químicas para cada átomo. Nessa situação o material é um mal condutor de eletricidade. Quando alguma perturbação age sobre o sistema, representada na Figura 3b por uma agitação térmica, provoca a “quebra” de algumas dessas ligações, liberando elétrons livres e criando os buracos na estrutura, como indicado. O número de elétrons livres é igual ao número de buracos criados.

Figura 3 – A Figura 3a ilustra a estrutura de Silício puro, evidenciando os elétrons mais externos que formam as ligações atômicas. Idealmente todos os elétrons estão ligados e não existem buracos na estrutura. Nessa idealização o material é um mal condutor de eletricidade. Na Figura 3b evidenciamos que qualquer pequena perturbação, inclusive térmica, já produz elétrons livres e buracos na rede.



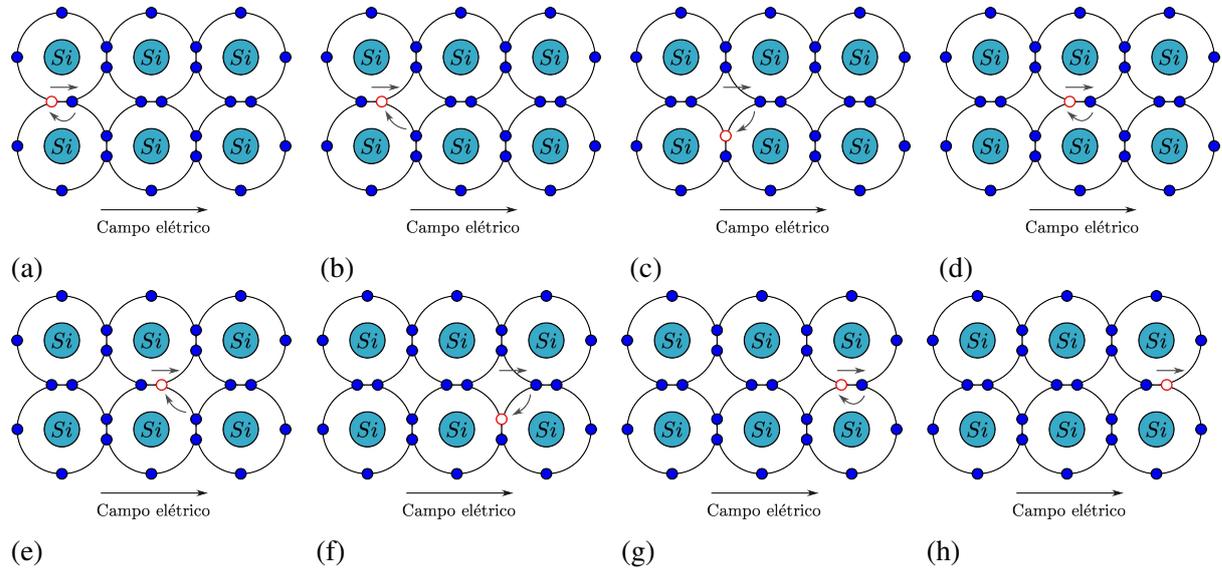
Fonte: Elaborada pela própria autora.

A partir da criação desses buracos, os elétrons podem se mover na estrutura do semiconductor quando um campo elétrico externo é aplicado. Uma vez que um elétron ocupa um desses buracos, simultaneamente um novo buraco é criado. Na Figura 4 podemos ver a sequência de movimentos de elétrons e buracos quando um campo elétrico é aplicado. Os buracos se comportam como partículas positivas e se movimentam no sentido positivo do campo elétrico, enquanto os elétrons se movimentam no sentido contrário.

Os semicondutores intrínsecos apesar de conduzirem corrente elétrica, têm baixa eficiência. Uma maneira de aumentar essa capacidade é através do acréscimo de outros átomos na rede, em quantidade extremamente baixa, chamados de impurezas. Dependendo do átomo inserido teremos excesso de elétrons livres ou de buracos. Esse processo de melhorar a condutividade de semicondutores é chamado de dopagem.

Na Figura 5 um átomo de Silício da rede é substituído por um átomo de Potássio. Podemos ver na tabela periódica da Figura 1 que o Potássio está na coluna posterior à do Silício o que significa que o mesmo tem 5 elétrons disponíveis, ao invés dos 4 disponíveis no Silício,

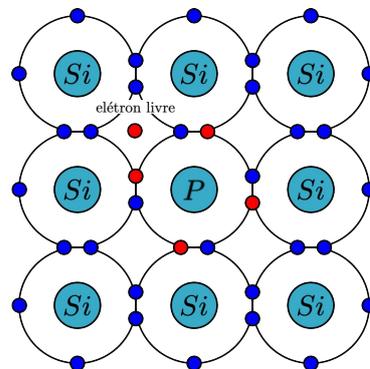
Figura 4 – Essa sequência de figuras mostra como se dá a condução elétrica em um cristal de Silício, um semiconductor intrínseco, na presença de um campo elétrico aplicado. Uma vez existindo buracos na rede, podemos ver que os elétrons se movimentam através desses buracos. Quando um elétron ocupa um determinado buraco, instantaneamente cria-se um novo buraco. Dessa forma temos simultaneamente um movimento de buracos, partículas positivas, no sentido do campo elétrico e de elétrons no sentido contrário ao campo elétrico.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

para fazer as ligações. Dessa forma além das 4 ligações que já estavam feitas na formação de Silício puro, 1 elétron fica livre.

Figura 5 – Dopagem de um semiconductor intrínseco com a substituição de átomos de Silício por átomos de Potássio. O átomo de Potássio possui 5 elétrons disponíveis para realizar as ligações com o átomo de Silício restando ainda um elétron livre na rede. O resultado é um semiconductor do tipo N.



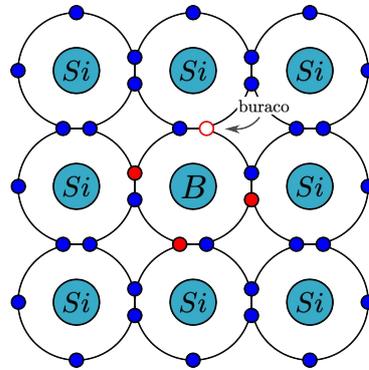
Fonte: Elaborada pela própria autora.

Esse tipo de dopagem em que o semiconductor ficará com excesso de elétrons livres gera o que chamamos de semiconductor do tipo N. É importante ressaltar que esse tipo de dopagem

não gera buracos.

Por outro lado, na Figura 6 um átomo de Silício da rede é substituído por um átomo de Boro. Na tabela periódica da Figura 1 o Boro está na coluna que antecede a do Silício o que significa que o mesmo tem 3 elétrons disponíveis, ao invés dos 4 disponíveis no Silício, para fazer as ligações. Dessa forma serão feitas 3 ligações e 1 buraco fica presente na estrutura semicondutora.

Figura 6 – Dopagem de um semicondutor intrínseco com a substituição de átomos de Silício por átomos de Boro. O átomo de Boro possui 3 elétrons disponíveis para realizar as ligações com o átomo de Silício, criando um buraco. O resultado é um semicondutor do tipo P.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

Esse tipo de dopagem em que o semicondutor ficará com excesso de buracos gera o que chamamos de semicondutor do tipo P.

3.1.2 Teoria de Bandas

Para diferenciar os metais quanto à condutividade elétrica dos mesmos devemos entender a ideia de teoria de bandas. Essa teoria descreve os materiais a partir da existência de duas bandas de energia. A introdução da teoria de bandas aconteceu durante a revolução quântica na ciência desenvolvida por Walter Heitler e Fritz London (Heitler, London, 1927).

Para construir a ideia de bandas de energia vamos partir do modelo de Bohr, modelo semi-clássico, para a descrição do átomo de Hidrogênio. Esse modelo é capaz de explicar a existência de níveis discretos de energia no espectro desse átomo.

3.1.2.1 Modelo de Bohr para o Átomo de Hidrogênio

O modelo atômico vigente, baseado nas ideias de Rutherford, apesar da verificação experimental, apresentava falhas quanto a estabilidade. Conhecido como modelo planetário, no qual os elétrons orbitam um núcleo, é estável mecanicamente, porém não é estável eletricamente. O modelo propõe que a força de Coulomb atua como resultante centrípeta para manter o átomo em uma trajetória elíptica. Porém é sabido que partículas carregadas aceleradas emitem energia em forma de radiação, o que causaria uma contínua diminuição do raio da órbita até que o elétron cairia no núcleo e neste caso os valores relativos ao tamanho do átomo seriam da ordem do raio nuclear, contrariando os resultados observados experimentalmente.

Além disso, ao espiralar em direção ao núcleo, com a aceleração variando continuamente durante o movimento, o átomo emitiria energia de forma contínua e deveria gerar um espectro contínuo de radiação. Esse resultado também não é observado experimentalmente, o espectro de emissão de átomos de Hidrogênio é discreto como podemos observar na Figura 7.

Figura 7 – As quatro linhas de emissão, no espectro visível, do átomo de hidrogênio. As linhas representadas correspondem à série de Balmer.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

Para explicar o espectro discreto Niels Bohr propôs um modelo atômico com uma matemática simples e por isso tornou-se um modelo ainda hoje muito usado para entender a estrutura atômica. O modelo se baseia em uma série de postulados (Tipler, Llewellyn, 2014; Eisberg, Resnick, 1979):

1. Um elétron em um átomo se move em uma órbita circular em torno do núcleo sob influência da atração coulombiana entre o elétron e o núcleo, obedecendo às leis da mecânica clássica.
2. Em oposição à infinidade de órbitas que seriam possíveis segundo a mecânica clássica, um elétron só pode se mover em determinadas órbitas nas quais seu momento angular orbital L é um múltiplo inteiro de \hbar .

$$L = n\hbar \quad \text{sendo} \quad \hbar = \frac{h}{2\pi} \quad \text{com} \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (3.2)$$

3. Nessas órbitas, apesar do elétron ter aceleração, não há perda de energia por emissão de radiação. Dessa forma sua energia total E permanece constante.
4. A emissão de radiação acontece somente quando o elétron muda de uma órbita permitida, de energia inicial E_i para outra também permitida com energia final E_f . A frequência da radiação emitida f é igual à quantidade $(E_i - E_f)$ dividida pela constante de Planck h .

$$f = \frac{(E_i - E_f)}{h}. \quad (3.3)$$

Os postulados de Bohr atribuem ao modelo um caráter semi-clássico, introduzindo a quantização do momento angular, o que define a existência de órbitas estáveis, contradizendo a física clássica.

Para obter resultados matemáticos, vamos considerar um átomo constituído por um núcleo de carga $+Ze$ e massa M , e um único elétron de carga $-e$ e massa m orbitando esse núcleo. Para o átomo de hidrogênio temos $Z = 1$, valores maiores de Z correspondem aos íons hidrogenoides.

As órbitas podem ser consideradas como trajetórias circulares ao redor do núcleo, com o núcleo fixo em sua origem, já que a massa do elétron é desprezível comparada a massa do núcleo $m \ll M$. Da estabilidade mecânica do elétron temos que a força de Coulomb atua como resultante centrípeta:

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r^2} \quad (3.4)$$

sendo v a velocidade do elétron em sua órbita de raio r . Temos ainda a expressão para o momento angular do elétron nessa órbita:

$$mvr = n\hbar \quad (3.5)$$

Combinando as equações 3.4 e 3.5 podemos obter uma expressão para o raio r_n das órbitas circulares permitidas:

$$r_n = 4\pi\epsilon_0 \frac{n^2\hbar^2}{mZe^2} \quad (3.6)$$

Para calcular a energia total de um elétron se movendo nessa órbita de raio r_n devemos considerar sua energia cinética e a contribuição devido à energia potencial elétrica, dessa forma teremos:

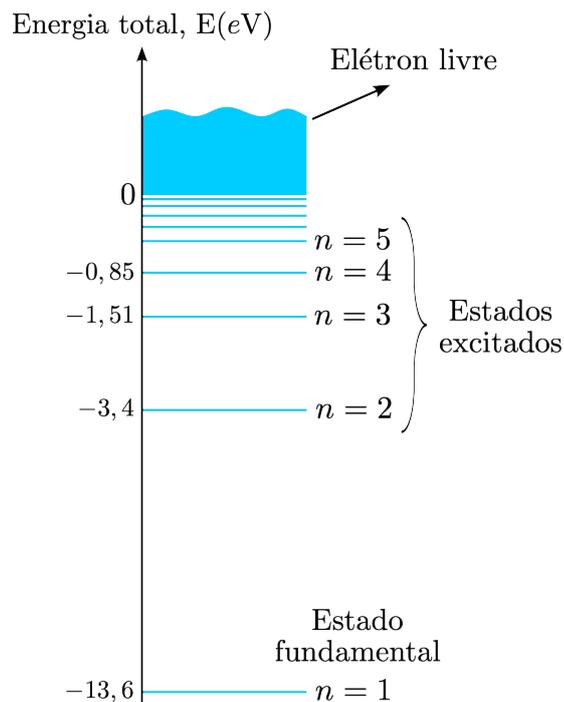
$$E = T + V \quad \Rightarrow \quad E = \frac{mv^2}{2} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r}. \quad (3.7)$$

O sinal negativo na energia potencial deve-se a força coulombiana ser atrativa. Combinando as equações 3.7, 3.5 e 3.6 podemos obter uma equação que explicita a dependência da energia E com o número quântico n correspondente:

$$E_n = -\frac{mZ^2e^4}{2(4\pi\epsilon_0)^2\hbar^2} \frac{1}{n^2}. \quad (3.8)$$

A quantização do momento angular do elétron implica na quantização de sua energia total. A informação contida na equação 3.8 pode ser representada por um diagrama de níveis como o da Figura 8.

Figura 8 – Diagrama esquemático dos níveis de energia para o átomo de Hidrogênio. No diagrama estão presentes o estado fundamental $n = 1$ e alguns estados excitados, $n = 2, 3, 4$ e 5 . Ainda está explicitado o estado do elétron livre, cuja energia é maior ou igual a zero, já que nesse caso o elétron não está mais ligado ao núcleo.

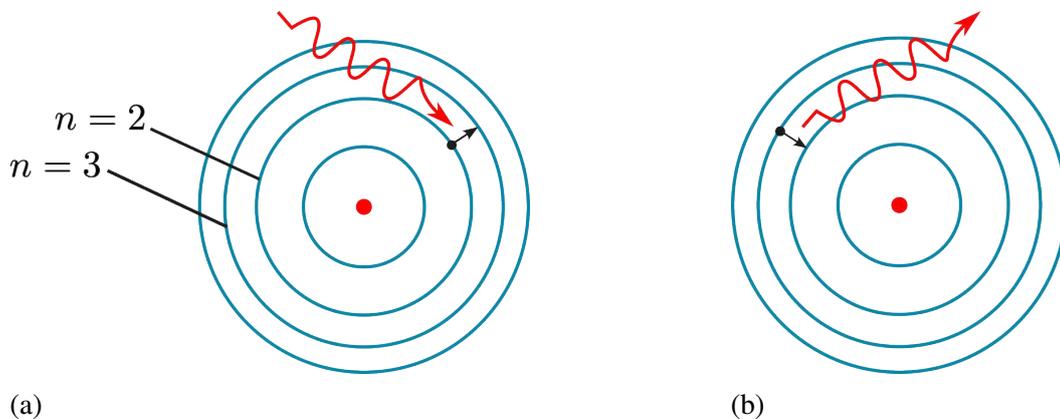


Fonte: Elaborada pela própria autora.

No diagrama da Figura 8 está representado o estado fundamental, com $n = 1$, e os primeiros estados excitados. Podemos ver que o aumento nos valores de n diminui a distância entre níveis subsequentes. Quando os valores de n tornam-se muito grandes o espaçamento entre as linhas diminui de tal forma que os níveis de energia formam praticamente um contínuo. No lado esquerdo da Figura 8 estão representados os valores correspondentes de energia dos respectivos níveis em unidades de eV . Por exemplo, o elétron no estado fundamental tem energia total $E_1 = -13,6 eV$.

O elétron pode transitar entre esses níveis permitidos. Quando o elétron faz a transição de um nível mais energético para um menos energético, um fóton é emitido. No sentido inverso é necessária a absorção de um fóton para que a transição ocorra. Na Figura 9a temos o processo que envolve a absorção de um fóton e na Figura 9b o processo que envolve a emissão de um fóton.

Figura 9 – A Figura 9a exemplifica o processo de absorção de um fóton e a consequente transição do elétron de um nível menos energético $n = 2$, no exemplo da figura, para um nível mais energético $n = 3$. Já em 9b está representado o processo de emissão de um fóton quando o elétron faz a transição de um nível mais alto de energia, no exemplo $n = 3$, para o nível $n = 2$, de menor energia.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

A frequência f do fóton emitido no processo de transição relaciona-se com os valores de energia do níveis envolvidos através da equação 3.3.

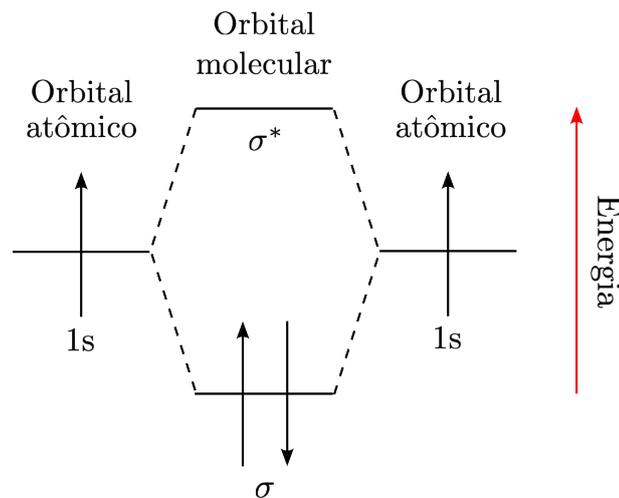
3.1.2.2 Estruturas mais complexas e bandas de energia

O modelo de Bohr descreve as transições elétricas em átomos hidrogenoides, que possuem apenas um elétron no nível de energia mais externo.

Poucos são os átomos que podem ser encontrados livres na natureza. Os únicos elementos estáveis em sua versão monoatômica são os gases nobres. Os demais elementos são mais estáveis em forma de moléculas. O caso mais simples é do Hidrogênio molecular, H_2 .

Na figura 10 temos o diagrama de energia da molécula de H_2 . Inicialmente temos dois átomos de Hidrogênio com um elétron cada um ocupando o nível de energia fundamental, na figura esses elétrons estão representados nas laterais no nível de energia 1s. Após a formação da molécula surgem dois níveis de energia representados por σ e σ^* . Na figura ambos os elétrons compartilhados pela estrutura diatômica ocupam o nível σ de energia mais baixa.

Figura 10 – Diagrama esquemático dos níveis de energia para a molécula de H_2 antes e depois da sua formação. Antes da formação da molécula os elétrons se encontram nos níveis de energia 1s, estado fundamental do átomo de Hidrogênio. Efetuada a formação da molécula temos a formação de dois níveis de energia possíveis denominados de orbitais moleculares. Na figura os dois elétrons compartilhados pela estrutura diatômica estão no nível denominado σ , de energia mais baixa. Enquanto o nível σ^* encontra-se desocupado.



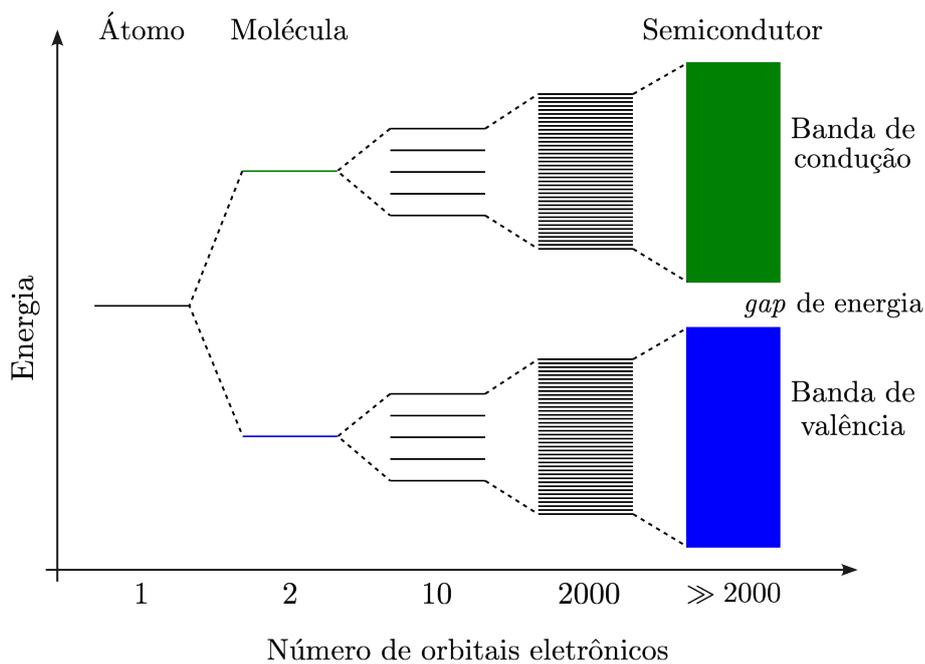
Fonte: Elaborada pela própria autora.

É válido ressaltar que as energias envolvidas nas transições energéticas $\sigma \rightarrow \sigma^*$ são bem menores do que as do átomo de Hidrogênio do nível fundamental para o primeiro estado excitado, $\Delta E_{\sigma \rightarrow \sigma^*} \ll \Delta E_{1 \rightarrow 2}$ (Mahan, Myers, 1995; Atkins *et al.*, 2018).

Esse exemplo descrito envolve apenas dois átomos formando uma molécula. O aumento contínuo de átomos envolvidos nas ligações eletrônicas gera estruturas energéticas semelhantes a essa, com desdobramentos de níveis de energia. Para o caso de um elemento semiconductor, o efeito de se colocar um grande número de átomos próximos é o aparecimento de um número tão grande de níveis de energia, que o fazem tão próximos a ponto de podermos

tratá-los como um contínuo chamado de banda de energia. A Figura 11 ilustra essa ideia de aumento do número de níveis de energia com o envolvimento de mais átomos na estrutura da molécula.

Figura 11 – Sequência de níveis de energia em moléculas. As duas primeiras colunas representam o esquema ilustrado na Figura 10. Conforme aumenta-se a complexidade das estruturas o número de níveis de energia aumenta. Para os semicondutores, o número de níveis que aparecem devidos às interações atômicas é tão grande que podem ser considerados um contínuo e, nesse caso, passam a ser tratados como bandas de energia.



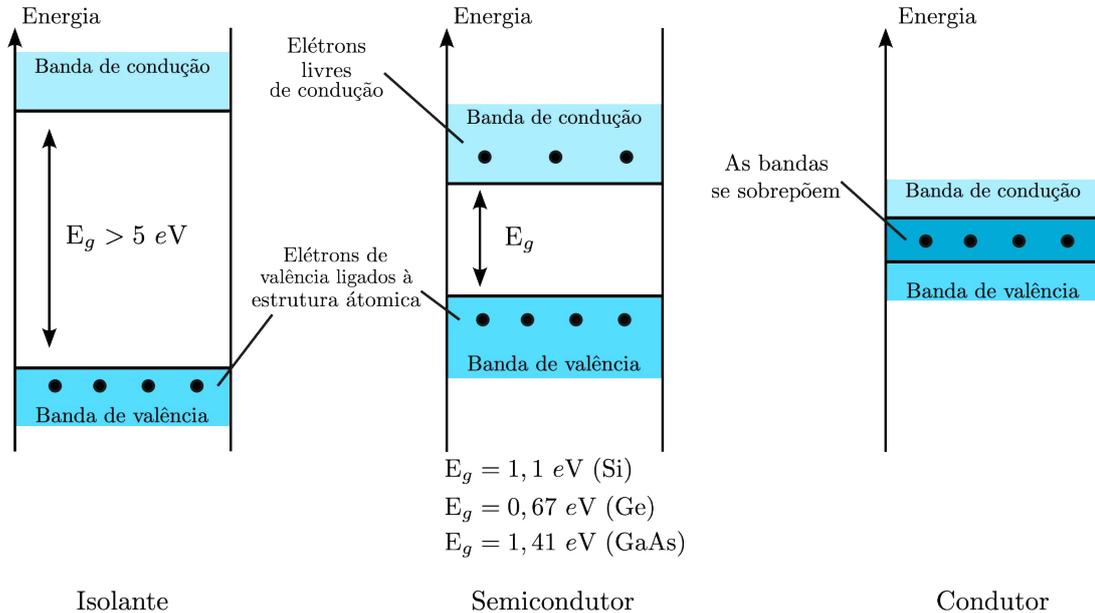
Fonte: Elaborada pela própria autora.

O conjunto de níveis de energia mais baixo é chamado de banda de valência, essencialmente preenchida de elétrons e o conjunto de níveis de energia mais alto é chamado de banda de condução. Esses conjuntos de níveis de energia são separados por uma diferença de energia ΔE_g denominada de *gap* de energia.

A banda de valência geralmente está totalmente preenchida com os elétrons mais energéticos, como ilustrado no diagrama para isolantes na Figura 12 e dessa forma os elétrons não têm mobilidade quando estão nessa banda. Já a banda de condução geralmente está vazia, ou parcialmente vazia, como no diagrama para semicondutores na Figura 12, elétrons presentes nessa banda apresentam mobilidade e o resultado macroscópico é a condução de corrente elétrica.

A característica condutora de eletricidade dos materiais pode ser entendida a partir do *gap* de energia entre as bandas de valência e condução. Na Figura 12 temos um esquema para

Figura 12 – Representação da banda de valência, *gap* de energia e banda de condução de isolantes, condutores e semicondutores.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

metais condutores, semicondutores e isolantes. Podemos observar que o *gap* de energia difere de largura a depender do tipo de material. Em metais condutores o *gap* de energia é praticamente inexistente, de forma que pequenas quantidades de energia conseguem promover a transição de um elétron da banda de valência para a banda de condução. Já nos isolantes esse *gap* de energia é muito maior e por isso a condução de corrente elétrica é tão baixa ou mesmo inexistente. Já os semicondutores possuem *gaps* de energia de valor intermediário.

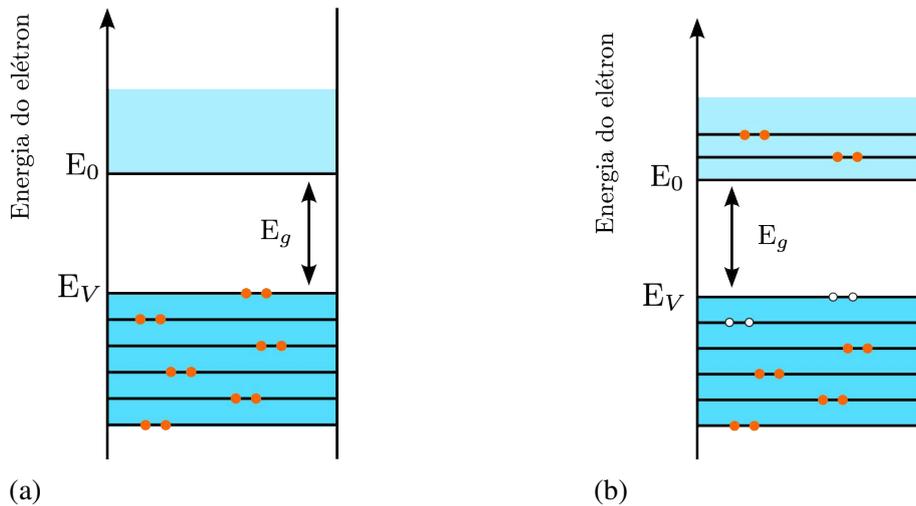
O diagrama de bandas de energia de um semicondutor intrínseco é mostrado na Figura 13 em mais detalhes.

Como já discutido anteriormente, em semicondutores intrínsecos, a corrente se estabelece devido ao movimento de elétrons livres e buracos. A corrente total, I , é a soma da corrente de elétrons I_e devido aos elétrons na banda de condução e a corrente de buracos I_b na banda de valência, portanto temos:

$$I = I_e + I_b \quad (3.9)$$

Para os semicondutores dopados, podemos entender o aumento da condutividade através da teoria de bandas a partir dos diagramas ilustrativos da Figura 14. Os dois primeiros diagramas, Figura 14a, são referentes a um semicondutor intrínseco. Na Figura 14b temos o diagrama de bandas de energia para um semicondutor do tipo N que apresenta um excesso de

Figura 13 – Diagrama de banda de energia para um semiconductor intrínseco. Em 13a a banda de valência está completamente preenchida e a banda de condução vazia, dessa forma os elétrons não têm mobilidade e o semiconductor não conduz. Em 13b podemos ver que alguns elétrons estão ocupando a banda de condução e conseqüentemente buracos podem ser vistos na banda de valência. Essa configuração é alcançada dando uma energia ΔE_g , correspondente ao *gap*, necessária para os elétrons transicionarem entre as bandas e dessa forma o semiconductor passa a ser capaz de conduzir corrente.

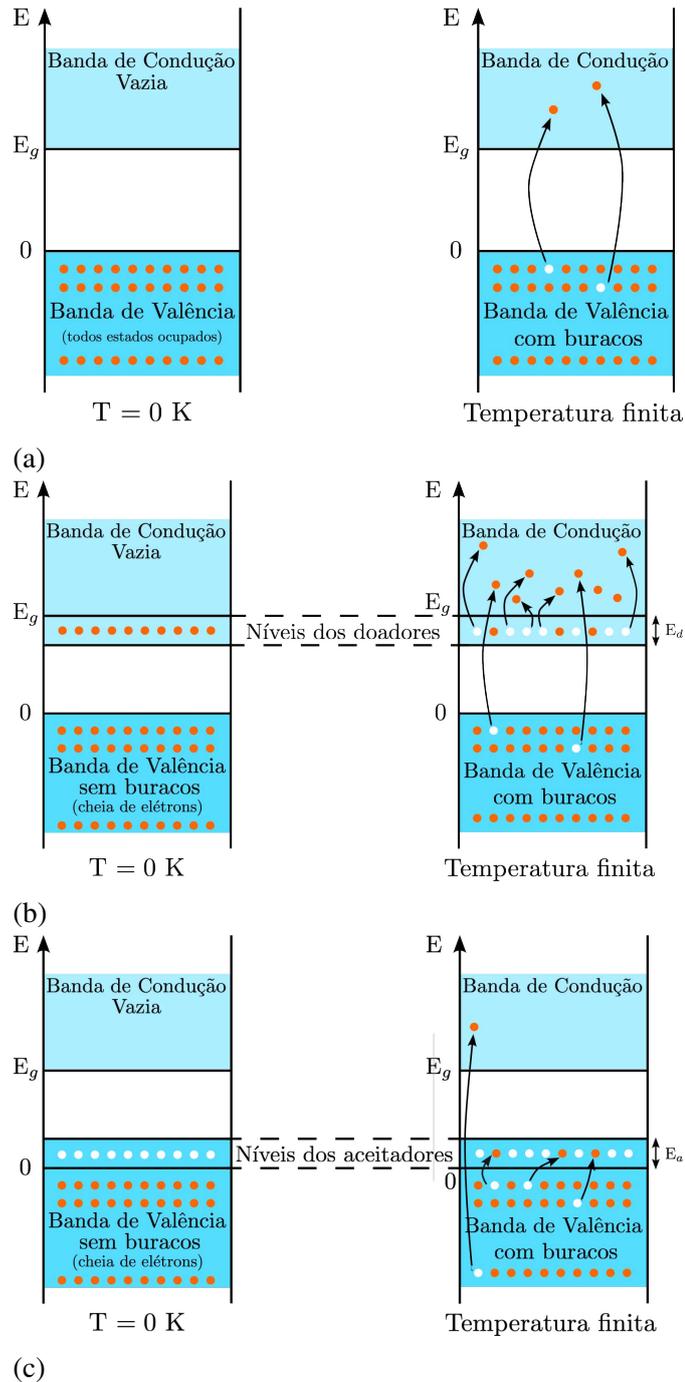


Fonte: Elaborada pela própria autora.

elétrons. Os elétrons excedentes ocupam uma banda de energia imediatamente inferior a banda de condução e dessa forma a ocupação da banda de condução é facilitada e o semiconductor passa a ter uma condutividade bastante superior à do semiconductor intrínseco, aumentando o valor da corrente de elétrons, I_e .

Já nos semicondutores do tipo P, cujo diagrama de bandas de energia está representado na Figura 14c, os buracos excedentes ocupam uma banda de energia próxima a banda de valência o que aumenta a corrente de buracos I_b e conseqüentemente a condutividade do semiconductor.

Figura 14 – Em 14a temos a representação do diagrama de bandas de um semiconductor intrínseco. Em 14b temos a mesma representação para um semiconductor do tipo P. O elétrons excedentes ocupam uma banda de energia imediatamente inferior à banda de condução e dessa forma a ocupação da banda de condução é facilitada e o semiconductor passa a ter uma condutividade maior do que a do semiconductor intrínseco. Por fim, em 14c, temos a representação de bandas para um semiconductor do tipo N, em que os buracos excedentes ocupam uma banda de energia próxima à banda de valência o que aumenta a corrente de buracos e consequentemente a condutividade do semiconductor.

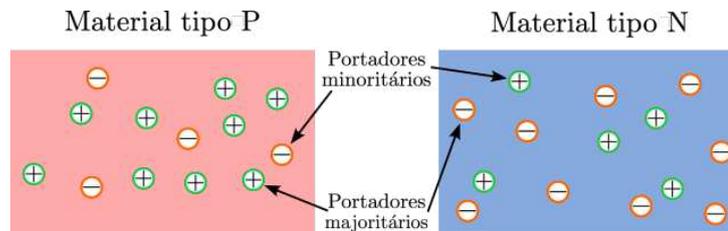


Fonte: Elaborada pela própria autora.

3.2 Junção PN

A estrutura básica de um LED é uma junção PN. Uma junção PN é a justaposição de um semiconductor do tipo P com um semiconductor do tipo N. Na Figura 15 temos lado a lado esquemas desses dois tipos de material antes da justaposição. Em vermelho um semiconductor do tipo P, cujos portadores majoritários são os buracos, e em azul um semiconductor do tipo N, cujos portadores majoritários são os elétrons. Vale ressaltar que antes da junção, ambos os semicondutores são neutros, os elétrons e buracos em excesso apenas aumentam a condutividade dos materiais por apresentarem maior mobilidade na rede mas não tornam os materiais eletrizados.

Figura 15 – Na figura em vermelho um semiconductor do tipo P, cujos portadores majoritários são os buracos, e em azul um semiconductor do tipo N, cujos portadores majoritários são os elétrons.



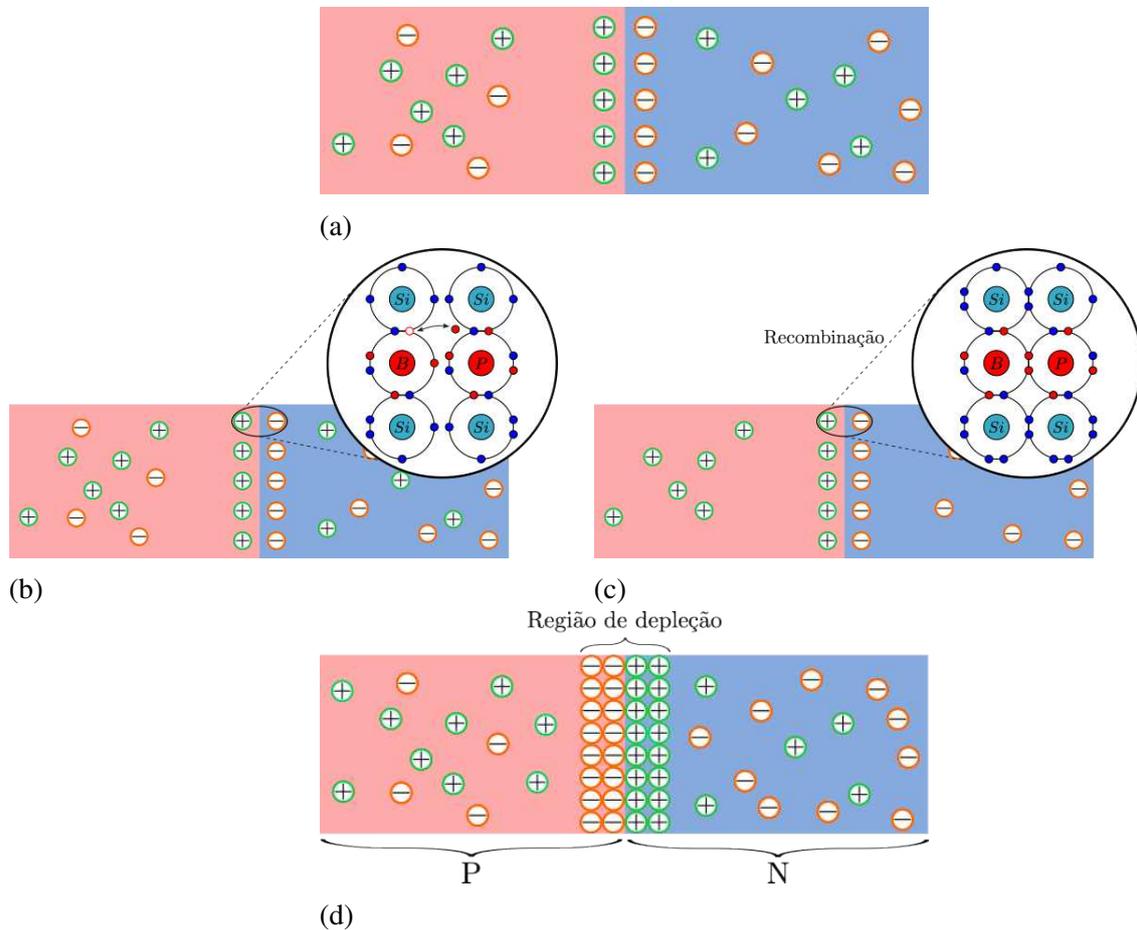
Fonte: Elaborada pela própria autora.

Ao justapor esses elementos uma corrente elétrica flui através da junção, na direção N-P, de forma que os buracos no material do tipo P, existentes na região de borda da junção, tendem a ser preenchidos pelos elétrons livres do material do tipo N. Esse processo está representado nas figuras 16b e 16c. Dessa forma o semiconductor do tipo N que era inicialmente neutro, começa a ficar com uma deficiência de elétrons e conseqüentemente com carga positiva.

O mesmo vale para o lado P da junção, que começa a ficar com carga negativa, mostrado na Figura 16d. Esse processo de difusão acontece até ser formado um campo elétrico suficiente para impedir este movimento e o equilíbrio é atingido. Dessa forma cria-se uma região de carga chamada de região de depleção, Figura 16d. O campo elétrico da região de depleção cria uma diferença de potencial, V_0 , entre os dois lados da junção (Rezende, 2023; Yu, Cardona, 2010).

Para obter um modelo matemático simplificado que descreva a junção PN podemos considerar que com a junção as impurezas doadoras de concentração N_d , material do tipo N, uma vez que perdem seus elétrons passaram a ter carga positiva. Dessa forma, podemos considerar

Figura 16 – Em 16a os semicondutores do tipo P e do tipo N são justapostos. Isso implica o aparecimento de uma corrente elétrica que flui através da junção, na direção N-P, de forma que os buracos no material do tipo P, existentes na região de borda da junção, tendem a ser preenchidos pelos elétrons livres do material do tipo N, como indicado em 16b e 16c. Esse movimento de cargas cria uma região carregada chamada de região de depleção indicada na Figura 16d.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

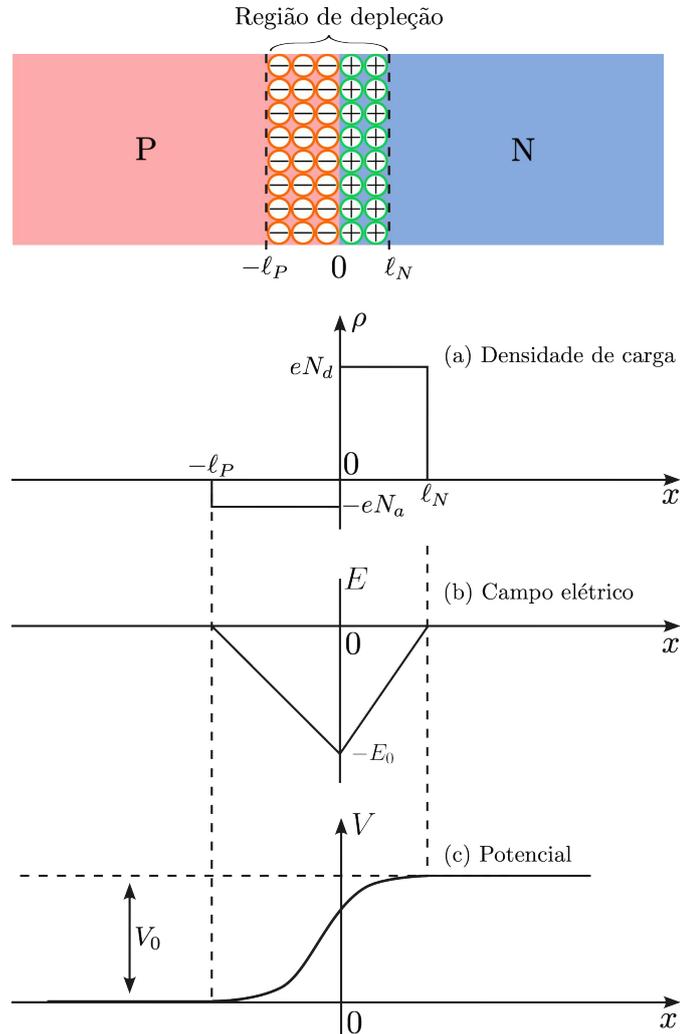
que no lado N a densidade de carga resultante da junção é $\rho = +eN_d$ e para a espessura ℓ_N esse valor pode ser considerado constante. Para o lado P, a densidade será $\rho = -eN_a$ em uma camada de espessura ℓ_P , nesse caso negativa por se tratar do material aceitador de elétrons (Rezende, 2023). Essa descrição apresentada é chamada de aproximação de depleção e está esquematizada na Figura 17.

Uma vez que a carga total deve ser nula, já que a junção é eletricamente neutra, o módulo da carga de um lado é igual ao módulo da carga do outro lado, e temos que:

$$\ell_N N_d = \ell_P N_a. \quad (3.10)$$

Podemos obter expressões para as espessuras das camadas do tipo P e do tipo N, na

Figura 17 – Representação da densidade de carga, do campo elétrico e do potencial eletrostático no modelo unidimensional para uma junção PN.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

região de depleção, em função das concentrações de elétrons, N_d e buracos, N_a e da espessura total da região de depleção $\ell = \ell_P + \ell_N$:

$$\ell_P = \frac{N_d}{N_a + N_d} \ell \quad \ell_N = \frac{N_a}{N_a + N_d} \ell. \quad (3.11)$$

As equações 3.11 nos mostram que a espessura é inversamente proporcional à concentração de impurezas (dopagem). Sendo, na região de depleção, mais espesso o material de menor dopagem e menos espesso o de maior dopagem.

A partir da distribuição de densidade de carga podemos calcular o campo elétrico através da lei de Gauss:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon}, \quad (3.12)$$

que, considerando nosso modelo unidimensional no qual $\vec{E} = E(x)\hat{x}$, pode ser reescrita da seguinte forma:

$$\frac{dE}{dx} = \frac{\rho(x)}{\epsilon}. \quad (3.13)$$

Sendo $\rho = eN_d$ na região $0 < x < \ell_N$, o campo resultante da integração da equação 3.13 é linear e dado por:

$$dE = \frac{1}{\epsilon} \rho(x) dx \quad \Rightarrow \quad E(x) = \frac{eN_d}{\epsilon} x - E_0, \quad (3.14)$$

sendo E_0 uma constante de integração correspondendo ao campo elétrico na posição $x = 0$. Já entre $-\ell_P < x < 0$, sendo a densidade $\rho = -eN_a$ o campo elétrico nessa região também será linear e dado por:

$$E(x) = -\frac{eN_a}{\epsilon} x - E_0. \quad (3.15)$$

Fora da região de depleção o campo elétrico é zero. Dessa forma nas posições $x = \ell_N$ e $x = -\ell_P$ o campo também deve ser zero. Com isso podemos obter os respectivos valores de E_0 .

$$E_0 = \frac{eN_a \ell_P}{\epsilon} \quad \text{e} \quad E_0 = \frac{eN_d \ell_N}{\epsilon}. \quad (3.16)$$

Considerado a relação entre as concentrações dada pela equação 3.10 temos a continuidade da função $E(x)$ na região de depleção:

$$E_0 = \frac{eN_a \ell_P}{\epsilon} = \frac{eN_d \ell_N}{\epsilon}. \quad (3.17)$$

Na Figura 17 podemos ver representado o campo elétrico dado pelas equações 3.14 e 3.15. Podemos observar que seu valor é diferente de zero apenas na região de depleção, sendo dirigido no sentido $-x$, como esperado.

A partir das expressões de campo elétrico podemos calcular a variação de potencial eletrostático $V(x)$, dada pela seguinte equação:

$$E = -\frac{dV}{dx}, \quad (3.18)$$

em que adotaremos por conveniência $V(x = -\ell_P) = 0$. Para $-\ell_P < x < 0$, obtemos a seguinte expressão para o potencial $V(x)$ a partir do campo 3.15:

$$V(x) = \frac{eN_a}{2\epsilon}x^2 + E_0x + C. \quad (3.19)$$

Aqui C é uma constante de integração determinada a partir do referencial $V = 0$. Substituindo o valor de E_0 pela equação 3.17, O valor de C obtido é:

$$V(-\ell_P) = 0 = \frac{eN_a\ell_P^2}{2\epsilon} - \frac{eN_a\ell_P^2}{\epsilon} + C \quad \Rightarrow \quad C = \frac{eN_a\ell_P^2}{2\epsilon}. \quad (3.20)$$

E, finalmente, obtemos a expressão final para a diferença de potencial na região $-\ell_P < x < 0$:

$$V(x) = \frac{eN_a}{2\epsilon}(x + \ell_P)^2. \quad (3.21)$$

Para calcular a $V(x)$ na região $0 < x < \ell_N$, procedemos de maneira análoga, agora partindo do campo 3.14, portanto teremos:

$$V(x) = -\frac{eN_d}{2\epsilon}x^2 + E_0x + D. \quad (3.22)$$

Entretanto a determinação da constante D de integração agora é feita considerando contínua a função potencial em $x = 0$. Em 3.21 temos que:

$$V(x=0) = \frac{eN_a\ell_P^2}{2\epsilon} \quad \Rightarrow \quad D = \frac{eN_a\ell_P^2}{2\epsilon} \quad \Rightarrow \quad D = \frac{eN_d\ell_P\ell_N}{2\epsilon}, \quad (3.23)$$

e, dessa forma, podemos reescrever a expressão 3.22 como:

$$V(x) = -\frac{eN_d}{\epsilon} \left(\frac{x^2}{2} - \ell_N x - \frac{\ell_P\ell_N}{2} \right). \quad (3.24)$$

Na Figura 17 temos uma representação dessas funções $V(x)$ em toda a região de depleção da junção PN. Podemos observar a barreira de potencial formada e obter o valor de V_0 , diferença de potencial entre os pontos extremos da região de depleção:

$$V_0 = V(x = \ell_N) = \frac{eN_d}{\epsilon} \left(\frac{\ell_N^2}{2} + \frac{\ell_P \ell_N}{2} \right). \quad (3.25)$$

A expressão simplificada é dada por:

$$V_0 = \frac{eN_d}{2\epsilon} \ell_N (\ell_N + \ell_P) \quad \Rightarrow \quad V_0 = \frac{E_0}{2} \ell. \quad (3.26)$$

A mesma expressão de V_0 pode ser obtida calculando a área delimitada pelo gráfico da função campo elétrico na Figura 17.

3.2.1 Interpretação da barreira de potencial

A quantidade eV_0 , obtida pelo produto da carga elétrica e a diferença de potencial calculada na equação 3.26 descreve a diferença de energia entre a banda de condução do lado P e a banda de condução do lado N:

$$E_{cp} - E_{cn} = -e(V_p - V_n) = eV_0. \quad (3.27)$$

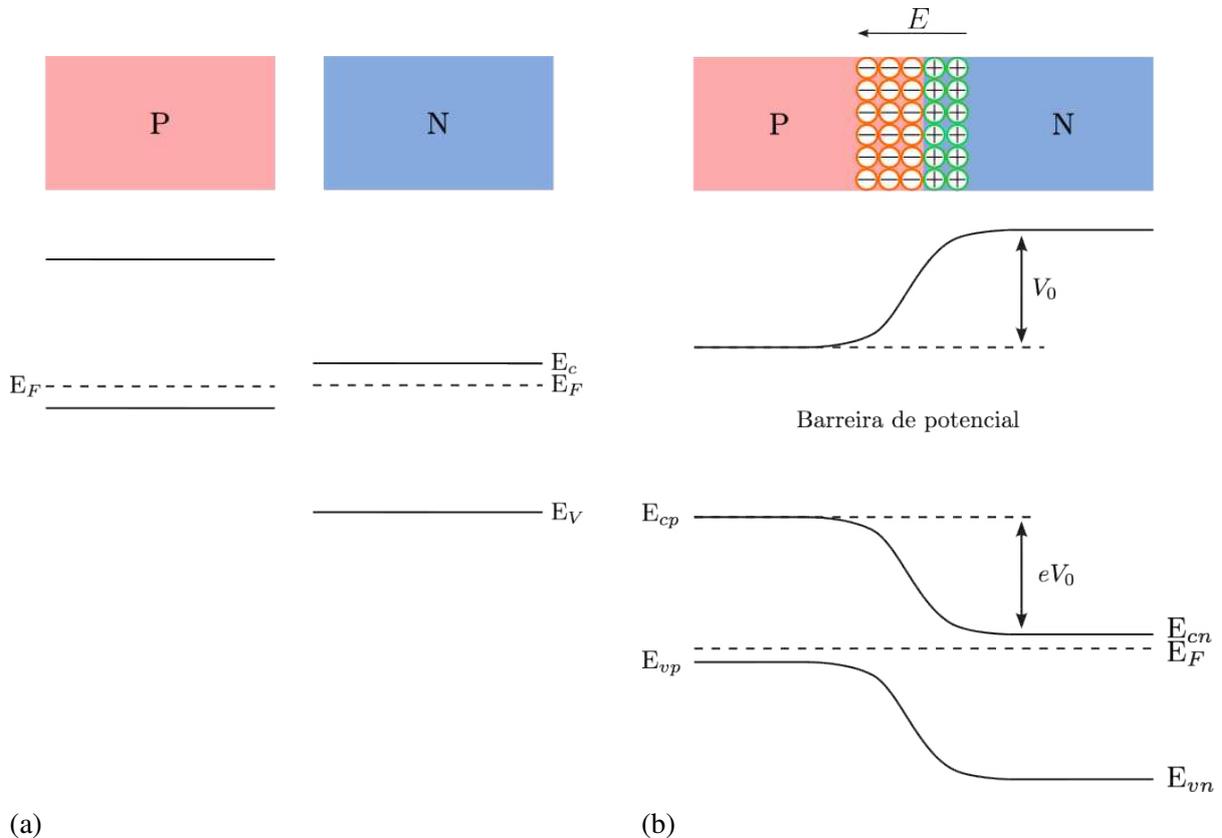
Analogamente, os níveis de energia correspondentes nas bandas de valência têm a mesma diferença de energia após a junção. Essa diferença de energia pode ser interpretada como uma barreira de potencial que impede a difusão contínua de elétrons do lado N para o lado P. Na Figura 18 podemos observar em 18a os níveis de energia antes da junção e em 18b depois da junção, situação em que observa-se a existência da barreira de potencial.

A formação da barreira de potencial devida à junção é um fenômeno físico de extrema importância e o responsável pelo funcionamento desse dispositivo como um dispositivo emissor de luz, LED.

Quando as duas regiões da junção estão fortemente dopadas é possível relacionar a energia do *gap*, E_g , com o valor da barreira de potencial (Rezende, 2023; Schubert, 2006):

$$E_g \approx eV_0 \quad (3.28)$$

Figura 18 – Na Figura temos as bandas de valência e condução para os semicondutores do tipo P e tipo N antes da junção em 18a e depois da junção em 18b.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

3.2.2 Condução elétrica na junção PN

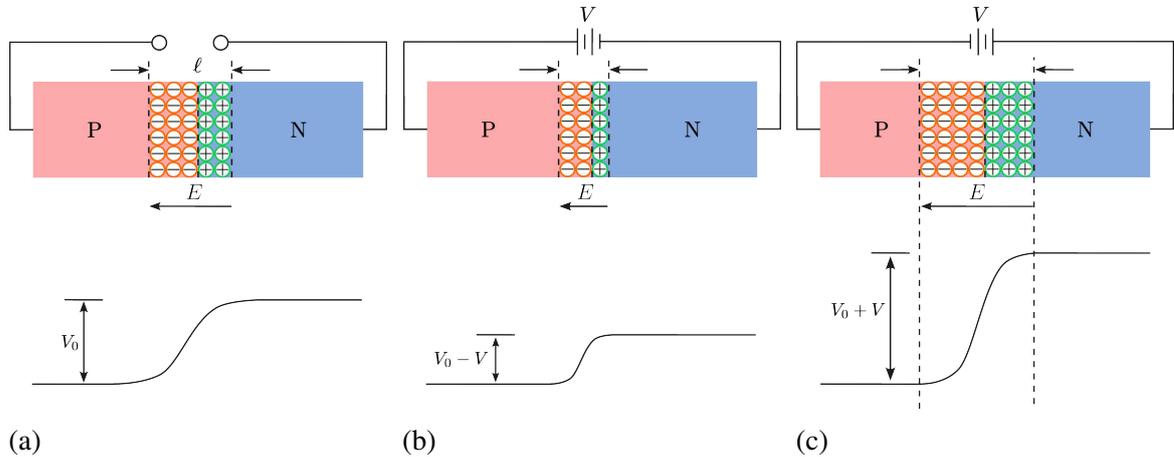
A condução de corrente em uma junção PN é resultado da aplicação de um potencial externo. A corrente resultante depende do sentido da tensão aplicada.

Na Figura 19 temos em 19a a junção PN sem diferença de potencial externa aplicada, em 19b a aplicação na polarização direta e em 19c polarização reversa. Vemos nos diagramas correspondentes o efeito da tensão externa na barreira de potencial. Quando aplicada na polarização direta ocorre uma diminuição da barreira de potencial para o valor $(V_0 - V)$, e na polarização reversa há o aumento da barreira de potencial para o valor de $(V_0 + V)$.

O efeito da aplicação da tensão externa é sentido quase que inteiramente na região de depleção já que essa região tem resistência elétrica bem mais alta que o restante do dispositivo por ter uma baixa densidade de portadores, buracos ou elétrons.

Na condição de polarização direta, com a diminuição da barreira de potencial, elétrons e buracos são injetados na região com tipo de condutividade oposta e dessa forma a

Figura 19 – Na figura temos em 19a a junção PN sem diferença de potencial externa aplicada e a respectiva barreira de potencial de valor V_0 . Na sequência podemos observar o efeito da diferença de potencial externa aplicada na região de depleção na polarização direta em 19b, com a diminuição da barreira de potencial para um valor de $(V_0 - V)$, e na polarização reversa em 19c com o aumento da barreira de potencial para um valor de $(V_0 + V)$.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

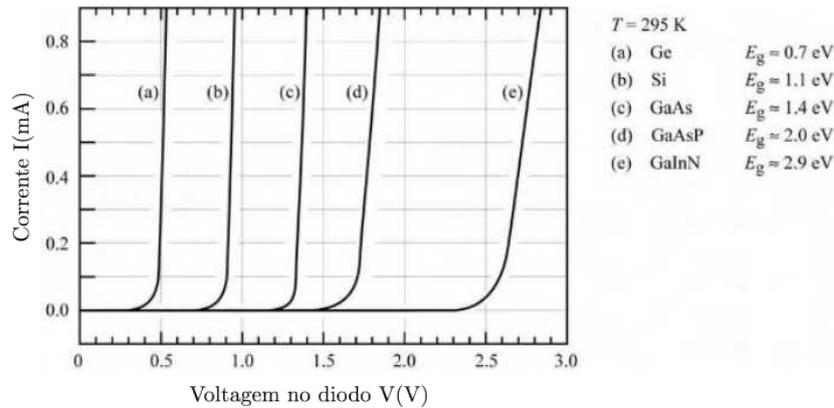
intensidade da corrente aumenta. A curva $V \times I$ característica de uma junção PN, chamada de equação de Shockley (Rezende, REZENDE; Schubert, SCHUBERT), é dada por:

$$I = I_S \cdot e^{(V-V_0)/kT}, \quad (3.29)$$

em que I_S depende de características dos materiais que compõem o dispositivo. O expoente da função exponencial ilustra que a corrente aumenta à medida que a tensão externa aplicada no diodo se aproxima do valor da barreira de potencial, ou seja, $V \approx V_0$. Nessa condição a tensão é chamada de voltagem de *threshold* e é dada por $V_{th} \approx V_0$.

Na Figura 20 estão curvas características $V \times I$ para diodos semicondutores feitos de diferentes materiais. A partir do gráfico podemos obter o valor de V_{th} . Por exemplo, para GaAs dado em (c) temos $V_{th} \approx 1,35$. Enquanto o valor de E_g dado na figura é de $E_g = 1,4$ eV. Comparando esses valores podemos concluir que de fato concordam razoavelmente bem conforme a equação 3.28 (Rezende, REZENDE; Schubert, SCHUBERT).

Figura 20 – $V \times I$ para diferentes junções PN na temperatura ambiente. Temos na sequência de (a) até (e) Ge, Si, GaAs, GaAsP e GaInN. Na figura temos além das curvas os valores de energia do *gap* E_g em eV para esses materiais.



Fonte: Figura adaptada (Schubert, 2006).

3.2.3 Recombinação elétron-buraco

Além de ser um dispositivo de resposta assimétrica com relação à polarização da tensão aplicada, os LEDs têm como principal característica a emissão de luz por um processo de eletroluminescência, produzida pela recombinação de elétrons e buracos.

Na Figura 21a temos uma junção PN na ausência de tensão externa. Nessa figura não há corrente líquida através do dispositivo e o processo de recombinação elétron-buraco não ocorre. Já na Figura 21b, é possível observar uma diminuição da barreira de potencial devido à aplicação de um potencial externo na polarização direta e conseqüentemente a passagem de corrente tanto na banda de condução, com a difusão de elétrons do lado *N* para o lado *P*, quando na banda de valência em sentido oposto.

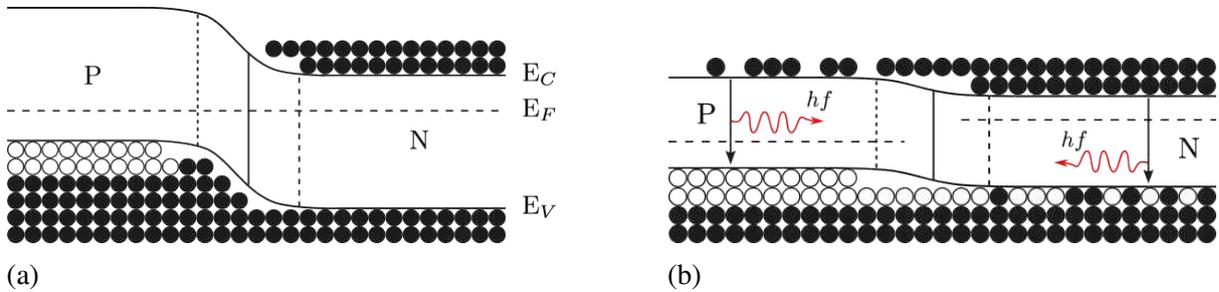
Uma vez que essa difusão de portadores começa a ocorrer, torna-se possível a recombinação de elétrons-buracos pela transferência de um elétron da banda de condução para se recombinar com um buraco da banda de valência. Este processo ocorre com a emissão de um fóton de energia igual à energia do *gap*. A frequência da radiação emitida é portanto:

$$hf = (E_c - E_v) = E_g \quad (3.30)$$

Podemos relacionar a frequência da luz emitida com a tensão de *threshold*, já que para junções fortemente dopadas a aproximação $E_g \approx V_{th}$ é válida. Portanto:

$$hf \approx eV_{th} \quad (3.31)$$

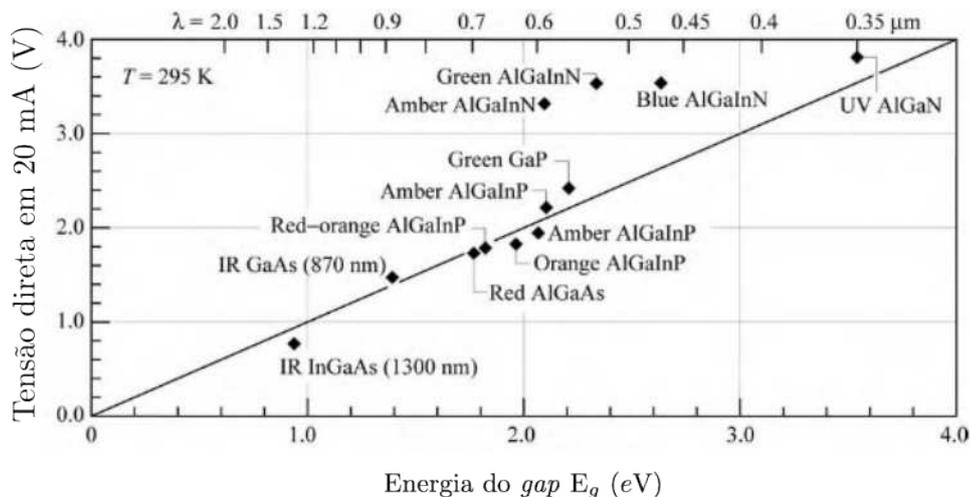
Figura 21 – Na Figura 21a temos a junção PN sem tensão externa aplicada, neste caso não pode-se observar condução elétrica. Em 21b podemos ver a junção PN sob o efeito de uma tensão externa aplicada na polarização direta. Neste caso, é possível observar a condução de corrente na banda de valência e na banda de condução, além da geração de fótons através dos processos de recombinação elétron-buraco.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

Na Figura 22 podemos ver para alguns materiais típicos que compõem um diodo LED a relação entre a E_g e a V_{th} . Em todos os casos é mostrada a voltagem direta do diodo para uma corrente de 20 mA. No gráfico a linha contínua ilustra a situação idealizada em que $E_g = eV_{th}$ (Schubert, 2006).

Figura 22 – Gráfico da voltagem em um diodo para uma corrente de 20 mA em função da energia de *gap*, E_g , para diversos LEDs feitos de diferentes materiais semicondutores. A linha cheia presente no gráfico representa a relação $E_g = eV_{th}$. Na parte superior do gráfico podemos obter ainda o comprimento de onda correspondente a E_g .



Fonte: Figura adaptada (Schubert, 2006).

Podemos observar que para uma grande quantidade de LEDs a equação 3.31 é válida como boa aproximação.

4 FUNDAMENTAÇÃO PEDAGÓGICA E METODOLÓGICA

Neste capítulo são apresentadas as principais premissas da Teoria Sociointeracionista de Lev Vygotsky e seus aspectos fundamentais no processo de ensino e aprendizagem. Apresentaremos também a caracterização da metodologia de ensino *Peer Instruction* e do ensino por experimentação, que fazem parte das metodologias usadas neste trabalho. Além disso, serão apresentados proposições de correlação entre o método *Peer Instruction* e o ensino por experimentação com a Teoria Sociointeracionista.

4.1 Vygotsky e a Teoria Sociointeracionista

A principal preocupação do Ensino de Física é promover aos estudantes a compreensão adequada de conceitos científicos. Principalmente através da conexão dos saberes teóricos desenvolvidos na sala de aula com as tecnologias atuais presentes no dia a dia dos estudantes.

A atual divisão da BNCC do Ensino Médio já pressupõe essa interface entre ciência e tecnologia uma vez que as competências gerais da Educação Básica são divididas em grandes áreas e suas tecnologias, por exemplo, para o caso específico na Física, que atualmente faz parte das competências específicas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias (Brasil, 2018).

Segundo Vygotsky, os conceitos podem ser espontâneos, que são aqueles que decorrem da vivência do estudante, das interações sociais fora do espaço formal da escola, em contrapartida existem os conceitos científicos que são aqueles aprendidos na escola (Taile *et al.* 1992, Milani *et al.*; 2020).

No caso do conceito científico, sua compreensão exige ações complexas do pensamento que se iniciam desde o primeiro contato com o novo termo. Seu aprendizado se consolida com a solução de um problema que exige a compreensão deste novo conceito.

Por exemplo, uma criança ao observar que moedas se acumulam no fundo de uma fonte comumente podem associar que objetos pequenos afundam, sendo esse considerado um conceito espontâneo, adquirido de experiências cotidianas. Enquanto o princípio de Arquimedes é o conceito científico que ao ser ensinado modifica conceitos espontâneos anteriores.

Segundo a Pedagogia Sociointeracionista de Vygotsky o desenvolvimento cognitivo da formação dos conceitos não pode ser entendido sem referência ao contexto histórico, social e cultural no qual ele ocorre (Moreira, 2022).

Dessa forma podemos concluir que as interações sociais são fundamentais durante os processos de aprendizagem e desenvolvimento dos estudantes. Nos apropriamos de conceitos através da interação com outras pessoas que já possuem tais conceitos consolidados. Essa interação não deve se resumir ao par professor-estudante, pode ocorrer também entre os próprios estudantes.

Entretanto, de que forma essa interação deve ser feita? A partir das ideias de Vygotsky a interação do professor com os estudantes, propondo atividades e discussões, deve ocorrer na zona de desenvolvimento proximal (ZDP) (Vygotsky, 2015).

No livro *A Formação Social da Mente* Vygotsky propõe a existência do Nível de Desenvolvimento Real (NDR), seria aquele no qual é possível a solução dos problemas de forma autônoma pelos estudantes, com conhecimentos que já estão consolidados, e da Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), definida pelos problemas que os estudantes não podem ainda resolver de forma independente, os problemas necessitam de conceitos que ainda não estão completamente estabelecidos e para isso é preciso da orientação de alguém que detenha tais conhecimentos, no caso um professor ou colega mais adiantado (Vygotsky, 2007).

O objetivo das interações é que a atual ZDP torne-se o NDR no futuro. Para Vygotsky apenas as interações que ocorram na ZDP são eficientes no processo de desenvolvimento e aprendizagem dos estudantes.

Ou seja, o professor que deseja que seus estudantes se desenvolvam e avancem no processo de aprendizagem, segundo a perspectiva de Vygotsky, não deve propor apenas atividades que os estudantes consigam desenvolver sozinhos, e nem atividades que os estudantes não resolvem nem mesmo com auxílio. O interessante é desenvolver atividades intermediárias, que estejam na ZDP.

A interpretação da Teoria Sociointeracionista de Vygotsky no ensino de Física oferece alicerces para a aplicação de diversas metodologias de ensino. Nesse trabalho iremos explorar o método *Peer Instruction* e o ensino através da experimentação.

4.2 Método *Peer Instruction* - Instrução por Pares

O método *Peer Instruction* (PI) foi criado por Eric Mazur, professor de Física da Universidade de Harvard, em 1991, com o objetivo de melhorar o entendimento dos estudantes dos cursos introdutórios de Física. Ele observou que apesar dos estudantes terem bons rendi-

mentos em questões convencionais, aquelas que exigem o uso de formulações matemáticas, o desempenho em questões conceituais não era semelhante. Em posse desses resultados, o Professor Mazur concluiu que apesar dos estudantes serem bons em resolver questões isso não implicava no entendimento aprofundado dos conceitos de Física (Muller *et al.*, 2017; Vickrey *et al.*, 2015).

Essa percepção que Eric Mazur teve em turmas de Física na Universidade de Harvard é constante em qualquer outra turma de estudantes. É possível perceber ainda de forma mais evidente em estudantes de Ensino Médio.

Diversas são as situações em sala de aula que remetem à falta de entendimento dos alunos. É recorrente nos cursos de Física a preocupação dos estudantes em decorar as fórmulas matemáticas. A maioria dos estudantes nem mesmo se importa em entender como a partir de formulações mais simples e gerais é possível demonstrar resultados mais elaborados e específicos, técnicas que provavelmente reduziriam significativamente a quantidade de expressões matemáticas que precisariam ser memorizadas.

Além disso, é comum que estudantes demandem cada vez mais por aulas para resolução de questões evidenciando a busca por algoritmos de resolução. Essas circunstâncias, estimuladas pelos modelos atuais de provas de admissão ao Ensino Superior, vestibulares e o ENEM, diminui o interesse na Física pelos estudantes e conseqüentemente causa frustração nos professores de Física.

O método *Peer Instruction* tem como principal objetivo tornar as aulas expositivas mais atrativas, estimulando a participação dos estudantes através da solução de questões e da aprendizagem colaborativa já que espera-se a troca de conhecimento entre os estudantes.

O professor Mazur indica que para o método *Peer Instruction* ser bem-sucedido é necessário que as aulas expositivas sejam desenvolvidas de forma diferente do convencional. Mazur reforça a importância de fornecer um material didático (livro, apostila, notas de aula) para que os estudantes façam uma leitura prévia. Dessa forma, na aula expositiva será possível identificar pontos de dificuldades e saná-los, além de discutir mais profundamente os conceitos relativos ao conteúdo (Mazue, 2015).

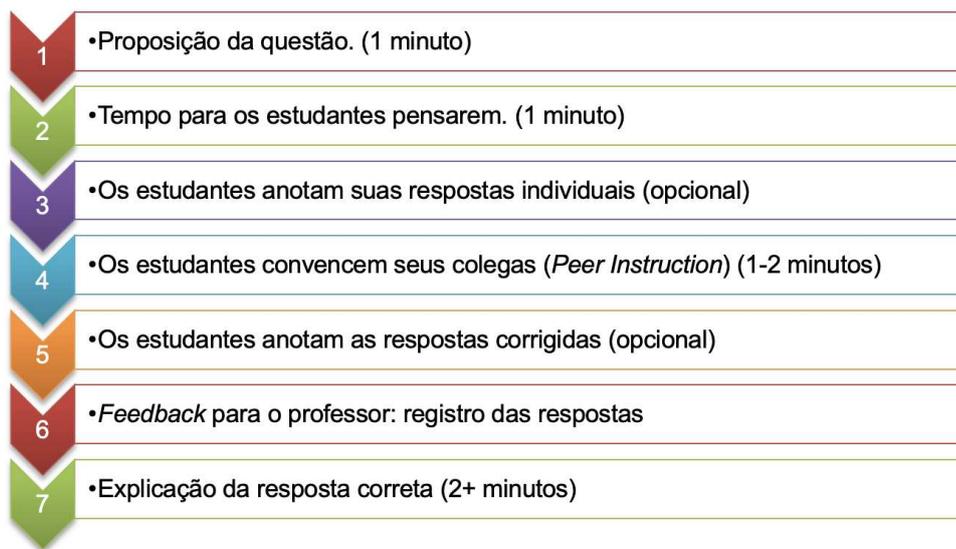
No método *Peer Instruction*, é através da interação dos estudantes com perguntas e respostas que a aula expositiva torna-se interativa e dessa forma mais atraente para os estudantes. Os testes aplicados durante a aula têm o objetivo de enfatizar quais os pontos mais importantes do tópico que está sendo abordado, e por isso são chamados de testes conceituais. Através do

desempenho dos estudantes nesses testes o professor deve ser capaz de avaliar o entendimento dos estudantes sobre o tema.

As aulas devem consistir de breves exposições dialogadas de determinado conceito que será trabalhado em sala de aula e em seguida deve ser aplicado um teste conceitual. Na resolução da atividade do teste conceitual são demarcados dois momentos, inicialmente os estudantes devem responder de forma individual, e na sequência discutir suas respostas com os demais colegas de classe. Esses dois estágios permite que o estudante elabore seus próprios argumentos e na sequência avalie, através da discussão com os colegas, sua compreensão dos conceitos abordados (Mazur, 2015).

Na concepção do método *Peer Instruction* foi proposta uma sequência a ser seguida na aplicação dos testes conceituais. Na Figura 23 podemos ver o esquema proposto:

Figura 23 – Sequência da aplicação dos testes conceituais. Está proposto em cada etapa um intervalo de tempo para sua execução.



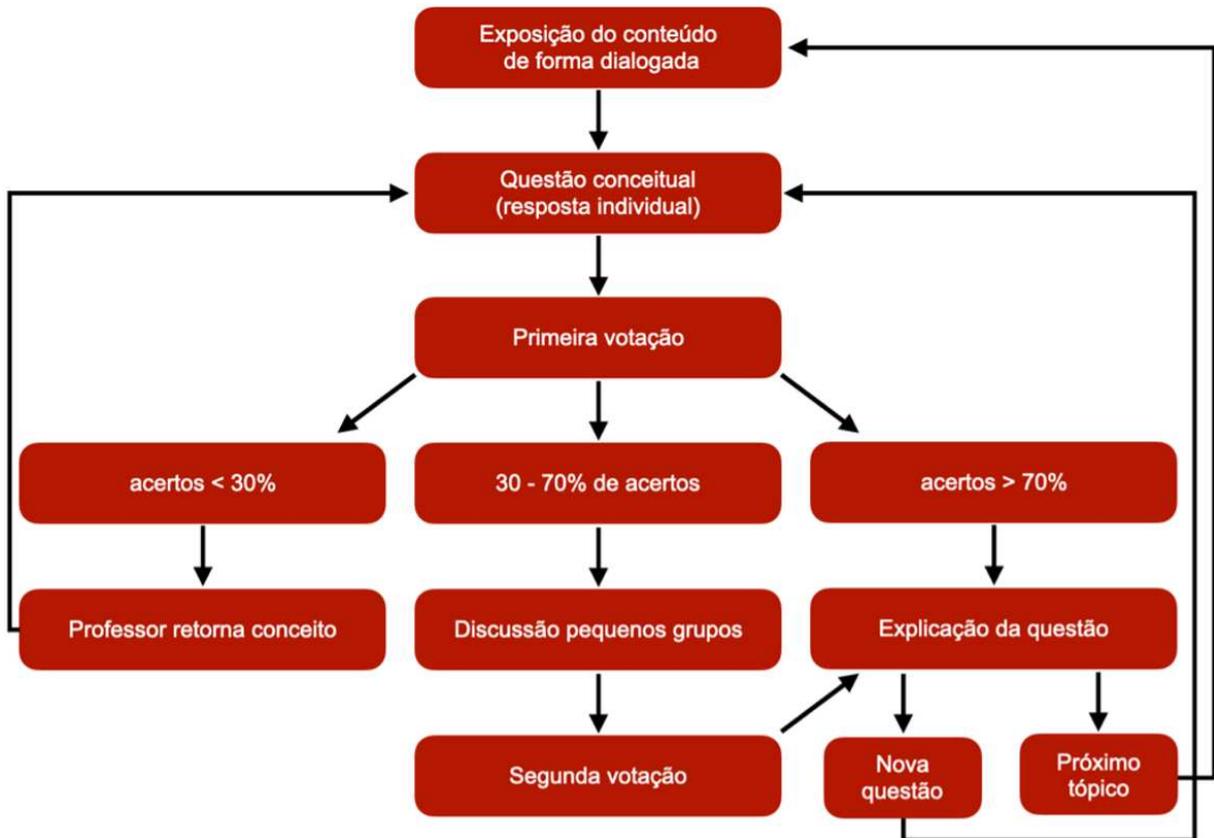
Fonte: Elaborada pela própria autora.

Na sequência proposta na Figura 23 estão indicados sugestões de intervalos de tempo para cada uma das etapas. Podemos observar ainda que algumas etapas são colocadas como opcionais. Enquanto isso, a etapa 2, em que os estudantes respondem aos testes conceituais individualmente, e a etapa 4, em que os estudantes compartilham suas respostas e buscam um entendimento comum do conceito abordado são etapas centrais do método *Peer Instruction*.

Se a maioria dos estudantes concordar e mostrar entendimento da questão, um próximo tópico pode ser abordado dando prosseguimento à aula. Caso contrário, o professor

deve reforçar a explicação inicial dos conceitos e na sequência aplicar um novo teste conceitual para avaliar a evolução dos estudantes. No fluxograma da Figura 24 podemos observar a sequência proposta por Eric Mazur para o desenvolvimento de um tópico específico.

Figura 24 – Proposta de sequência a ser adotada em uma aula expositiva dialogada que utilize o método *Peer Instruction*. Nesse diagrama podemos observar que a evolução da aula se dá a depender do percentual de alunos que mostrem entendimento do conteúdo abordado.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

No fluxograma da Figura 24 podemos ver uma proposta de desenvolvimento de uma aula expositiva dialogada com a utilização do método *Peer Instruction*. Podemos ver nesse diagrama como o professor pode proceder a depender da porcentagem de alunos que mostram entendimento sobre o conteúdo abordado através da resposta dos testes conceituais. Após as etapas 2 e 3 da Figura 23, nas quais os alunos respondem as questões de forma independente, deve-se verificar o percentual de acertos da questão. Se o total de acertos estiver acima de 70%, a etapa de discussão entre pares não mostra-se tão necessária já que existe um alto índice de concordância entre estudantes. No caso em que o total de acertos estiver abaixo de 30%, antes de propor a discussão por pares é adequado que o professor novamente esclareça as falhas,

e depois proponha uma segunda votação. Neste caso a discussão por pares não levaria os estudantes ao entendimento já que a maioria dos estudantes não assimilou o conteúdo. No caso da quantidade de acertos estar 30% e 70% dos estudantes podemos usar a discussão por pares, preferencialmente entre grupos de estudantes que tenham divergido na primeira resposta para que a partir da interação convençam-se da resposta correta.

4.2.1 *Plickers para aquisição e análise das respostas*

O método *Peer Instruction* torna as aulas mais dinâmicas para os estudantes e por isso é considerado uma metodologia ativa de ensino. Uma vantagem é que permite que o professor avalie em tempo real a evolução dos estudantes e dessa forma a aula pode ser personalizada para determinada turma.

Dada a importância da aquisição e análise das respostas dos testes conceituais de forma mais rápida possível, a forma de obter esses resultados torna-se relevante. O método mais simples é pedir para que cada estudante levante a mão após responder a uma questão. E, neste caso, a principal desvantagem é uma perda de precisão já que alguns estudantes podem hesitar em erguer a mão. Além disso, é trabalhoso fazer uma estimativa da distribuição de respostas.

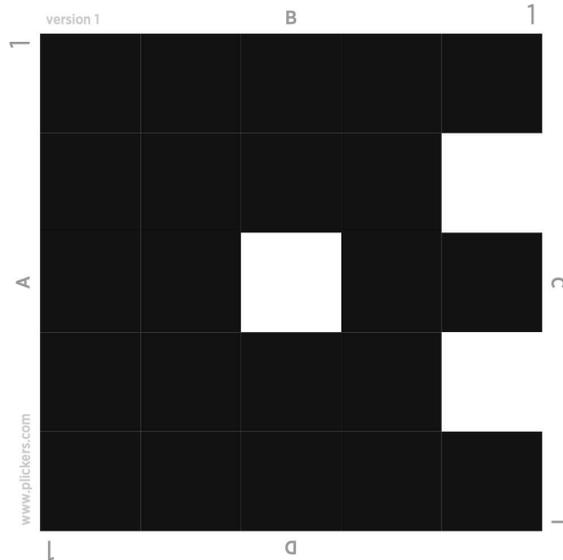
Uma boa solução é o uso de *cards* que podem ser lidos através de aplicativos de celular. Um aplicativo amplamente usado atualmente é o *Plickers*, sendo portanto a plataforma que escolheremos para realizar nossos testes conceituais.

O *Plickers* é uma ferramenta disponível gratuitamente em versão web e versão mobile de administração de testes rápidos que permite que o professor escaneie as respostas dos alunos através da leitura de *cards* (Silva, 2018; Cabral, 2020).

Na Figura 25 temos um exemplo de um dos padrões disponibilizados pelo aplicativo *Plickers* para a aquisição das respostas dos estudantes. O *card* possibilita a resposta de questões objetivas com até 4 alternativas de resposta, a depender da orientação do *card*. Podemos observar que na parte externa de cada um dos lados do padrão está impresso o item, de A a D, que a respectiva orientação indica. No aplicativo são disponibilizados 40 padrões diferentes que permitem atribuir as respostas a alunos específicos.

Com um celular o professor é capaz de escanear os padrões e então o aplicativo armazena essas respostas e cria gráficos a partir delas para a análise em tempo real. Na Figura 26 temos a visualização dos cartões pelo aplicativo *Plickers*. Através do aplicativo podemos identificar qual *card* o aplicativo identificou e através de círculos vermelhos e verdes identificar

Figura 25 – Exemplo de padrão que o aplicativo *Plickers* utiliza para a aquisição de respostas. O padrão possibilita a resposta de questões com até 4 alternativas a depender da orientação que o *card* é posicionado, essas possibilidades, de A a D, podem ser visualizadas na parte externa de cada um dos lados do padrão apresentado no *card*.



Fonte: (Plickers, 2024)

quais estudantes erraram (círculos vermelhos) e quais acertaram (círculos verdes).

Figura 26 – Imagem da visualização dos cartões pelo aplicativo *Plickers*. O aplicativo identifica quais são os *cards* que responderam ao teste e através de círculos vermelhos e verdes é possível identificar quais estudantes erraram (círculos vermelhos) e quais acertaram (círculos verdes).

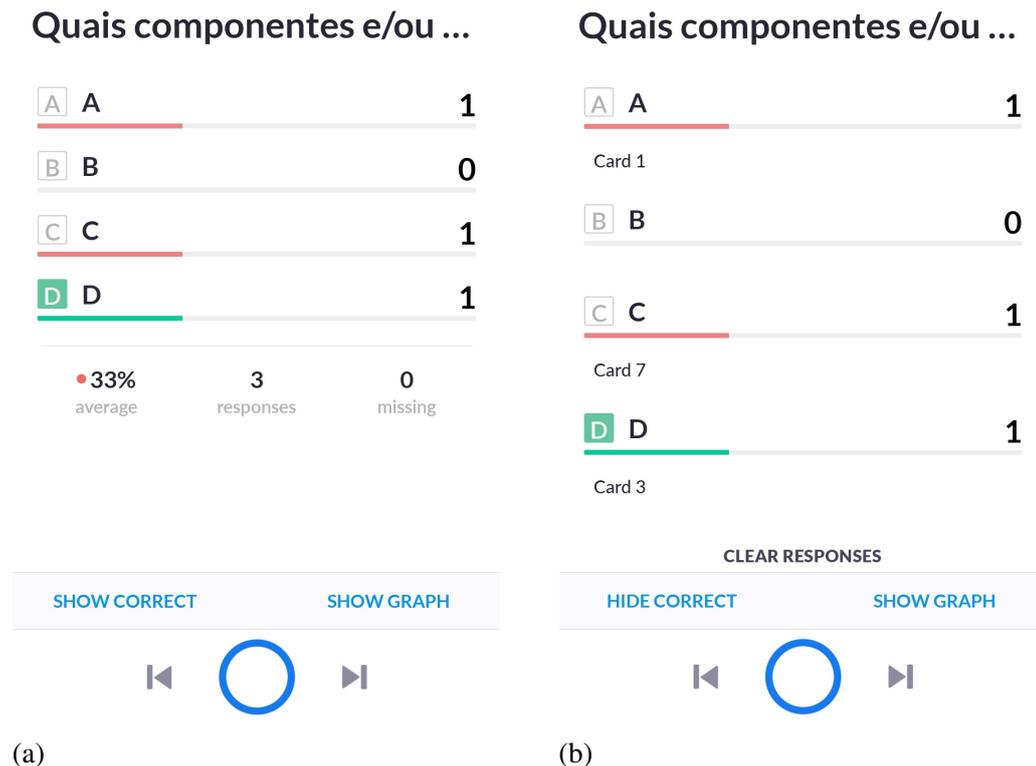


Fonte: Elaborada pela própria autora.

Ainda na tela do celular é possível visualizar quantos estudantes responderam cada um dos itens. É disponibilizada a visualização das duas formas apresentadas na Figura 27, na Figura 27a temos acesso ao número de estudantes que responderam cada um dos itens, qual a porcentagem de estudantes que acertaram, quantos estudantes responderam e quantos não responderam, para essa última função é preciso cadastrar no aplicativo quantos alunos tem a

turma. Já na Figura 27b, é possível identificar qual *card* corresponde a cada um dos itens, e dessa forma personalizar a avaliação dos estudantes.

Figura 27 – Opções de telas do *Plickers*. Imagem da visualização dos cartões pelo aplicativo *Plickers*. Na tela representada em 27a temos acesso ao número de estudantes que responderam cada um dos itens, qual a porcentagem de estudantes que acertaram, quantos estudantes responderam e quantos não responderam. Já na tela representada em 27b é possível identificar qual *card* corresponde a cada um dos itens.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

É importante observar que o sucesso do método *Peer Instruction* independe do método de *feedback* das questões conceituais e, portanto, não depende de recursos tecnológicos, entretanto esses são grande facilitadores do trabalho docente.

4.2.2 Método *Peer Instruction* e a Teoria Sociointeracionista

A Teoria Sociointeracionista de Vygotsky enfatiza a importância do ensino e da aprendizagem colaborativa, na qual estudantes são incentivados a se envolver em atividades conjuntas e a receber orientação de pares e professores.

Ao ensinar uns aos outros, os alunos não apenas reforçam sua compreensão, mas

também desenvolvem habilidades de comunicação e colaboração. Isso cria um ambiente de aprendizagem ativo e engajador, no qual o conhecimento é construído coletivamente.

Diversos são os trabalhos que apontam a melhoria na aprendizagem dos estudantes a partir do método PI. Um estudo realizado por Crouch e pelo próprio Mazur em 2001, no qual apresentavam os resultados de práticas de ensino e aprendizagem com o método PI no ensino de Física indicaram um maior domínio dos conceitos e melhora na resolução de problemas quantitativos após a implementação do método PI (Crouch, Mazur, 2001).

Em comparação com o número de trabalhos que descrevem a aplicação do método PI em salas de aula, ainda são poucos os trabalhos que relacionam o PI com uma teoria de aprendizagem específica. Inclusive no livro *Peer Instruction: A revolução da aprendizagem ativa*, Eric Mazur não traz relações da sua proposta metodológica com qualquer teoria de aprendizagem.

No PI, o papel do professor inclui a proposição de questões conceituais e, ao final da sequência, reforçar com os estudantes os pontos que precisem de esclarecimentos. Espera-se que o professor, durante os momentos em que os estudantes estão discutindo para a resolução das questões, consiga identificar as dúvidas e intervir de maneira a ocasionalmente orientar as discussões na direção correta (Paula *et al.*, 2020; Medeiros, 2023).

Dessa forma, o papel do professor passa a ser de orientador, inclusive estimulando a participação ativa dos estudantes e intervindo de forma a promover a evolução dos estudantes através das discussões qualificadas entre pares.

4.3 Ensino por experimentação

Nesse trabalho propomos além das aulas expositivas com uso do método PI para a solução de questões conceituais, utilizar atividades de experimentação.

Apesar de ser unânime entre os professores das áreas de ciências que o uso de atividades experimentais enriquece o processo de aprendizagem dos estudantes, ainda é pequena a quantidade de professores que conseguem realizar tais atividades.

No texto atual da BNCC já estão discriminadas habilidades que devem ser trabalhadas no ensino médio com o objetivo de incluir momentos de experimentação nas aulas,

(EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos

explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica. (Brasil, 2018, pg. 559).

Entretanto as dificuldades encontradas para que isso se efetive ainda continuam sendo as mesmas, carga horária reduzida, falta de estrutura de laboratório e claro, falta de material didático que facilite a transposição didática dos diversos conteúdos (Silva *et al.*, 2020).

Podemos agrupar as atividades experimentais em duas categorias distintas: Qualitativas e Quantitativas.

As atividades experimentais qualitativas podem envolver demonstrações ou observações de fenômenos físicos. São desenvolvidas de forma que os procedimentos e aspectos formais não são o objetivo principal. Procura-se verificar através dessa abordagem a existência de conceitos espontâneos nos estudantes e a possibilidade de mudanças conceituais produzidas pela verificação através da experimentação (Araújo, Abib, 2003). Nessa abordagem, espera-se utilizar tratamentos descritivos de caracterização dos fenômenos observados.

As atividades experimentais quantitativas se caracterizam pela utilização de experimentos que enfatizam os aspectos quantitativos. Nessa abordagem destaca-se a possibilidade de comparar os resultados com valores previstos por modelos teóricos. Também são possíveis atividades de validação de leis físicas e análise de comportamentos limites (Araújo, Abib, 2003). Nessa abordagem espera-se a utilização de tratamentos estatísticos dos dados registrados durante as atividades.

Ambas as abordagens experimentais são ferramentas importantes para o ensino de Física, aproximando os estudantes da tecnologia atual. Nenhuma das abordagens é superior a outra quando empregada em momento apropriado, e por isso propostas similares a essa dissertação mostram-se ainda relevantes.

4.4 Ensino por experimentação e a Teoria Sociointeracionista

É possível relacionar o ensino de Física através de experimentação com a interação dos estudantes com as tecnologias derivadas dos conceitos estudados em uma aula regular, implicando dessa forma em uma interação sociocultural (Lima *et al.*, 2022).

A formulação de hipóteses, a interação social com os pares mediada pelo professor também está presente nas mais diversas atividades experimentais.

Na teoria de Vygotsky vimos anteriormente que os conhecimentos prévios do estudante também são importantes, são eles que definem o nível de desenvolvimento real, e significa o que o estudante já domina do assunto (Leite, 2023).

Para abordagens experimentais, tais conhecimentos prévios são essenciais para que os estudantes consigam desempenhar as atividades de forma mais independente, sem a necessidade de apenas replicar instruções.

5 APRESENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

O conjunto de atividades apresentado nessa dissertação foi desenvolvido e aplicado no Instituto Federal do Pará *campus* Paragominas na cidade de Paragominas em uma turma de 3º ano do curso técnico de Meio Ambiente integrado ao Ensino Médio.

O IFPA *campus* Paragominas é uma escola pública da Rede Federal de Ensino que atende estudantes da cidade de Paragominas e de cidades limítrofes como Ipixuna do Pará e Ulianópolis na região nordeste do Pará.

Na turma que esse projeto foi aplicado havia 30 estudantes no 3º ano do curso técnico de Meio Ambiente integrado ao Ensino Médio. Todos os 30 alunos tinham idade em torno de 18 anos e concordaram em participar das aulas e que suas respostas poderiam ser usadas para produzir essa dissertação de mestrado.

O conjunto de aulas foi aplicado no segundo semestre de 2023, de forma totalmente presencial e sendo todas as aulas ministradas na sequência. Considerando que por semana as turmas de 3º ano tinham 1 aula de Física de 50 minutos, foi necessário um total de 6 semanas para completar a sequência didática, sendo que na última semana a aula foi realizada em 1 hora e 40 minutos, por se tratar de uma aula experimental com abordagem quantitativa e por isso foi necessário todo esse intervalo de tempo.

5.1 Produto educacional

O projeto consistiu na elaboração de um produto educacional que compreende um conjunto de 6 aulas para serem aplicadas em turmas que estejam estudando as temáticas de Física Moderna e Contemporânea, que geralmente são turmas de 3º ano de Ensino Médio.

A construção desse produto se baseou na Teoria de Ensino Sociointeracionista de Lev Vygotsky e um conjunto de metodologias com objetivo de facilitar o processo de ensino e aprendizagem.

Como ferramenta de avaliação usamos pré-testes e a metodologia *Peer Instruction* combinada com o aplicativo Plickers para que a avaliação pudesse ser feita de maneira mais imediata. Na Figura 28 temos fotografias tiradas durante a aplicação de questões usando o aplicativo Plickers. Nas imagens podemos ver os estudantes segurando *cards* semelhantes ao modelo da Figura 25.

Além disso foi usado um questionário para verificar a percepção dos estudantes

Figura 28 – Fotografias dos estudantes segurando *cards* usados pelo aplicativo Plickers para identificar respostas. As fotografias 28a e 28b foram feitas em dias diferentes.



(a)



(b)

Fonte: Elaborada pela própria autora.

referente as diversas metodologias de ensino empregadas durante o conjunto de aulas. As questões foram formuladas para que as respostas obedecam a escala Likert, usualmente utilizada em pesquisas de opinião. Na Tabela 1 então as perguntas e as opções de respostas empregadas.

Tabela 1 – Perguntas e resposta do questionário usado para verificar a percepção dos estudantes referente as diversas metodologias de ensino empregadas.

1. Na sequência usamos diversos recursos educacionais, entre eles o uso softwares de simulação . De que forma você acredita que o uso desse tipo de recurso contribuiu para o entendimento dos conceitos explorados na sequência didática?	
(a) Não contribuiu.	(d) Contribuiu razoavelmente.
(b) Contribuiu pouco.	(e) Contribuiu muito.
(c) Contribuiu.	
2. Na sequência usamos diversos recursos educacionais, entre eles o uso de questionários com a metodologia Peer Intruccion . De que forma você acredita que o uso desse tipo de recurso contribuiu para o entendimento dos conceitos explorados na sequência didática?	
(a) Não contribuiu.	(d) Contribuiu razoavelmente.
(b) Contribuiu pouco.	(e) Contribuiu muito.
(c) Contribuiu.	
3. Na sequência usamos diversos recursos educacionais, entre eles o uso atividades experimentais . De que forma você acredita que o uso desse tipo de recurso contribuiu para o entendimento dos conceitos explorados na sequência didática?	
(a) Não contribuiu.	(d) Contribuiu razoavelmente.
(b) Contribuiu pouco.	(e) Contribuiu muito.
(c) Contribuiu.	
4. Você acredita que essa sequência didática como um todo contribuiu para seu entendimento da matéria?	
(a) Não contribuiu.	(d) Contribuiu razoavelmente.
(b) Contribuiu pouco.	(e) Contribuiu muito.
(c) Contribuiu.	

Fonte: Elaborada pela própria autora.

Faremos nos próximos tópicos a descrição de como foi feita a aplicação de cada uma das aulas na turma mencionada.

5.1.1 Aula 01 - Condutividade de Materiais

O objetivo do conjunto de aulas é estudar o funcionamento de um LED. Para isso o estudante precisa diferenciar os materiais quanto a natureza da condução elétrica.

Essa aula foi dividida em três momentos. No primeiro momento foi aplicado um pré-teste para verificar o nível de conhecimento dos estudantes acerca dos elementos da tabela periódica e sua classificação. Avaliamos também o conhecimento acerca dos tipos de materiais: condutores, semicondutores e isolantes. Nosso objetivo era verificar se os estudantes sabiam diferenciá-los e se conseguiam dar exemplos de materiais e dispositivos com essas características.

O segundo momento foi dedicado a apresentar aos estudantes o que são materiais semicondutores, exemplificados pelo Silício que é o principal exemplo de semicondutor e materiais derivados da dopagem desse elemento.

Nessa aula usamos simulações computacionais para exemplificar os semicondutores e dessa forma os estudantes tiveram uma visão mais clara das estruturas cristalinas exploradas. Na aula também foi apresentado aos estudantes como o calor interfere na condução elétrica dos materiais.

As simulações usadas estão gratuitamente disponíveis no site Vascak (Vascak, 2024b; Vascak, 2024a).

O terceiro momento da aula foi destinado à resposta de questões usando a metodologia *Peer Instruction* auxiliada pelo aplicativo Plickers. Considerando o tempo disponível das aulas foram realizadas 4 questões.

5.1.2 Aula 02 - Átomo de Bohr e espectro de emissão

A segunda aula da sequência objetiva promover o entendimento sobre a emissão de luz por materiais. Para isso partimos de modelos simples, neste caso utilizamos o átomo isolado.

Essa aula também foi dividida em três momentos, sendo o pré-teste dedicado a investigar o nível de conhecimento dos estudantes sobre os diferentes modelos atômicos anteriores ao modelo de Bohr: modelo de Dalton, modelo de Thomson e modelo de Rutherford.

O segundo momento foi usado para explicar o modelo atômico de Bohr. Nessa aula não devemos apenas tratar equações matemáticas mas principalmente trabalhar a ideia de

quantidades quantizadas. Inclusive enfatizando que a carga elétrica, conceito que espera-se que o estudante já detenha, é uma quantidade quantizada. Nesta aula, é importante também trabalhar as inconsistências que levaram a necessidade de introduzir um novo modelo atômico.

Apesar da importância dos cálculos, inclusive no caso do modelo atômico de Bohr podendo ser um excelente momento para revisar diversos conteúdos (movimento circular, resultante centrípeta, força elétrica e energia potencial elétrica), as temáticas de FMC devem ser tratadas especialmente de forma conceitual já que mesmo tratadas dessa forma são temáticas novas e complexas.

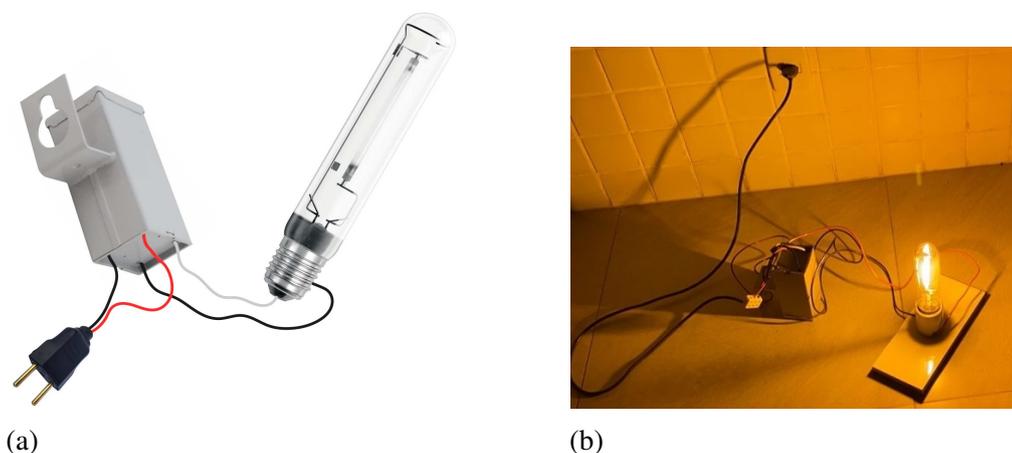
Finalizamos com o terceiro momento no qual se deu a aplicação das questões conceituais para avaliação de aprendizagem.

5.1.3 Aula 03 - Observação de espectros

Na terceira aula trabalhamos com uma atividade experimental qualitativa na qual os estudantes observaram diferentes fontes de luz, tais como a luz solar e lâmpadas de LED branca, fluorescente, de vapor metálico e de vapor de sódio.

A lâmpadas de vapor metálico e de sódio foram escolhidas para garantir que pelo menos uma das fontes emita em um espectro discreto. Essas lâmpadas não funcionam quando ligadas diretamente na tomada, na Figura 29a temos o esquema da montagem que deve ser feita das lâmpadas de vapor com um reator e em 29b temos esse sistema ligado a rede elétrica com a lâmpada de sódio.

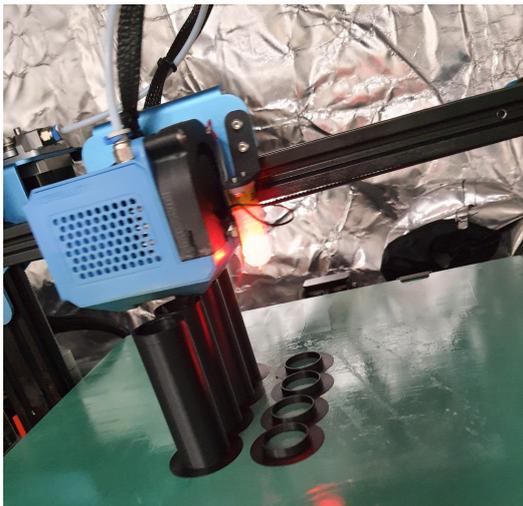
Figura 29 – Em 29a está apresentada a montagem para ligação da lâmpada de sódio e para a lâmpada de vapor metálico de alta pressão na rede elétrica. A lâmpada é ligada em um reator, caixa cinza, e o reator é ligado na rede elétrica. Em 29b uma lâmpada está acesa nessa montagem.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

Para observar os espectros os estudantes precisaram de um espectroscópio, e para esse projeto construímos espectroscópio usando uma impressora 3D do próprio IFPA *campus* Paragominas e discos de CDs. Na Figura 30 temos a impressão desses espectroscópios e alguns exemplares já prontos com os CDs acoplados em uma das extremidades.

Figura 30 – Na imagem da esquerda temos o momento da impressão 3D e à direita temos alguns espectrômetros já montados, inclusive com o CD já fixado.



(a)



(b)

Fonte: Elaborada pela própria autora.

Na aplicação apresentada nessa dissertação as aulas 02 e 03 foram aplicadas em momentos distintos mas poderiam ser aplicadas na sequência em um mesmo dia.

No caso da nossa aplicação, além da observação dos espectros também foi feita uma revisão dos principais conceitos trabalhados na “Aula 02” antes que as questões conceituais fossem apresentadas. Para fazer essa revisão usamos novamente um aplicativo do site Vascak (Vascak, 2024c).

5.1.4 Aula 04 - Bandas de energia e gap de energia

Nessa aula apresentamos aos estudantes sistemas mais complexos, nos quais não temos mais átomos isolados mas um conjunto de átomos formando os materiais semicondutores.

Foram explorados os conceitos de bandas de energia (condução e valência) e *gap* de energia em materiais condutores, semicondutores e isolantes.

Para os materiais semicondutores apresentamos quais as modificações nessas bandas

são causadas pela dopagem desses materiais. Os conceitos abordados com os estudantes são adaptados em nível de dificuldade daqueles discutidos no capítulo 3.

5.1.5 Aula 05 - Funcionamento de um LED

Essa aula teve dois objetivos: i) explicar o funcionamento de um LED, partindo da junção PN e como essa junção implica em que esse seja um dispositivo que permite a passagem de corrente em apenas uma direção de polarização da voltagem; ii) introduzir a prática experimental da “Aula 06”.

A abordagem que escolhemos foi comparar o comportamento elétrico desse novo dispositivo com o resistor ôhmico, que é um dispositivo que os estudantes já conhecem o comportamento.

5.1.6 Aula 06 - Atividade experimental

Para finalizar a sequência didática proposta nesse projeto de mestrado foi realizada uma atividade experimental quantitativa.

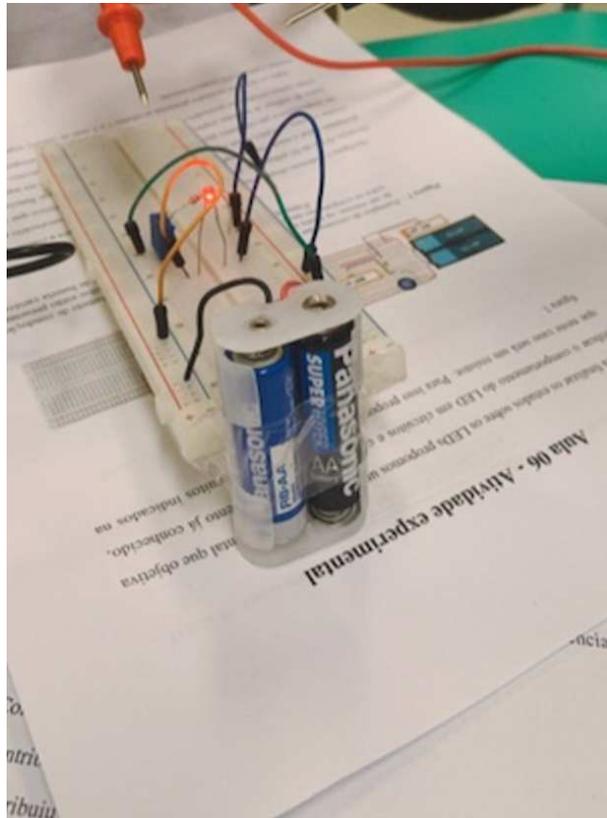
Para essa atividade nós utilizamos 2 aulas, totalizando 1 hora e 40 minutos. A atividade foi feita em grupos de até 6 estudantes. A prática foi realizada em uma sala regular. Acreditamos que seria mais adequado sua realização em uma laboratório de ensino de Física, mas nós não dispúnhamos dessas instalações no IFPA *campus* Paragominas.

A prática experimental consistiu em construir curvas $V \times I$ para um LED e para um resistor ôhmico, e comparar seus comportamentos. Também foi proposto que os estudantes usassem ambas os sentidos de polarização na tensão aplicada aos elementos para verificar que ao contrário do resistor ôhmico, o LED não se comporta de forma idêntica para polarizações distintas.

Como última atividade da prática os estudantes calcularam a frequência da luz emitida pelo LED considerando a relação dada pela equação 3.1 e comparar com o valor conhecido para a luz emitida.

Na Figura 31 temos uma fotografia do circuito utilizado na aula para construir a curva $V \times I$ do LED. O mesmo circuito foi usado para construir a curva do resistor, apenas trocando os elementos sob investigação.

Figura 31 – Montagem experimental usada para determinar a curva $V \times I$ para um LED. O circuito para o resistor ôhmico é idêntico exceto pelo elemento sob investigação.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo será apresentada a discussão de como se deu a aplicação do produto educacional na turma do 3º ano do curso técnico de Meio Ambiente integrados ao Ensino Médio do IFPA *campus* Paragominas.

Fui professora dessa turma durante o 2º semestre do 2º ano do Ensino Médio e durante todo o 3º ano do Ensino Médio. A aplicação dessa sequência didática aconteceu durante o último bimestre do último ano.

As aulas de Física do 3º ano do Ensino Médio ocorriam uma vez por semana durante 50 minutos e a ementa englobava o estudo da Óptica Geométrica e da Física Moderna e Contemporânea.

Nos próximos tópicos serão apresentadas observações da aplicação, as respostas às atividades preparatórias e as respostas aos questionários aplicados usando a metodologia *Peer Instruction*. Apresentaremos ainda os resultados e percepções das práticas experimentais realizadas nas aulas.

Usamos também um questionário para verificar a percepção dos estudantes sobre a sequência didática e aos métodos de ensino utilizados, cujos resultados também serão apresentados nesse capítulo.

6.1 Aula 01 - Condutividade de Materiais

Nas duas primeiras aulas foram aplicados questionários com o objetivo de identificar quais os conhecimentos prévios dos estudantes sobre assuntos relacionados aos abordados na respectiva aula.

Na Aula 01 o pré-teste abordou a classificação da tabela periódica e a natureza condutora em materiais. No Problema 1 os estudantes deveriam identificar as famílias da tabela periódica.

Problema 1. *Relacione as cores do lado esquerdo, que correspondem a um conjunto de elementos químicos da tabela periódica fornecida, com o nome do grupo de elementos químicos correspondente do lado direito.*

1 H hidrogênio 1,008																	2 He hélio 4,0026
3 Li lítio 6,94	4 Be berílio 9,0122											5 B boro 10,81	6 C carbono 12,011	7 N nitrogênio 14,007	8 O oxigênio 15,999	9 F flúor 18,998	10 Ne neônio 20,180
11 Na sódio 22,990	12 Mg magnésio 24,305											13 Al alumínio 26,982	14 Si silício 28,086	15 P fósforo 30,974	16 S enxofre 32,06	17 Cl cloro 35,45	18 Ar argônio 39,948
19 K potássio 39,098	20 Ca cálcio 40,078(4)	21 Sc escândio 44,956	22 Ti titânio 47,867	23 V vanádio 50,942	24 Cr cromo 51,996	25 Mn manganês 54,938	26 Fe ferro 55,845(2)	27 Co cobalto 58,933	28 Ni níquel 58,693	29 Cu cobre 63,546(2)	30 Zn zinco 65,38(2)	31 Ga gálio 69,723	32 Ge germânio 72,630(8)	33 As arsênio 74,922	34 Se selênio 78,971(8)	35 Br bromo 79,904	36 Kr criptônio 83,798(2)
37 Rb rubídio 85,468	38 Sr estrôncio 87,62	39 Y ítrio 88,906	40 Zr zircônio 91,224(2)	41 Nb nióbio 92,906	42 Mo molibdênio 95,95	43 Tc tecnécio [98]	44 Ru rutênio 101,07(2)	45 Rh ródio 101,07(2)	46 Pd paládio 106,42	47 Ag prata 107,87	48 Cd cádmio 112,41	49 In índio 114,82	50 Sn estanho 118,71	51 Sb antimônio 121,76	52 Te telúrio 127,6(2)	53 I iodo 126,90	54 Xe xenônio 131,29
55 Cs césio 132,91	56 Ba bário 137,33	57-71 Lantanídeos	72 Hf hafânio 178,49(2)	73 Ta tântalo 180,95	74 W tungstênio 183,84	75 Re rênio 186,21	76 Os ósio 190,23(2)	77 Ir irídio 192,22	78 Pt platina 195,08	79 Au ouro 196,97	80 Hg mercúrio 200,59	81 Tl talho 204,38	82 Pb chumbo 207,2	83 Bi bismuto 208,98	84 Po polônio [209]	85 At astato [210]	86 Rn radônio [222]
87 Fr frâncio [223]	88 Ra rádio [226]	89-103 Atinídeos	104 Rf rutherfordio [261]	105 Db dúbnio [266]	106 Sg seabórgio [269]	107 Bh bório [270]	108 Hs hássio [270]	109 Mt meitnério [278]	110 Ds darmastádio [281]	111 Rg roentgênio [281]	112 Cn copernício [285]	113 Nh nihônio [286]	114 Fl fleróvio [289]	115 Mc moscóvio [289]	116 Lv livermório [293]	117 Ts tenessino [294]	118 Og oganessônio [294]
57 La lantânio 138,91	58 Ce cério 140,12	59 Pr praseodímio 140,91	60 Nd neodímio 144,24	61 Pm promécio [145]	62 Sm samário 150,36(2)	63 Eu europio 151,96	64 Gd gadolínio 157,25(2)	65 Tb térbio 158,93	66 Dy disprósio 162,50	67 Ho hólmio 164,93	68 Er érbio 167,26	69 Tm tulio 168,93	70 Yb itérbio 173,05	71 Lu lutécio 174,97			
89 Ac actínio [227]	90 Th tório 232,04	91 Pa protactínio 231,04	92 U urânio 238,03	93 Np netúmio [237]	94 Pu plutônio [244]	95 Am américio [243]	96 Cm cúrio [247]	97 Bk berquílio [247]	98 Cf califórnio [251]	99 Es einstênio [252]	100 Fm fêrmio [257]	101 Md mendelévio [258]	102 No nobélio [259]	103 Lr laurêncio [262]			

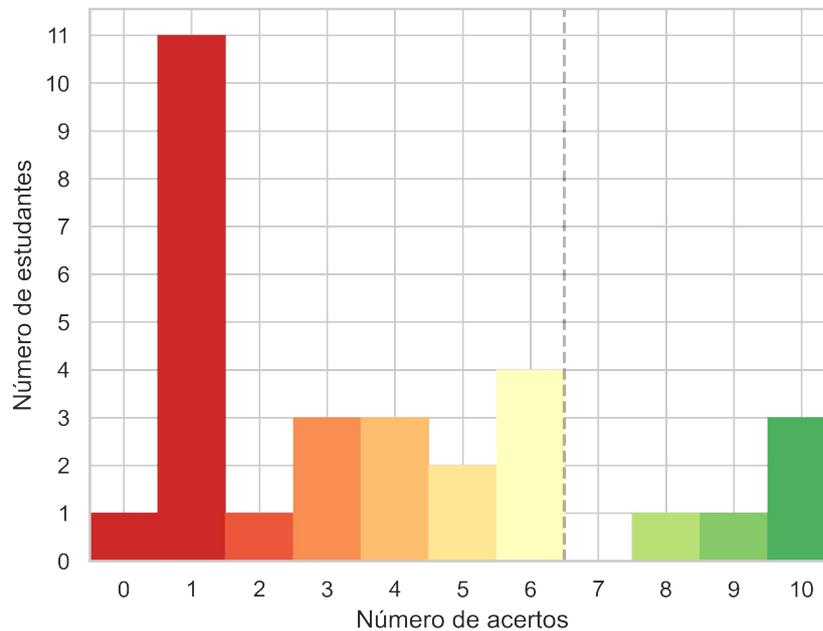
Fonte: Imagem adaptada de (Matéria, 2024).

- | | | |
|--------------------------|--------------------------|------------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 1. Metais alcalinos-terrosos |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 2. Halogênios |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 3. Semimetais |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 4. Metais de transição |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 5. Outros metais |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 6. Actinídios |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 7. Gases nobres |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 8. Lantanídeos |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 9. Metais alcalinos |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 10. Não metais |

Na Figura 32 estão organizadas as respostas obtidas pelos estudantes nessa questão considerando o número de acertos. No gráfico a linha tracejada marca 7 acertos, essa marcação indica a média para que o estudantes alcancem êxito no IFPA.

No gráfico da Figura 32 a maior parte dos estudantes têm um conhecimento aquém do esperado já que essa é uma temática que já foi discutida nas aulas de Química. Nota-se que 11 estudantes acertaram apenas uma das famílias, que durante a correção percebeu-se ser a família dos Gases nobres.

Figura 32 – Número de famílias na tabela periódica associadas corretamente (acertos) pelos estudantes no Problema 1. A linha tracejada marca 7 acertos, valor da média no IFPA para que o estudante alcance êxito.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

O Problema 2 tinha como objetivo saber qual o nível de conhecimento dos estudantes sobre as propriedades condutoras em materiais.

Problema 2. *Qual a diferença entre materiais condutores, semicondutores e isolantes? Dê exemplos de materiais e ou objetos com essas propriedades?*

Na Figura 33 estão expostos dois exemplos de respostas obtidas para o Problema 2. Esses exemplos foram escolhidos por serem recorrentes entre os estudantes. Podemos observar que em ambas as respostas o material do tipo semicondutor foi deixado em branco, o que ocorreu em quase 100% das respostas obtidas.

Na Figura 33b a resposta indica conduzir ou não energia sem especificar o tipo de energia, se tratando de uma resposta incorreta já que o estudante não menciona corrente elétrica ou eletricidade.

Os conteúdos abordados pelos Problemas 1 e 2 são previstos no Projeto Pedagógico do Curso (PPC) na componentes curriculares de Química das turmas de 1º ano e de Física das turmas de 2º ano e, apesar disso, com base nas respostas obtidas pelos estudantes podemos perceber que novas intervenções precisam ser realizadas.

Figura 33 – Exemplos de respostas para a Pergunta 2. Esses exemplos foram escolhidos por serem respostas frequentes entre os estudantes.

Materiais	Propriedades	Exemplos
Condutores	Materiais que permitem a passagem de corrente elétrica com menor perda de carga possível.	fios de cobre; barras de ferro; água com sal; metais.
Semicondutores		
Isolantes	Materiais que dificultam a condução de corrente elétrica.	Borracha; fita isolante.

(a)

Materiais	Propriedades	Exemplos
Condutores	materiais que são ótimos condutores de energia.	Cobre
Semicondutores		
Isolantes	não conduzem energia	Borracha, madeira

(b)

Fonte: Elaborada pela própria autora.

É preciso destacar que esses estudantes ainda foram diretamente afetados pela pandemia do COVID-19 durante o Ensino Médio, as aulas do 1º ano foram totalmente remotas, o que de alguma forma pode ter contribuído para esse baixo rendimento.

Após a aplicação desse questionário, tivemos a exposição do conteúdo e os estudantes foram avisados que seriam aplicadas questões na etapa final da aula.

Foram aplicadas 4 questões utilizando o método *Peer Instruction* através do aplicativo *Plicker*. As questões estão apresentadas a seguir e o resultado está apresentado no gráfico da figura 34.

Problema 1. Considerando as propriedades dos elementos químicos e a tabela periódica, é incorreto afirmar:

- (a) um metal é uma substância que conduz corrente elétrica e calor, é dúctil e maleável. Apresenta alta refletividade e um brilho característico, denominado brilho metálico, um não metal é uma substância que não conduz corrente elétrica e não conduz calor, não é dúctil nem maleável.
- (b) um semimetal tem aparência física de um metal, brilho metálico moderado, mas tem comportamento químico semelhante ao de um não metal.
- (c) os elementos Silício, Germânio e Arsênio por terem propriedades intermediárias às dos metais e dos ametais, são classificados como semicondutores.
- (d) os semicondutores apresentam condutividade elétrica intermediária entre os condutores e os isolantes, no entanto seu comportamento elétrico não pode ser alterado pela introdução de átomos de impurezas.

Problema 2 (Instituto UniFil/2021 - Adaptada). *Os materiais semicondutores podem ser divididos em dois tipos, os intrínsecos e os extrínsecos. Sobre os semicondutores extrínsecos, analise as assertivas e assinale a alternativa correta.*

- I. *Nos materiais semicondutores extrínsecos tipo P, a impureza inserida é um elemento que possui três elétrons na camada de valência.*
- II. *Nos semicondutores tipo P, o número de lacunas é maior que o número de elétrons livres.*
- III. *Nos materiais semicondutores extrínsecos tipo N a impureza inserida possui cinco elétrons na camada de valência.*
- IV. *Para produzir um semicondutor do tipo N, é necessário adicionar impurezas ao substrato. A dopagem do tipo N é obtida ao se inserir, na rede cristalina do semicondutor, impurezas doadoras que têm 3 elétrons na camada de valência.*
- V. *O número de lacunas é maior que o número de elétrons livres no material tipo N.*

- (a) *Apenas II, III e V está correta.*
- (b) *Apenas I, II e IV está correta.*
- (c) *Apenas I, III e IV estão corretas.*
- (d) *Apenas I, II e III estão corretas.*

Problema 3 (SENAI-PR/2016 - Adaptada). *Em eletricidade, os materiais podem ser classificados em condutores, semicondutores ou isolantes. Considerando a estrutura atômica desses materiais, o material condutor, em comparação ao material isolante, possui:*

- (a) *Elétrons mais próximos ao núcleo.*
- (b) *Maior número de elétrons livres.*
- (c) *Maior número de nêutrons ionizados.*
- (d) *Menor capacidade de conduzir eletricidade.*

Problema 4. *De acordo com os tipos de semicondutor, utilize*

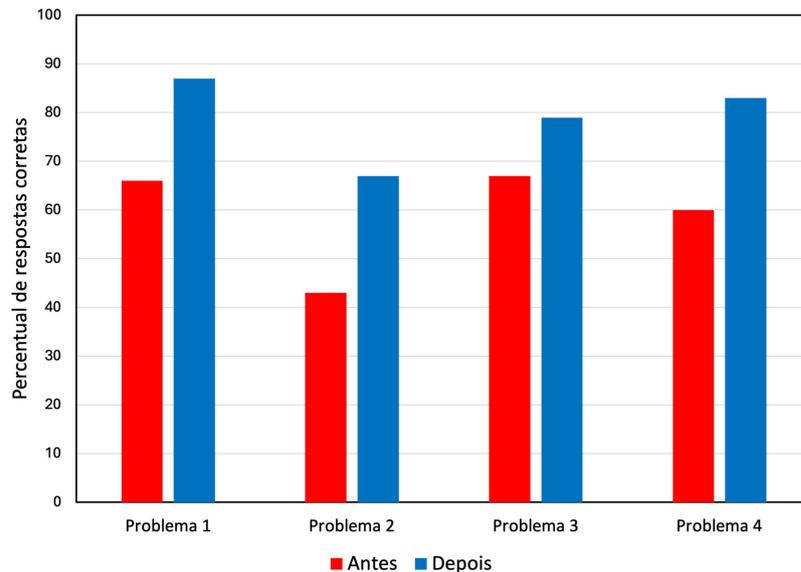
- 1. *Semicondutor intrínseco*
- 2. *Semicondutor extrínseco*

para preencher os itens a seguir e determine a sequência correspondente.

- () *Um semicondutor em sua forma pura, sem impureza.*
- () *Contém uma pequena quantidade de impurezas.*

- () A condutividade elétrica é função apenas da temperatura.
- () O número de elétrons livres e lacunas nunca é igual.
- () O número de elétrons livres é igual ao número de lacunas.
- () A condutividade elétrica é função da temperatura, bem como da concentração de átomos de impurezas dopados nela.
- (a) 1, 2, 2, 2, 1, 1. (c) 2, 1, 2, 1, 2, 1.
- (b) 1, 2, 1, 2, 1, 2. (d) 1, 2, 1, 1, 2, 2.

Figura 34 – Percentual de acertos para os Problemas de 1 a 4 da Aula 01 - Condutividade de Materiais. Em vermelho temos as respostas antes dos estudantes discutirem entre si e em azul as respostas depois da discussão entre eles.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

Apesar das aulas convencionais já incluírem a resolução de questões, os estudantes foram bastante receptivos com a metodologia *Peer Instruction*. Essa é uma dinâmica que inclui não apenas a resolução das questões pelos próprios alunos mas também promove a discussão entre eles. Foi possível observar que isso causou uma certa competição entre os estudantes, o que pareceu ser atrativo.

Por ter sido a primeira vez que os estudantes usaram essa metodologia foram necessários esclarecimentos, principalmente sobre a necessidade de que a primeira resposta ter que ser dada individualmente e só depois de verificada ser permitida a discussão entre os pares.

Observamos também que os estudantes não estão habituados a dialogar entre si, e em

geral só querem a resposta final. Era recorrente que eles perguntassem aos estudantes com mais destaque, e esses geralmente tinham facilidade em convencer os colegas mesmo quando estavam errados. O oposto também foi possível ser observado, os estudantes com menos destaque tinham dificuldade de convencer os demais mesmo quando acertavam a resposta.

Nesse ponto a interferência do professor para mediar as discussões deve focar em incentivar a participação de todos e mediar as discussões na construção de um raciocínio correto.

Apesar de terem sido usadas apenas 4 questões elas foram escolhidas de forma que o máximo de conteúdo fosse abordado. Acreditamos que com o tempo disponível ao final de cada aula esse quantitativo está adequado.

Na Figura 34, em vermelho temos as respostas antes dos estudantes discutirem entre si e em azul as respostas depois da discussão entre eles. Apenas o Problema 2 ficou abaixo de 70% de acertos após a interação entre os estudantes. Os Problemas 02 e 04 são de temática parecida, no 02 discute-se a diferença entre os semicondutores do tipo P e tipo N, e no 04 são discutidas as diferenças entre semicondutores intrínsecos e extrínsecos. Esses são temas que os estudantes tiveram contato pela primeira vez na aula em questão, e por isso podem ser considerados mais complexos. O melhor desempenho na questão 04 pode ser interpretado como uma evolução dos estudantes.

Devemos destacar ainda que todas as questões foram discutidas e resolvidas pela professora após essa segunda verificação de respostas como uma forma de revisar o conteúdo e reforçar os conceitos apresentados na aula.

6.2 Aula 02 - Átomo de Bohr e espectro de emissão

No questionário pré-teste avaliamos quais os conhecimentos dos estudantes sobre os modelos atômicos anteriores ao modelo atômico de Bohr. O estudo de modelos atômicos é um tópico também previsto no PPC como parte da componente curricular de Química ministrada no 1º ano do Ensino Médio.

Problema 1. *Sobre os principais modelos atômicos, utilize:*

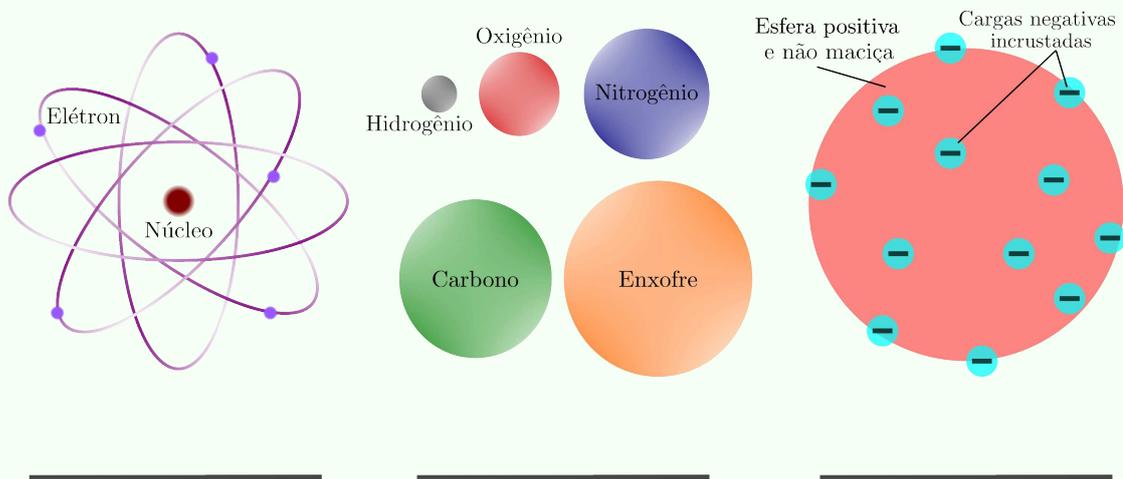
1. *Modelo atômico de Dalton*
2. *Modelo atômico de Thomson*
3. *Modelo atômico de Rutherford*

para preencher as afirmações a seguir acerca das características e contradições relacionadas

a esses modelos.

- () O átomo é formado por duas regiões denominadas núcleo e eletrosfera.
- () O átomo não é indivisível e a matéria possui propriedades elétricas.
- () O átomo é uma esfera maciça.
- () O átomo é uma esfera de carga elétrica positiva, não maciça, incrustada de elétrons (negativos), de modo que sua carga elétrica total é nula.
- () Modelo de átomo semelhante a um minúsculo sistema planetário, em que os elétrons se distribuíam ao redor do núcleo como planetas em torno do Sol.
- () Partículas de cargas opostas se atraem, dessa forma os elétrons devem percorrer uma espiral em direção ao núcleo, perdendo energia gradualmente e, à medida que isso ocorre, emitiriam energia na forma de luz.
- () O átomo apresenta, predominantemente, espaços vazios.
- () O núcleo é a região mais densa do átomo.
- () Explica por que algumas partículas alfa não conseguem atravessar uma lâmina metálica fina e sofrem fortes desvios.

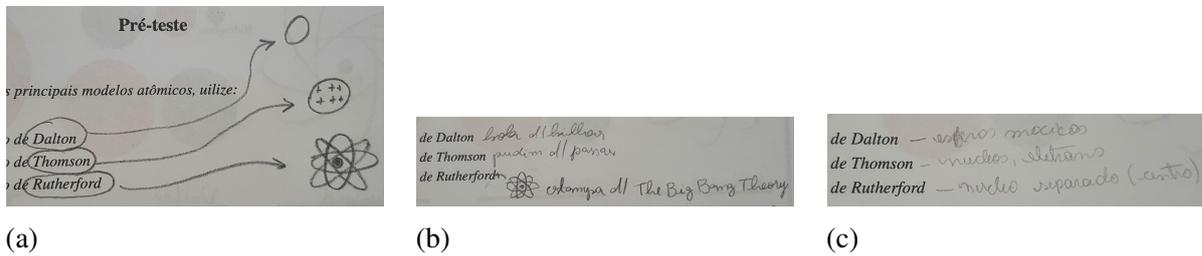
Preencha o nome correspondente a cada modelo atômico representado nas figuras que seguem:



Fonte: Elaborada pela própria autora.

Nessa segunda aula os estudantes já estavam esperando a aplicação de atividades desse tipo, portanto foram mais ágeis na resolução. Observamos também que os alunos buscaram recuperar o conhecimento que tiveram anteriormente, utilizando desenhos, nomenclatura dos modelos ou características típicas de cada modelo atômico. Na Figura 35 podemos ver alguns exemplos de associações que os estudantes utilizaram para a resolução do Problema 1.

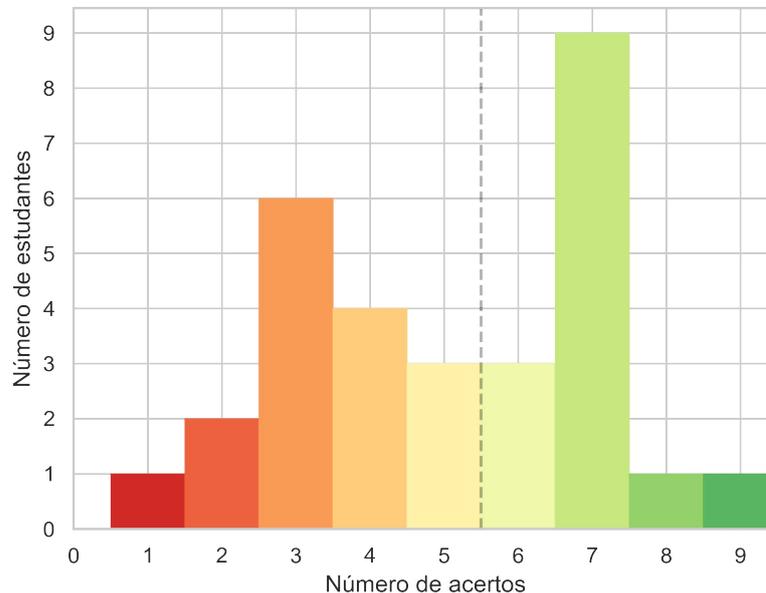
Figura 35 – Exemplos de associações feitas pelos estudantes para auxiliar na resposta do Problema 01. Podemos ver que foram usados desenhos, a nomenclatura dos modelos e características típicas de cada modelo atômico.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

Na Figura 36 está a distribuição de respostas corretas entre os estudantes. O desempenho foi superior quando comparado ao questionário aplicado durante a Aula 01. A linha tracejada sinaliza 6 acertos que para esse problema indica o valor aproximado de 70%, média no IFPA.

Figura 36 – Número de itens associados corretamente (acertos) pelos estudantes no Problema 1. A linha tracejada marca 6 acertos, essa marcação indica o valor aproximando de 70% de acerto que é a média no IFPA.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

Os resultados desse gráfico indicam que o conteúdo de modelos atômicos não estava consolidado entre os estudantes, e que precisa ser reforçado.

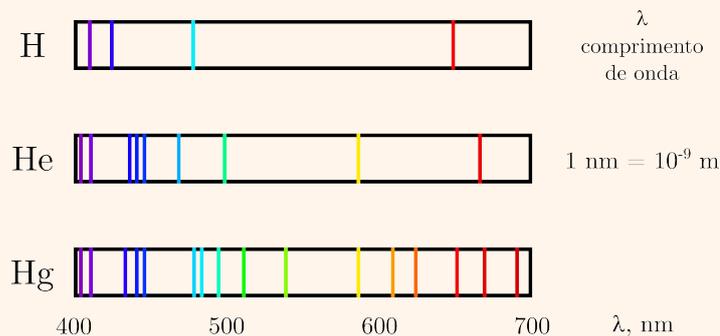
Com relação às questões aplicadas usando *Peer Instruction*, a receptividade pode ser observada inclusive na baixa evasão nas aulas, algo incomum para a turma em questão. Os estudantes se mostraram muito motivados depois da primeira aula.

Entretanto, é importante destacar que questões de múltipla escolha possibilitam que os estudantes respondam mesmo que não saibam a solução, ou seja, permitem “chute” e isso é um obstáculo para a metodologia *Peer Instruction*.

O uso de mais questões, com temas complementares pode ser uma forma de avaliar se os acertos foram ao acaso ou não. Se os estudantes acertam uma questão considerada difícil mas erram questões fáceis, isso pode indicar a necessidade de reforço do conteúdo.

As questões aplicadas nessa aula estão expostas a seguir com a respectiva análise do desempenho dos estudantes na Figura 37. Em vermelhos temos as respostas antes dos estudantes discutirem entre si e em azul as respostas depois da discussão entre eles.

Problema 1 (UECE/1999). *Cada elemento químico apresenta um espectro característico, e não há dois espectros iguais. O espectro é o retrato interno do átomo e assim é usado para identificá-lo, conforme ilustração dos espectros dos átomos dos elementos Hidrogênio, Hélio e Mercúrio.*



Bohr utilizou o espectro de linhas para representar seu modelo atômico, assentado em postulados, cujo verdadeiro é:

- ao mudar de órbita ou nível, o elétron emite ou absorve energia superior à diferença de energia entre as órbitas ou níveis onde ocorreu essa mudança.*
- todo átomo possui órbitas, com energia constante, chamadas estados estacionários, nos quais o elétron pode movimentar-se sem perder nem ganhar energia.*
- os elétrons descrevem, ao redor do núcleo, órbitas elípticas com energia variada.*
- o átomo é uma esfera positiva que, para tornar-se neutra, apresenta elétrons (partículas negativas) incrustados em sua superfície.*

Problema 2 (CEFET-MG/2005 - Adaptada). *O modelo de átomo proposto pelo físico dinamarquês Niels Bohr, em 1913, foi o primeiro a explicar satisfatoriamente o espectro descontínuo do átomo de hidrogênio. Dentre as suposições para esse modelo, é correto afirmar que o elétron:*

- (a) *descreve uma trajetória elíptica em torno do núcleo.*
- (b) *emite radiação quando se encontra em uma órbita permitida.*
- (c) *emite um fóton ao saltar de uma trajetória de menor energia para outra de maior energia.*
- (d) *move-se apenas em trajetórias bem definidas.*

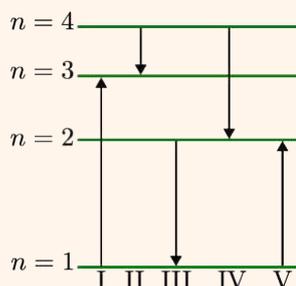
Problema 3 (UFRGS/2002 - Adaptada). *O decaimento de um átomo, de um nível de energia excitado para um nível de energia mais baixo, ocorre com a emissão simultânea de radiação eletromagnética. A respeito, considere as seguintes afirmações.*

- I. *A intensidade da radiação emitida é diretamente proporcional à diferença de energia entre os níveis inicial e final envolvidos.*
- II. *A frequência da radiação emitida é diretamente proporcional à diferença de energia entre os níveis inicial e final envolvidos.*
- III. *O comprimento de onda da radiação emitida é inversamente proporcional à diferença de energia entre os níveis inicial e final envolvidos.*

Quais estão corretas?

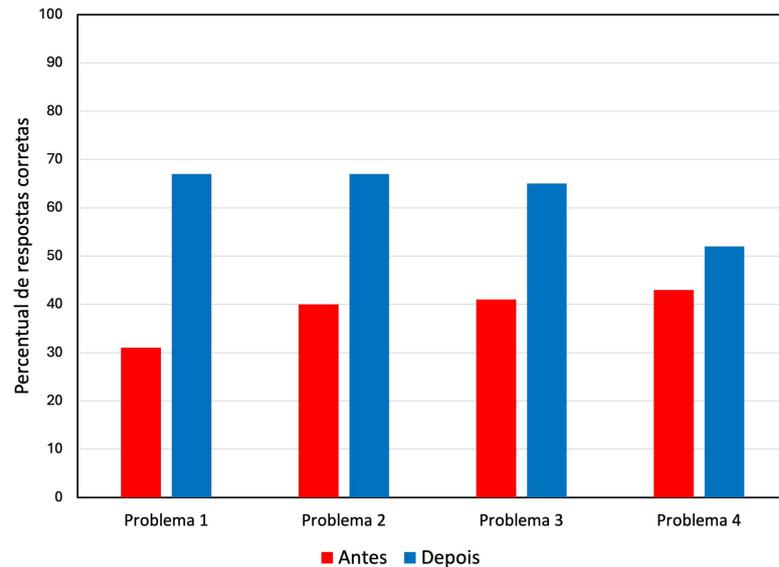
- (a) *Apenas II.*
- (b) *Apenas I e III.*
- (c) *Apenas II e III.*
- (d) *I, II e III.*

Problema 4 (ITA/2000-Adaptada). *O diagrama mostra os níveis de energia (n) de um elétron em um certo átomo. Qual das transições mostradas na Figura representa a emissão de um fóton com o menor comprimento de onda?*



*(a) I**(c) III**(b) II**(d) V*

Figura 37 – Percentual de acertos para os Problemas de 1 a 4 da Aula 02 - Átomo de Bohr e espectro de emissão. Em vermelho temos as respostas antes dos estudantes discutirem entre si e em azul as respostas depois da discussão entre eles.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

Como na primeira aula, depois de coletar a resposta dos estudantes pela segunda vez foi feita a discussão da solução de cada questão com a turma. Um destaque para o Problema 4 que apesar de não envolver cálculos pode ser tratado como um Problema não conceitual. Os percentuais de respostas corretas nesse caso não aumentaram significativamente depois da discussão entre os estudantes, e isso pode ser justificado pela alta incidência de “chutes” induzidos pelo desenho disponível no enunciado do problema.

6.3 Aula 03 - Observação de espectros

A observação dos espectros foi feita na própria sala de aula com espectroscópios fabricados no próprio Instituto usando uma impressora 3D disponível no campus. Na Figura 30a temos uma fotografia do momento da impressão.

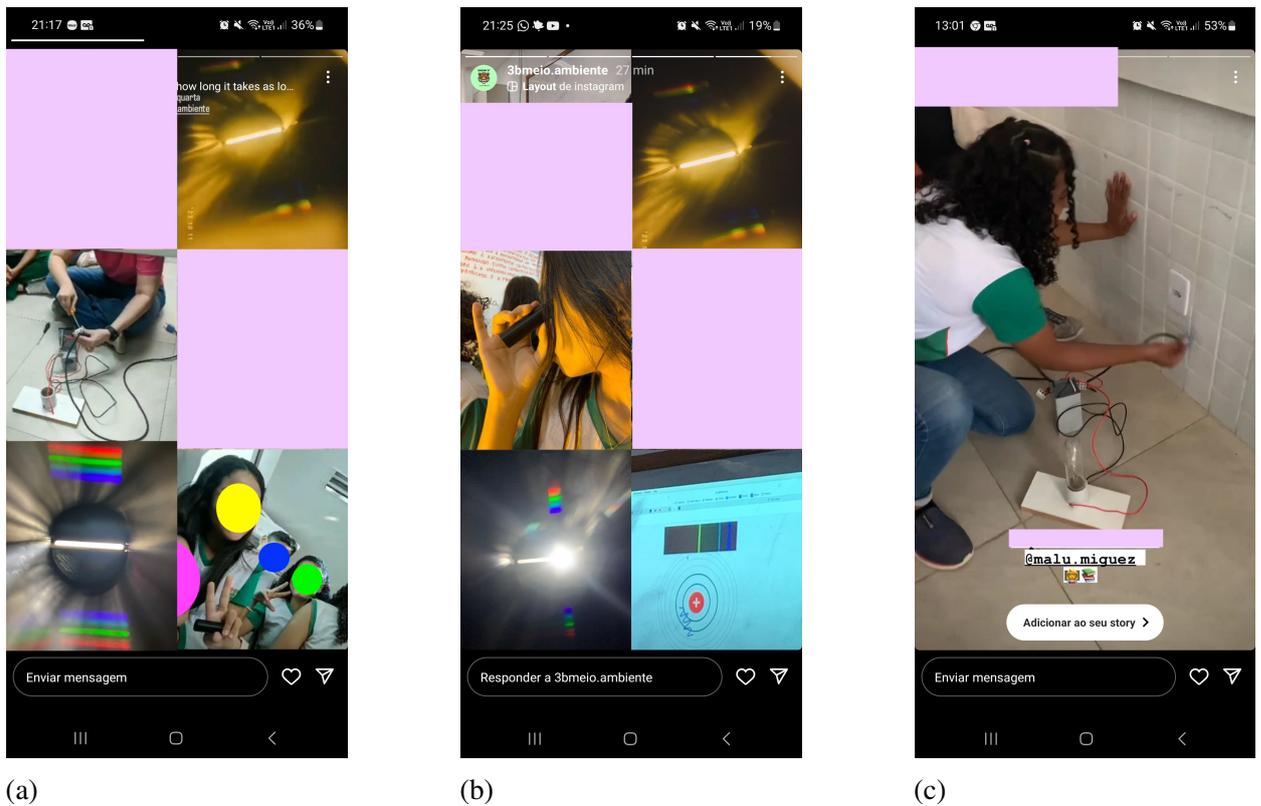
A aula se iniciou com a observação dos espectros solar e das lâmpadas disponíveis em sala. Todos os estudantes participaram ativamente, fazendo as observações, compartilhando as impressões com os demais colegas e fazendo registros que inclusive usaram como postagem em suas próprias redes sociais. Nas imagens da Figura 38 podemos ver diversas fotografias desse momento e na Figura 39 imagens de compartilhamentos dos estudantes nas redes sociais.

Figura 38 – Fotografias dos estudantes observando os espectros solar em 38a e a lâmpada de sódio disponibilizada, fotografias 38b e 38c.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

Figura 39 – Imagens de compartilhamentos que os estudantes fizeram em suas redes sociais. Os quadros rosas foram usados para cobrir imagens não relacionadas com esse trabalho.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

O compartilhamento nas próprias redes sociais dos estudantes mostra que a atividade experimental foi bem recebida. A Figura 39b foi compartilhada pelo Instagram da turma.

Além da observação dos espectros, também foram aplicadas 3 questões para serem respondidas usando o método *Peer Instruction*. Na Figura 40 podemos verificar o desempenho dos estudantes nessas questões. Por se tratar de um segundo conjunto de questões sobre o modelo atômico de Bohr esperava-se um melhor rendimento, que realmente foi observado. O Problema 03 teve 100% de acertos já na primeira resposta e por isso não foi realizada a segunda etapa.

Problema 1 (VUNESP/2022 - Adaptada). *Na segunda metade do século XVII, Isaac Newton passou a investigar o comportamento da luz solar. É atribuído a ele o experimento de, num aposento escuro, fazer passar um estreito feixe de luz que, depois de atravessar um prisma, dispersou-se em um feixe multicolorido indo projetar-se sobre um anteparo. Isso foi fundamental para Gustav Kirchhoff e Robert Bunsen, mais tarde, explicarem e descreverem precisamente os espectros de linhas de emissão e de absorção das radiações emitidas ou absorvidas pela matéria. Assim,*

- (a) se um corpo denso e quente emitir uma onda eletromagnética, esta onda irá produzir, depois de atravessar um prisma, um espectro de linhas de emissão.*
- (b) se uma onda eletromagnética atravessar um gás rarefeito e frio, seguido de um prisma, irá produzir um espectro contínuo.*
- (c) um espectro de linhas de absorção será produzido por uma radiação oriunda de uma estrela densa e quente, depois de atravessar um prisma.*
- (d) um espectro contínuo será produzido quando radiações eletromagnéticas forem emitidas por corpos densos e quentes, depois de passarem por um prisma.*

Problema 2 (CESPE/2007). *No que se refere aos métodos instrumentais de análise química, julgue o item.*

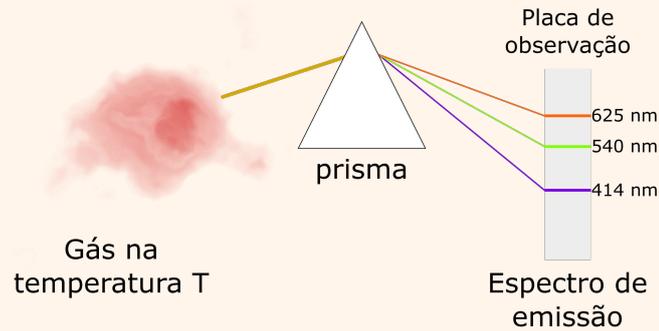
Frequentemente, átomos de elementos químicos diferentes dão origem a um mesmo espectro de raias de absorção, o que faz que diferentes estados de excitação estejam associados a elementos químicos distintos.

(a) Certo.

(b) Errado.

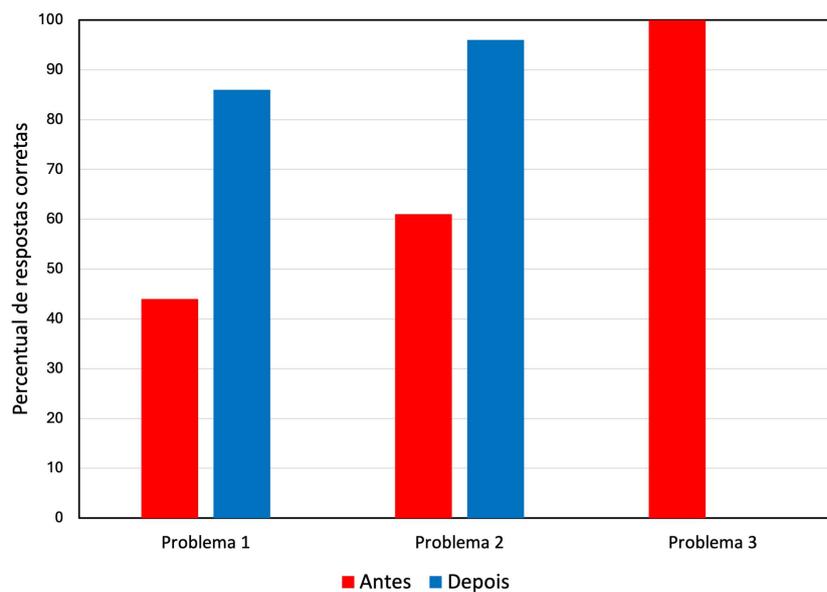
Problema 3 (UFAL/2016 - Adaptada). *Considere a situação hipotética, mostrada na Figura, na qual um gás monoatômico está a uma temperatura constante (T) suficientemente elevada*

para que ocorra a emissão de luz.



- (a) os comprimentos de onda das linhas visualizadas na placa após a dispersão da radiação pelo prisma podem ser explicados pelo efeito fotoelétrico.
- (b) o maior comprimento de onda observado na placa é proveniente de transições eletrônicas entre o estado fundamental e primeiro estado excitado.
- (c) os três comprimentos de onda obtidos são provenientes de emissões devido a transições eletrônicas entre o estado fundamental e o primeiro estado excitado.
- (d) os comprimentos de onda exibidos na placa após a passagem pelo prisma são provenientes das transições atômicas explicadas, em linhas gerais, pelo modelo de Bohr.

Figura 40 – Percentual de acertos para os Problemas de 1 a 3 da Aula 03 - Observação de espectros. Em vermelho temos as respostas antes dos estudantes discutirem entre si e em azul as respostas depois da discussão entre eles.

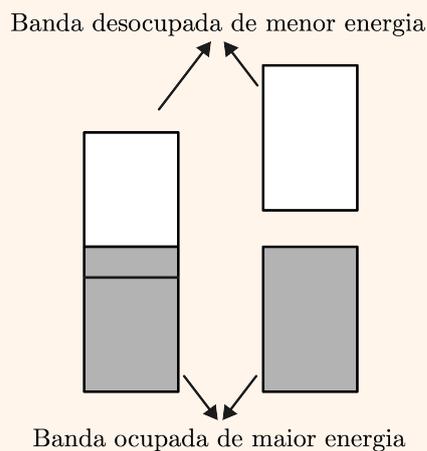


Fonte: Elaborada pela própria autora.

6.4 Aula 04 - Bandas de energia e *gap* de energia

A Aula 04 foi dedicada ao uso de simuladores para que estudantes compreendessem a diferença das bandas de energia dos diferentes tipos de materiais. E para avaliar o conhecimento finalizamos a aula aplicando questões dessa temática usando a metodologia *Peer Instruction*. O resultado da aplicação pode ser visto na Figura 41.

Problema 1 (IADES/2016 - Adaptada). *Diversas propriedades dos sólidos são entendidas com o conceito de bandas de energia. A natureza dessas bandas determina se o material é isolante, condutor ou semicondutor. A banda de valência é a banda de energia mais elevada, e a banda de condução é a banda de energia menos elevada. Considerando essas informações, e com base na Figura apresentada, é correto afirmar que o esquema da esquerda corresponde a um*



- (a) *semicondutor, e o da direita a um isolante.*
- (b) *condutor, e o da direita a um isolante ou a um semicondutor, dependendo da “distância” energética entre as bandas.*
- (c) *condutor, e o da direita a um semicondutor, independentemente da “distância” energética entre as bandas.*
- (d) *semicondutor, e o da direita a um condutor ou isolante, dependendo da “distância” energética entre as bandas.*

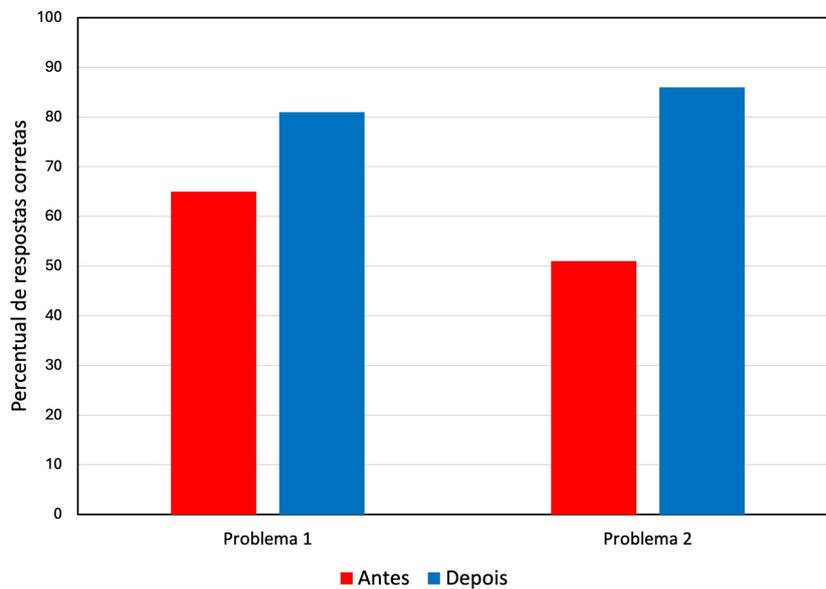
Problema 2 (CESPE/2008). *Com respeito às características e propriedades dos materiais condutores, isolantes e magnéticos, julgue o item que se segue.*

Em temperatura ambiente, constata-se que a diferença de energia entre as bandas de condução e valência dos materiais condutores é superior àquela dos materiais isolantes, resultando em um número maior de elétrons livres para estabelecimento do fluxo de corrente.

(a) Certo.

(b) Errado.

Figura 41 – Percentual de acertos para os Problemas 1 e 2 da Aula 04 - Bandas de energia e GAP de energia. Em vermelho temos as respostas antes dos estudantes discutirem entre si e em azul as respostas depois da discussão entre eles.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

6.5 Aula 05 - Funcionamento de um LED

Parte da Aula 05 foi dedicada a introduzir a parte experimental que será realizada na Aula 06. Além de discutir o funcionamento de um LED a partir da junção PN, comparamos o comportamento desse dispositivo com os resistores ôhmicos, componente elétrico já conhecido pelos estudantes.

A análise das respostas dos estudantes para as questões usadas nessa aula está indicada na Figura 42. O Problema 1 teve mais de 70% de acerto já na primeira rodada e por isso não houve a etapa de discussão por pares. Segundo o método *Peer Instruction*, para percentuais acima desse valor não é necessário a segunda etapa por não gerar muita discussão entre os estudantes.

Problema 1 (UEL-PR/2005 - Adaptada). *Alguns semicondutores emissores de luz, mais conhecidos como LEDs, estão sendo introduzidos na sinalização de trânsito das principais cidades do mundo. Isto se deve ao tempo de vida muito maior e ao baixo consumo de energia elétrica dos LEDs em comparação com as lâmpadas incandescentes, que têm sido utilizadas para esse fim. A luz emitida por um semicondutor é proveniente de um processo físico, onde um elétron excitado para a banda de condução do semicondutor decai para a banda de valência, emitindo um fóton de energia $E = h\nu$. Nesta relação, h é a constante de Planck, ν é a frequência da luz emitida ($\nu = c/\lambda$, sendo c a velocidade da luz e λ o seu comprimento de onda), e E equivale à diferença em energia entre o fundo da banda de condução e o topo da banda de valência, conhecida como energia de “gap” do semicondutor. Com base nessas informações e no conhecimento sobre o espectro eletromagnético, é correto afirmar:*

- (a) *A energia de “gap” de um semicondutor será maior quanto maior for o comprimento de onda da luz emitida por ele.*
- (b) *Para que um semicondutor emita luz verde, ele deve ter uma energia de “gap” maior que um semicondutor que emite luz vermelha.*
- (c) *O semicondutor que emite luz vermelha tem uma energia de “gap” cujo valor é intermediário às energias de “gap” dos semicondutores que emitem luz verde e amarela.*
- (d) *O semicondutor emissor de luz amarela tem energia de “gap” menor que o semicondutor emissor de luz vermelha.*

Problema 2 (IFPR/2019 - Adaptada). *O avanço da tecnologia se deve muito ao desenvolvimento dos semicondutores. Quais componentes e/ou dispositivos abaixo são exemplos de semicondutores?*

- (a) *Diodo, transistor e resistor.*
- (b) *LDR (Light Dependent Resistor), resistor e Diodo.*
- (c) *Resistor, capacitor e LDR (Light Dependent Resistor).*
- (d) *Diodo, LED (Light Emitting Diode) e LDR (Light Dependent Resistor).*

Problema 3 (CESPE/2007). *A inovação tecnológica mais importante do século XX talvez tenha sido o desenvolvimento de dispositivos semicondutores, o que propiciou a chamada revolução da informática. O desenvolvimento desses dispositivos, por sua vez, não teria*

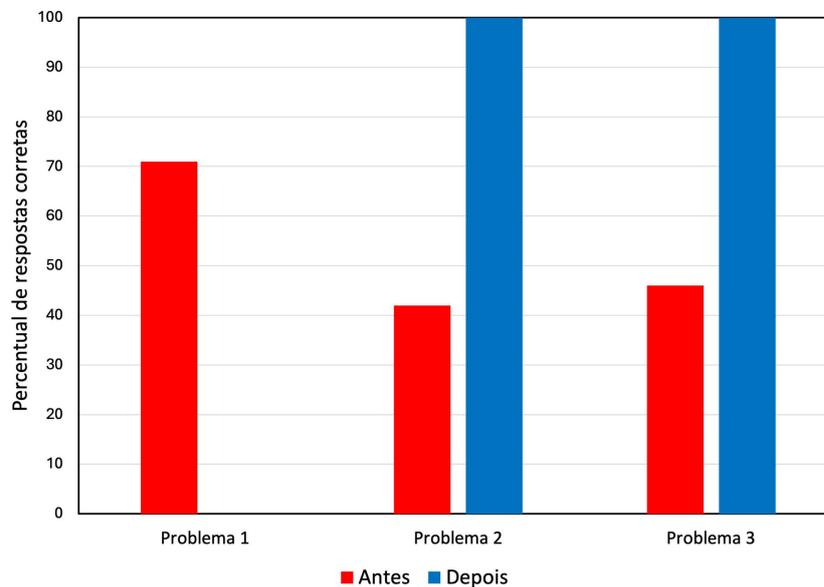
ocorrido sem uma compreensão detalhada das propriedades dos materiais semicondutores. Julgue o item que se segue, relacionado a esses materiais e suas propriedades.

Na zona de depleção de uma junção P-N em equilíbrio (sem aplicação de voltagem externa), o campo elétrico é zero e a densidade de portadores é maior do que nas outras partes do material.

(a) Certo.

(b) Errado.

Figura 42 – Percentual de acertos para os Problemas de 1 a 3 da Aula 05 - Funcionamento de um LED. Em vermelho temos as respostas antes dos estudantes discutirem entre si e em azul as respostas depois da discussão entre eles.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

6.6 Aula 06 - Atividade experimental

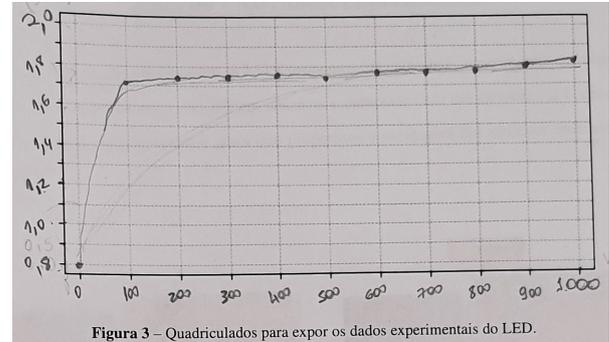
O encerramento da sequência didática se deu com uma atividade experimental, na qual os estudantes deveriam além de observar o que estava acontecendo, coletar dados para criar tabelas e gráficos e a partir disso responder as perguntas que estavam presentes no roteiro de prática fornecido.

Na Figura 43 temos um exemplo de dados coletados por uma das equipes de estudantes. Em 43a esses dados estão organizados em uma tabela que contém a voltagem obtida para diversos valores de corrente para o LED fornecido. O experimento foi realizado com um LED que emitia frequência no vermelho. Em 43b esses dados estão organizados em um gráfico construído pelos estudantes.

Figura 43 – Exemplo de dados coletados por uma das equipes de estudantes. Em 43a esses dados estão organizados em uma tabela que contém a voltagem obtida para diversos valores de corrente para o LED fornecido. Em 43b esses dados estão organizados em um gráfico construído pelos estudantes.

Tabela 2 – Dados obtidos com o circuito elétrico para investigação do comportamento do LED.

Voltagem (V)	Corrente (μA)
1.60	0
1.82	100
1.85	200
1.87	300
1.87	400
1.89	500
1.90	600
1.91	700
1.91	800
1.92	900
1.93	1000



(a)

(b)

Fonte: Elaborada pela própria autora.

Na Figura 43 é possível observar que a tabela já fornecia os valores de correntes, e os estudantes precisavam apenas medir as voltagens correspondentes. O roteiro foi fornecido dessa forma para auxiliar os estudantes e evitar que os LEDs fossem danificados.

Os estudantes gostaram bastante de realizar o experimento, tiveram algumas dificuldades com a manipulação do multímetro, principalmente para escolha de escala e uso das pontas de prova. Na figura 44 podemos ver fotografias dos estudantes realizando o experimento e coletando os dados experimentais.

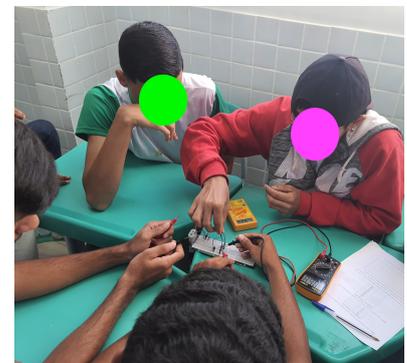
Figura 44 – Fotografias dos estudantes realizando o experimento e coletando os dados experimentais.



(a)



(b)

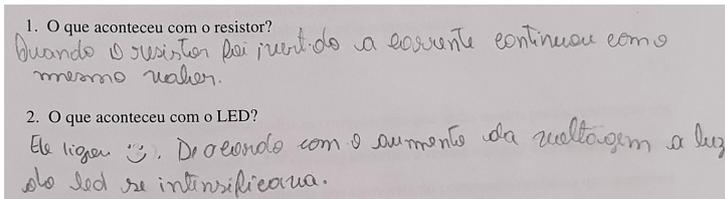


(c)

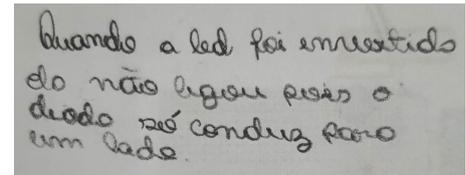
Fonte: Elaborada pela própria autora.

O roteiro propunha estudar o comportamento elétrico do LED comparado a um resistor ôhmico. De forma que os estudantes realizaram medidas equivalentes às da Figura 43 para um resistor. E com ambos os dados deveriam responder duas questões. Exemplos de respostas podem ser vistos na Figura 45.

Figura 45 – Exemplos de respostas para as questões presentes no roteiro experimental.



(a)



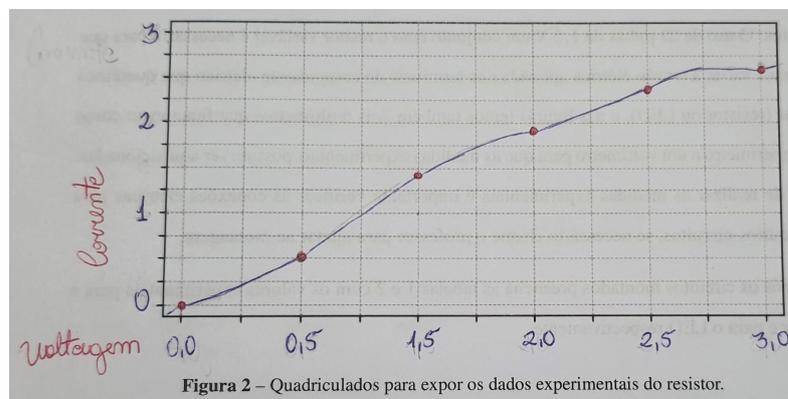
(b)

Fonte: Elaborada pela própria autora.

O roteiro propunha que os estudantes realizassem as medida elétricas com o LED e o resistor ôhmico e invertesse a polarização de ambos os elementos para verificar o comportamento do sistema. Na Figura 45b há um segundo exemplo de resposta para a pergunta 1.

Para o preenchimento do roteiro experimental e a resolução das questões os estudantes precisaram de auxílio, e especialmente na confecção dos gráficos podem ser observados alguns equívocos, como a ligação dos pontos experimentais, como observado na Figura 46, do gráfico para o comportamento elétrico do resistor ôhmico.

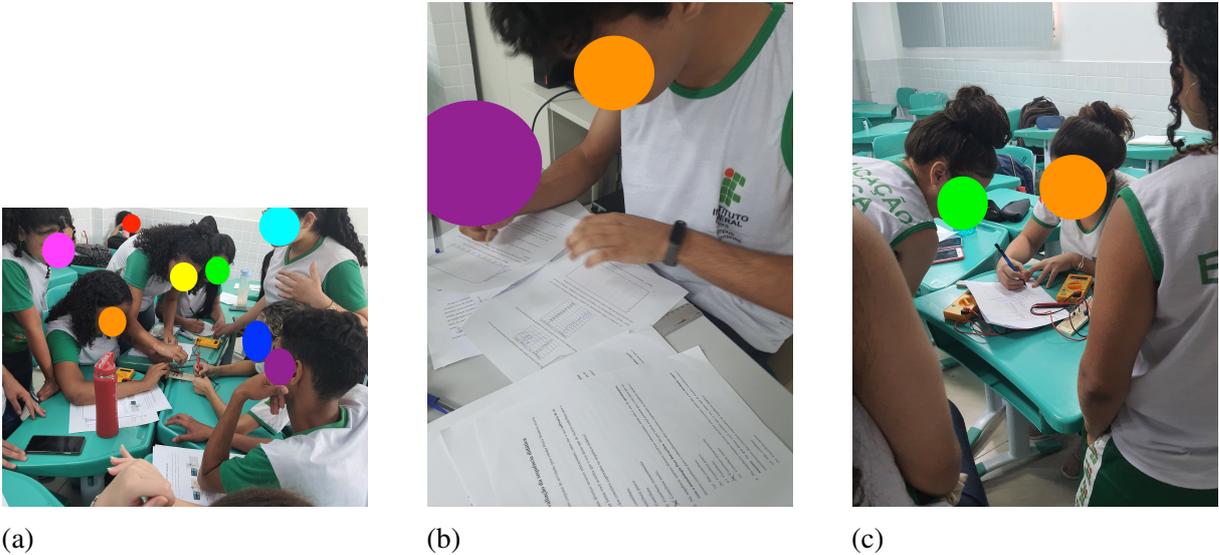
Figura 46 – Gráfico dos dados experimentais para o resistor. Na imagem podemos notar que os estudantes ligaram os pontos experimentais.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

Na Figura 47 temos fotografias dos estudantes preenchendo os roteiros experimentais e respondendo às questões propostas.

Figura 47 – Imagens dos estudantes preenchendo os roteiros experimentais e respondendo as questões propostas.



(a)

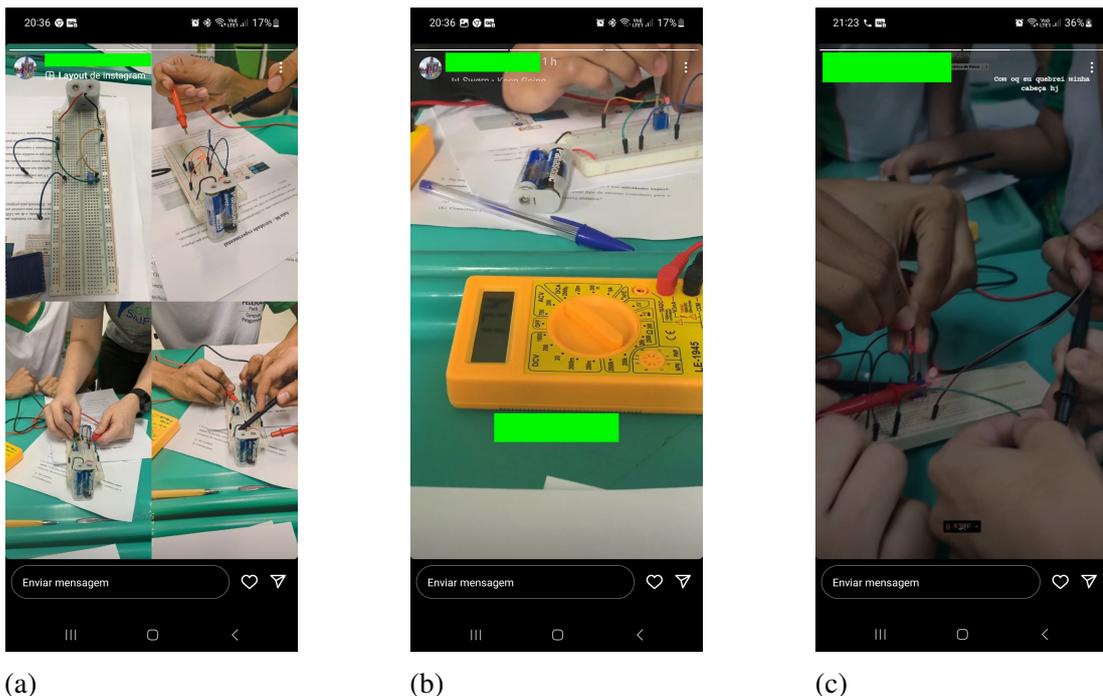
(b)

(c)

Fonte: Elaborada pela própria autora.

Na Figura 48 temos imagens de compartilhamentos dos próprios estudantes em suas redes sociais da realização da prática experimental, que mostra que foi uma atividade que os estudantes gostaram de realizar.

Figura 48 – Imagens de compartilhamentos que os estudantes fizeram em suas redes sociais. Os quadros verdes foram usados para cobrir informações pessoais do perfil dos estudantes.



(a)

(b)

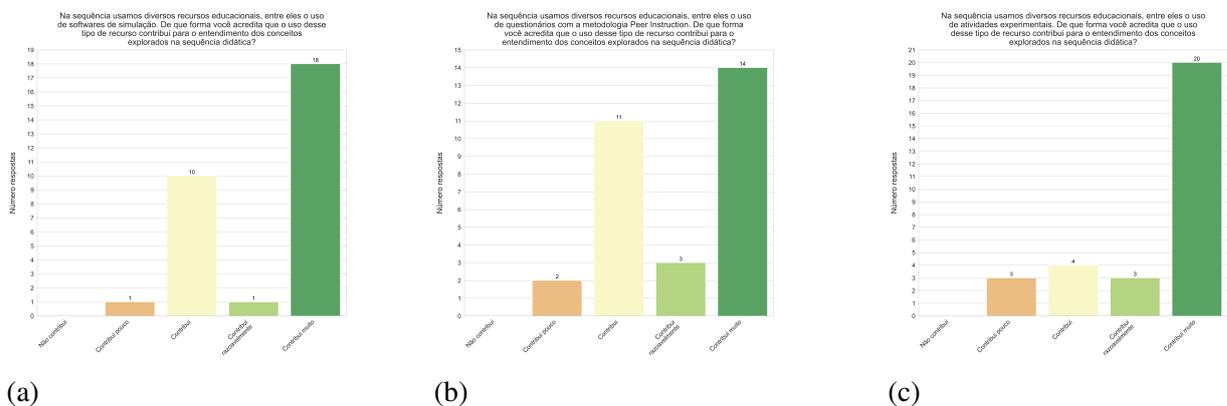
(c)

Fonte: Elaborada pela própria autora.

6.7 Avaliação dos estudantes sobre a sequência didática

No final da Aula 06 foi realizado um questionário com os estudantes para verificar qual a percepção que eles tiveram sobre os diferentes métodos de ensino empregados e sobre a sequência didática como um todo. Os resultados estão dispostos nos gráficos das Figuras 49 e 50.

Figura 49 – Respostas dos estudantes sobre a contribuição das diversas metodologias utilizadas na sequência didática para o entendimento da matéria. Em 49a avaliamos o uso de *softwares* de simulação, em 49b a metodologia *Peer Instruction* e em 49c o uso de experimentação.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

Com relação às diversas metodologias, na Figura 49a estão os resultados de como os estudantes avaliaram a contribuição de *softwares* de simulação para o entendimento dos conceitos em aula, e podemos observar que ao menos 63% dos estudantes acreditaram que a contribuição foi positiva, respondendo as opções “contribui razoavelmente” e “contribui muito”. Apenas 1 estudante achou que esse recurso contribuiu pouco para o entendimento do conteúdo.

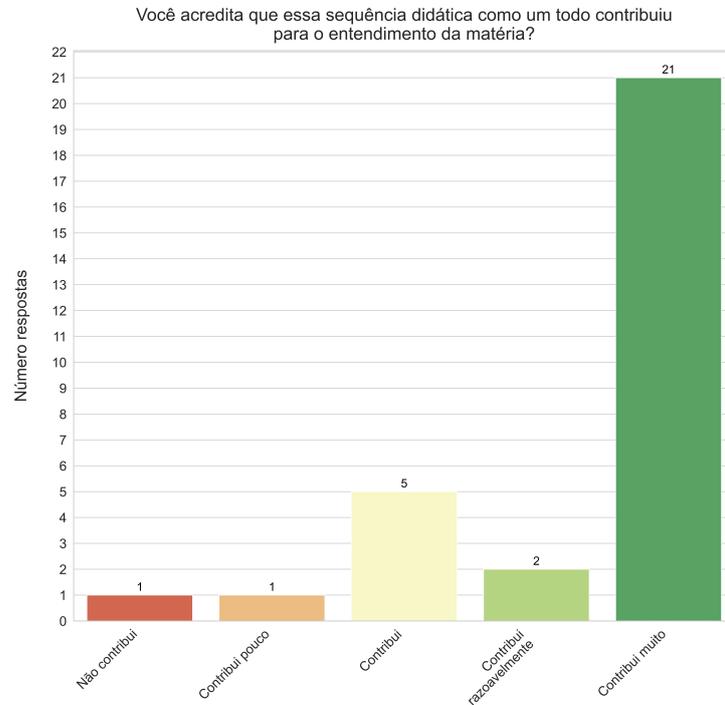
Na Figura 49b estão as respostas dos estudantes sobre a metodologia *Peer Instruction* e sua contribuição para o entendimento do conteúdo. Apenas 2 alunos responderam que “contribuiu pouco” e pelo menos 56% respondeu as opções “contribui razoavelmente” e “contribui muito”, resultado que mostra uma boa aceitação da metodologia.

Para essa metodologia, já era esperado percentual de aceitação mais baixas que as demais já que estudantes tímidos ou com dificuldades no conteúdo costumam ter algum tipo de resistência a metodologias que envolvam avaliação e interação.

Na figura 49c estão as respostas dos estudantes sobre o uso de experimentação e sua contribuição para a aprendizagem. Esse recurso foi o que os estudantes mais acreditaram

contribuir positivamente, 20 estudantes responderam que “contribuiu muito” e pelo menos 76% responderam as opções “contribui razoavelmente” e “contribui muito”.

Figura 50 – Respostas dos estudantes indicando se a sequência didática contribuiu para o entendimento da matérias.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

Os resultados anteriores são reforçados com a última questão do questionário que perguntava se a sequência didática como um todo contribuiu para o entendimento da matéria. A resposta dessa questão está na Figura 50, apenas 2 alunos responderam as opções “não contribui” e “contribui pouco” outros 21 estudantes responderam a opção “contribui muito”.

As respostas desse questionário, somado ao desempenho dos estudantes nas questões aplicadas nas aulas além da percepção em relação a participação dos estudantes nas atividades mostra que a sequência didática foi exitosa.

7 CONCLUSÕES

Os resultados presentes nessa dissertação evidenciam que ainda é necessário trabalhos que proponham intervenção didática na área de Física Moderna e Contemporânea.

Apesar da FMC estar prevista na BNCC atual, implementada desde 2018, no geral é uma temática trabalhada apenas no final do Ensino Médio, o que muitas vezes, por falta de tempo, acaba não se concretizando.

Nos questionários aplicados antes da primeira e da segunda aula que objetivavam entender qual o nível de conhecimento prévio os estudantes detinham, os resultados foram abaixo do esperado. Neste caso, mesmo que os estudantes tenham tido contato com parte do conteúdo anteriormente o mesmo não ficou fixado, isso dificulta que o estudante possa seguir adequadamente no processo de ensino aprendizagem.

Com relação às metodologias de ensino utilizadas, podemos concluir que os estudantes receberam com empolgação todas elas.

Considerando o tempo de cada um dos encontros, o uso de simulações computacionais durante as aulas mostrou-se uma ótima ferramenta para agilizar as aulas e conseguir mesmo com tempo limitado uma melhor apresentação possível do conteúdo abordado. Todos os simuladores usados são gratuitos, o que permite que os estudantes também possam consultá-los independentemente.

As atividades experimentais foram as que os estudantes mais se empolgam. Na observação dos espectros do Sol e das lâmpadas usando o espectrômetro houve grande interação entre eles: explicando uns aos outros o que estavam observando e ajudando os colegas a ajustarem o espectrômetro para ser possível observar os espectros com mais clareza. Por ser um experimento apenas qualitativo, a participação da turma foi completa.

Na atividade experimental que envolvia a aquisição de dados experimentais e análise dos mesmos, a exigência da confecção de um relatório já diminuiu o engajamento da turma. Essa atividade foi a primeira experiência da turma com circuitos elétricos reais, nas aulas de Eletricidade foram realizadas atividades experimentais, porém utilizando um simulador. Mesmo que através de ambientes virtuais os estudantes já tinham uma experiência mínima com resistores, baterias, placas de prototipagem e medidores de corrente e tensão elétrica. Nessa atividade, apesar de ter sido realizada em grupo, pôde ser observado o empenho de boa parte dos estudantes em participar de alguma forma.

Com relação à metodologia *Peer Instruction* podemos elencar como conclusões

positivas: i) a participação da turma na atividade, ressalta-se que muitos estudantes participavam menos quando as questões eram quantitativas ao invés de conceituais e ii) a adaptação à metodologia, em que era permitido interagir com os colegas apenas após a primeira rodada de respostas. Entretanto, devemos ressaltar que essa metodologia permite que os estudantes, muitas vezes, respondam sem que tenham convicção de suas respostas e, dessa forma, a etapa de discussão entre pares fica empobrecida.

Tratando-se da temática proposta nesse trabalho em que discute-se o funcionamento de um LED, apesar de ser um dispositivo presente no dia a dia, o seu funcionamento ainda é pouco explorado, inclusive no Ensino Superior, em cursos de Licenciatura que não possuem, necessariamente, disciplinas como Física do Estado Sólido ou afins em seus currículos pedagógicos. Isso é um dos motivos que justifica um aparente baixo domínio desse conteúdo por parte dos professores do Ensino Médio, exemplificado no experimento de obtenção da constante de Planck através do potencial de corte ser discutida em muitos materiais como uma verdade absoluta ao invés de uma aproximação.

Quanto ao material disponível de formato de Produto Educacional, também é possível utilizá-lo apenas parcialmente, ao se propor especificamente o estudo de semicondutores ou do modelo de Bohr, por exemplo.

Por fim, assim como objetivado inicialmente, este trabalho propôs o uso de uma sequência didática capaz de trazer contribuições significativas para o ensino de FMC no EM, além de uma explicação, baseada em aproximações semi-clássicas adaptadas para os estudantes de ensino médio, para o entendimento do funcionamento de um LED.

REFERÊNCIAS

- ALVES, A. M. **Uma abordagem para o ensino de dispositivos LED no ensino médio**. 2017. 84 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2017.
- ANDRÉ, M. R. de A. e S. F.; ANDRÉ, P. S. de B. Classroom fundamentals: measuring the Planck constant. **Science in School**, [s. l.], n. 28, p. 28–33, fev. 2014.
- ARAÚJO, C. E. de F. **Aplicação de jogos no ensino de Física Moderna e Contemporânea: uma alternativa didática potencializando o aprendizado no ensino médio**. 2018. 116 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.
- ARAÚJO, M. S. T. D.; ABIB, M. L. V. dos S. Atividades experimentais no ensino de física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [s. l.], v. 25, n. 2, p. 176–194, jun. 2003.
- ATKINS, P.; JONES, L.; LAVERMAN, L. **Princípios de Química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.
- BERGH, A.; CRAFT, G.; DUGGAL, A.; HAITZ, R. The promise and challenge of solid-state lighting. **Physics Today**, [s. l.], v. 54, n. 12, p. 42–47, dez. 2001.
- BISCUOLA, G. J.; BÔAS, N. V.; DOCA, R. H. **Física 1: mecânica**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2016.
- BISCUOLA, G. J.; BÔAS, N. V.; DOCA, R. H. **Física 2: termologia, ondulatória, óptica**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2016.
- BISCUOLA, G. J.; BÔAS, N. V.; DOCA, R. H. **Física 3: eletricidade, física moderna**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2016.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Programa Nacional do Livro Didático 2018**. Brasília, DF: [s. n.], 2018.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. 2018. Brasília, DF: [s. n.], 2018.
- BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. **Enem 2023: resultados**. 2024. Brasília, DF: [s. n.], 2024.
- CABRAL, F. H. M. Utilização do aplicativo plickers no ensino da matemática. **Revista Brasileira da Educação Profissional e Tecnológica**, [s. l.], v. 1, n. 18, p. 1–12, mar. 2020.
- CHO, J.; PARK, J. H.; KIM, J. K.; SCHUBERT, E. F. White light-emitting diodes: history, progress, and future. **Laser and Photonics Reviews**, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 1600147, mar. 2017.
- CROUCH, C. H.; MAZUR, E. Peer instruction: ten years of experience and results. **American Journal of Physics**, [s. l.], v. 69, n. 9, p. 970–977, set. 2001.
- EISBERG, R. R.; RESNICK, R. **Física Quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas**. 1. ed. Rio de Janeiro: GEN LTC, 1979.

- FAZOLO, L. C. **O ensino por investigação como abordagem didática para o estudo da condução de eletricidade em sólidos semicondutores**. 2023. 91 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Cariacica, 2023.
- FRANCISCO, F. C. S. **A física moderna através das tecnologias na realidade angolana: experimento da constante de Planck com LEDs**. 2023. 76 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Licenciatura em Física) – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2023.
- HEITLER, W.; LONDON, F. Wechselwirkung neutraler atome und homöopolare bindung nach der quantenmechanik. **Zeitschrift für Physik**, [s. l.], v. 44, n. 6–7, p. 455–472, jun. 1927.
- LEITE, F. R. R. S.; SOUSA, L. L. de L.; SORRETINO, T. A. Aplicação de roteiros-guia para experimentação simulada na teoria sociointeracionista de lev vygotsky. **Peer Review**, [s. l.], v. 5, n. 7, p. 71–87, abr. 2023.
- LIMA, L. P. F.; BORRAJO, T. B.; SILVA, F. R. da. Abordagem sociointeracionista no ensino de física durante a pandemia da covid-19: uma revisão sistemática da literatura. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**, [s. l.], v. 3, n. 10, p. 1–13, out. 2022.
- LOSSEV, O. V. CII. Luminous carborundum detector and detection effect and oscillations with crystals. **The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science**, [s. l.], v. 6, n. 39, p. 1024–1044, abr. 1928.
- LUZ, A. M. R. da; ÁLVARES, B. A.; GUIMÃRAES, C. da C. **Física 3: contexto & aplicações**. 2. ed. São Paulo: Scipione, 2016.
- MACIEL, G. S. **Proposta de uma sequência didática sobre tópicos de física quântica através do uso de simulações computacionais e da determinação da constante de Planck com leds aplicado ao ensino médio**. 2015. 92 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015.
- MAHAN, B. M.; MYERS, R. J. **Química: um curso universitário**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 1995.
- MARQUES, T. C. de F.; MARTINS, T. C.; NOVAIS, A. de L. F.; GOMES, L. M.; PASCHOAL, C. M. M.; FERNANDES, C. S.; FERREIRA, F. C. L. Ensino de física moderna e contemporânea na última década: revisão sistemática de literatura. **Scientia Plena**, [s. l.], v. 15, n. 7, p. 074809–1, ago. 2019.
- MATÉRIA, T. **Tabela Periódica**. 2024. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/tabela-periodica/>. Acesso em: 23 jan. 2024.
- MAZUR, E. **Peer instruction: a revolução da aprendizagem ativa**. 1. ed. Porto Alegre: Penso, 2015.
- MEDEIROS, E. M. de. **Ensino de física contemporânea: a história da nanotecnologia utilizando o método Peer Instruction**. 2023. 218 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2023.
- MESQUITA, T. M. O. **Uma abordagem investigativa com o uso do método POE no estudo da interação entre as moléculas e a luz**. 2022. 96 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

MILANI, I.; STOLTZ, T.; HIGA, I. Vygotsky e o ensino de física: um olhar a partir do encontro de pesquisa em ensino de física. **Arquivos do Mudi**, [s. l.], v. 24, n. 3, p. 204–215, dez. 2020.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2022.

MÜLLER, M. G.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A.; SCHELL, J. Uma revisão da literatura acerca da implementação da metodologia interativa de ensino peer instruction (1991 a 2015). **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [s. l.], v. 39, n. 3, p. e3403–1, fev. 2017.

NAKAMURA, S. Nobel Lecture: background story of the invention of efficient blue InGaN light emitting diodes. **Reviews of Modern Physics**, [s. l.], v. 87, n. 4, p. 1139–1151, ago. 2015.

NOVIKOV, M. A. Oleg Vladimirovich Losev: pioneer of Semiconductor Electronics (Celebrating One Hundred Years since His Birth). **Physics of the Solid State**, [s. l.], v. 46, n. 1, p. 1–4, jan. 2004.

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. de H. Física moderna e contemporânea no ensino médio: Elaboração de Material Didático, em forma de Pôster, sobre Partículas Elementares e Interações Fundamentais. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, [s. l.], v. 16, n. 3, p. 267–286, dez. 1999.

PAULA, J. D.; FIGUEIREDO, N.; FERRAZ, D. P. de A. Peer instruction e Vygotsky: uma aproximação a partir de uma disciplina de astronomia no ensino superior. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [s. l.], v. 37, n. 1, p. 127–145, abr. 2020.

PERIÓDICA, T. **Tabela periódica**. 2024. Disponível em: <https://www.tabelaperiodicacompleta.com/wp-content/uploads/2011/11/tabela-periodica-semi-metais.jpg>. Acesso em: 11 mar. 2024.

PLICKERS. **Plickers Cards**. 2024. Disponível em: https://assets.plickers.com/plickers-cards/PlickersCardsasa_2up.pdf. Acesso em: 12 mar. 2024.

REZENDE, S. M. **Materiais e dispositivos eletrônicos**. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2023.

RODRIGUES, E. **Metodologia de ensino de semicondutores no ensino médio**. 2015. 109 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2015.

SCHUBERT, E. F. **Light: emitting diodes**. 2. ed. New York: Cambridge, 2006.

SCHUBERT, E. F.; KIM, J. K. Solid-state light sources getting smart. **Science**, [s. l.], v. 308, n. 5726, p. 1274–1278, maio 2005.

SILVA, D.; SALES, G.; CASTRO, J. A utilização do aplicativo plickers como ferramenta na implementação da metodologia peer instruction. **Revista Eletrônica Científica Ensino Interdisciplinar**, [s. l.], v. 4, n. 12, p. 502–516, nov. 2018.

SILVA, F. H. S. da. **Sequência didática de eletrodinâmica utilizando LEDs em circuitos elétricos simples**. 2021. 86 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

SILVA, J. N. A.; NETO, J. A. D. V.; XIMENES, C. A. P.; MORAIS, A. C. S. A experimentação como ferramenta motivacional no ensino de física. **Brazilian Journal of Development**, [s. l.], v. 6, n. 12, p. 102473–102485, dez. 2020.

SIQUEIRA, K. S. de. **Uma proposta de sequência didática para o ensino da física de materiais semicondutores**. 2022. 196 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2022.

SIQUEIRA, K. S. de. Física dos materiais semicondutores no ensino médio: possibilidades e desafios. **Diversitas Journal**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 1125–1142, abr. 2023.

SOUSA, D. G. de. **Implementação de experimentos de Física Moderna no ensino médio: desafios, dificuldades e discussões metodológicas, da concepção a construção do produto educacional**. 2018. 129 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

SOUZA, B. E. M. de. **Uma proposta de ensino de Física moderna e contemporânea para alunos com e sem deficiência visual**. 2016. 120 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

TAILE, Y. de L.; OLIVEIRA, M. K. de; DANTAS, H. **Piaget, Vygotsky, Wallon: teorias psicogenéticas em discussão**. 24. ed. São Paulo: Summus Editorial, 1992.

TERRAZZAN, E. A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 209–214, dez. 1992.

TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R. A. **Física Moderna**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

VASCAK. **Geração e recombinação**. 2024. Disponível em: https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?f=pol_generace&l=pt. Acesso em: 23 jan. 2024.

VASCAK. **Semicondutores**. 2024. Disponível em: https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?f=pol_polovodice&l=pt. Acesso em: 23 jan. 2024.

VASCAK. **Átomo de Bohr**. 2024. Disponível em: https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=atom_vodik&l=pt. Acesso em: 23 jan. 2024.

VICKREY, T.; ROSPLOCH, K.; RAHMANIAN, R.; PILARZ, M.; STAINS, M. Research-based implementation of peer instruction: a literature review. **CBE Life Sciences Education**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 14:es3, dez. 2015.

VYGOTSKY, L. S. **A Formação Social da Mente**. 7. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

VYGOTSKY, L. S. **Pensamento e Linguagem**. 4. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2015.

YAMAMOTO, K.; FUKU, L. F. **Física para o ensino médio: eletricidade, física moderna**. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 2016.

YU, P. Y.; CARDONA, M. **Fundamentals of Semiconductors Physics and Materials Properties**. 4. ed. Heidelberg: Springer, 2010.

ZHELUDEV, N. The life and times of the LED — a 100-year history. **Nature Photonics**, [s. l.], v. 1, n. 4, p. 189–192, abr. 2007.

ZHOU, F.; CLONINGER, T. Computer-based experiment for determining Planck's constant using LEDs. **The Physics Teacher**, [s. l.], v. 46, n. 7, p. 413–415, out. 2008.

APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL

ESTRATÉGIAS DIDÁTICAS PARA ENSINO DE FÍSICA MODERNA USANDO LEDs

O material didático apresentado a seguir é composto por uma sequência de aulas que trazem estratégias didáticas para o ensino de Física Moderna em turmas de Ensino Médio.

A proposta é que este possa servir como material de apoio didático para que professores do Ensino Médio possam enriquecer suas atividades no que concerne ao ensino dos fundamentos da Física Moderna e Contemporânea.



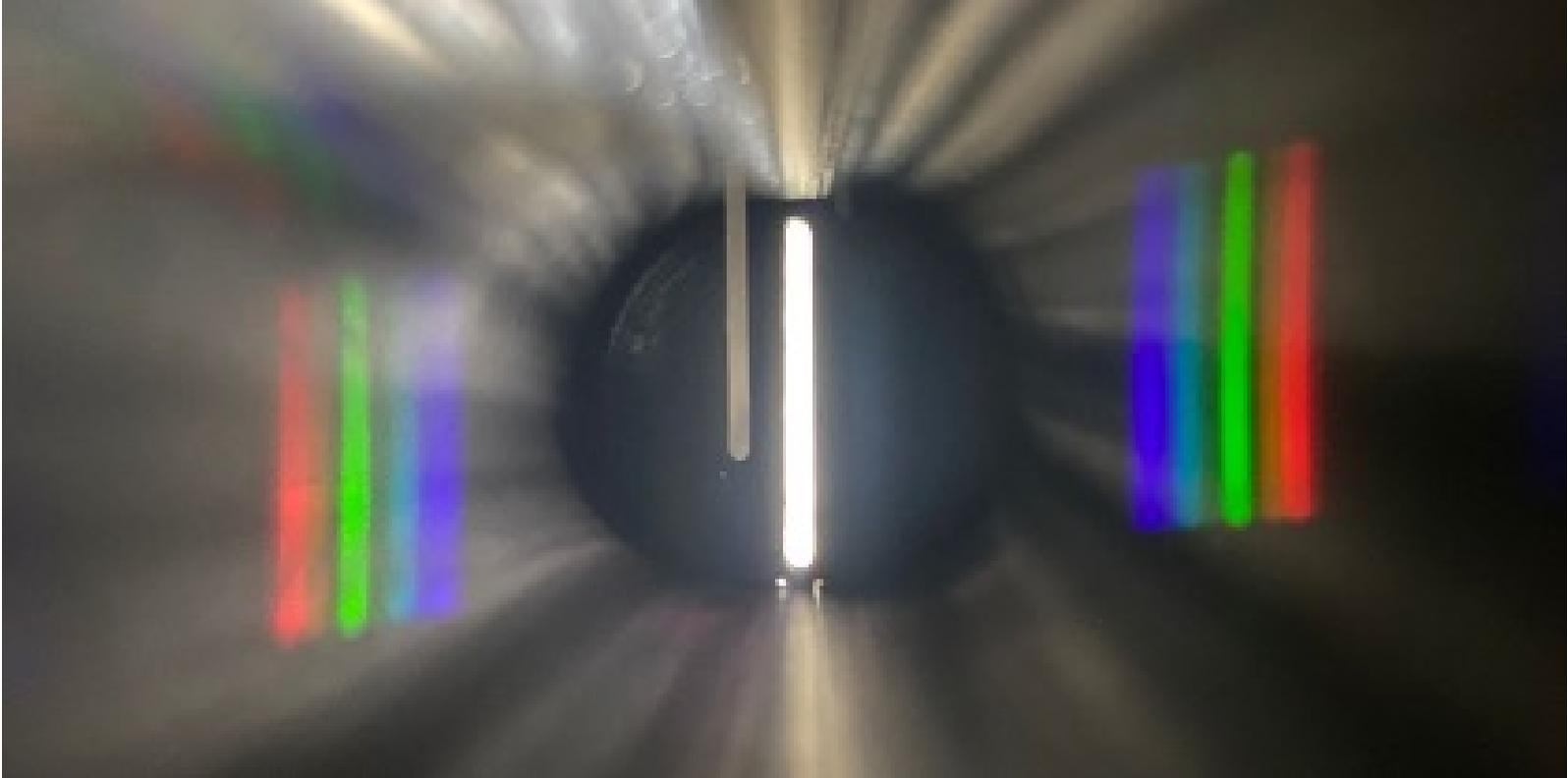
Estratégias didáticas para ensino de Física Moderna usando LEDs

Produto Educacional - MNPEF/UFC

Profa. Maria Luiza Miguez

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Santos de Almeida

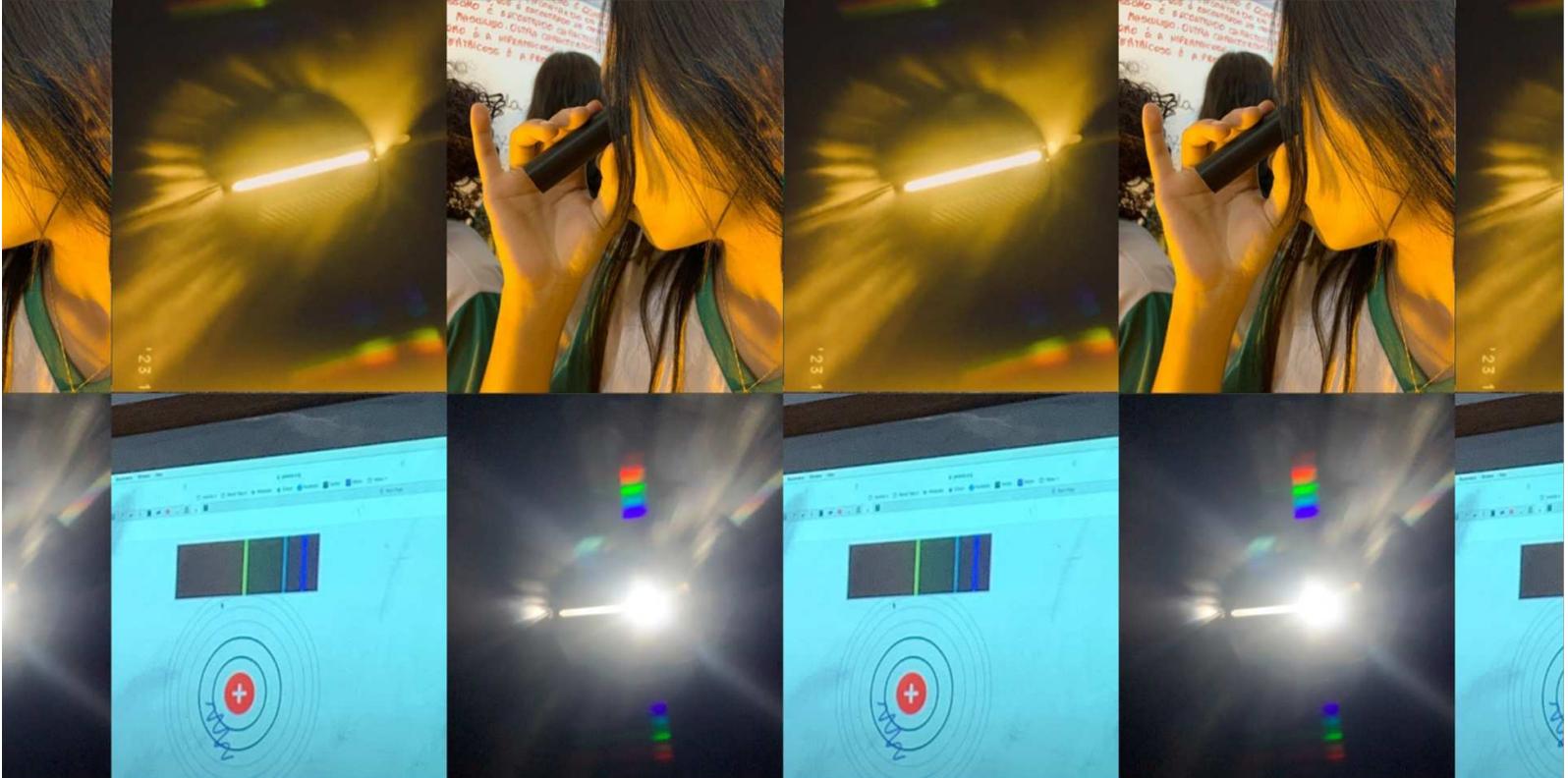
Coorientador: Prof. Dr. Nildo Loiola Dias



Sumário

1	Introdução	5
2	Aula 01 - Condutividade de Materiais	9
2.1	Atividades preparatórias	14
2.2	Questões para o método Peer Instruction	15
3	Aula 02 - Átomo de Bohr e espectro de emissão	19
3.1	Atividades preparatórias	20
3.2	Questões para o método Peer Instruction	21

4	Aula 03 - Observação de espectros	25
4.1	Questões para o método Peer Instruction	29
5	Aula 04 - Bandas de energia e <i>gap</i> de energia .	33
5.1	Questões para o método Peer Instruction	37
6	Aula 05 - Funcionamento de um LED	39
6.1	Questões para o método Peer Instruction	43
7	Aula 06 - Atividade experimental	45
8	Questões para avaliação da sequência didática	51
	Referências	53



Introdução

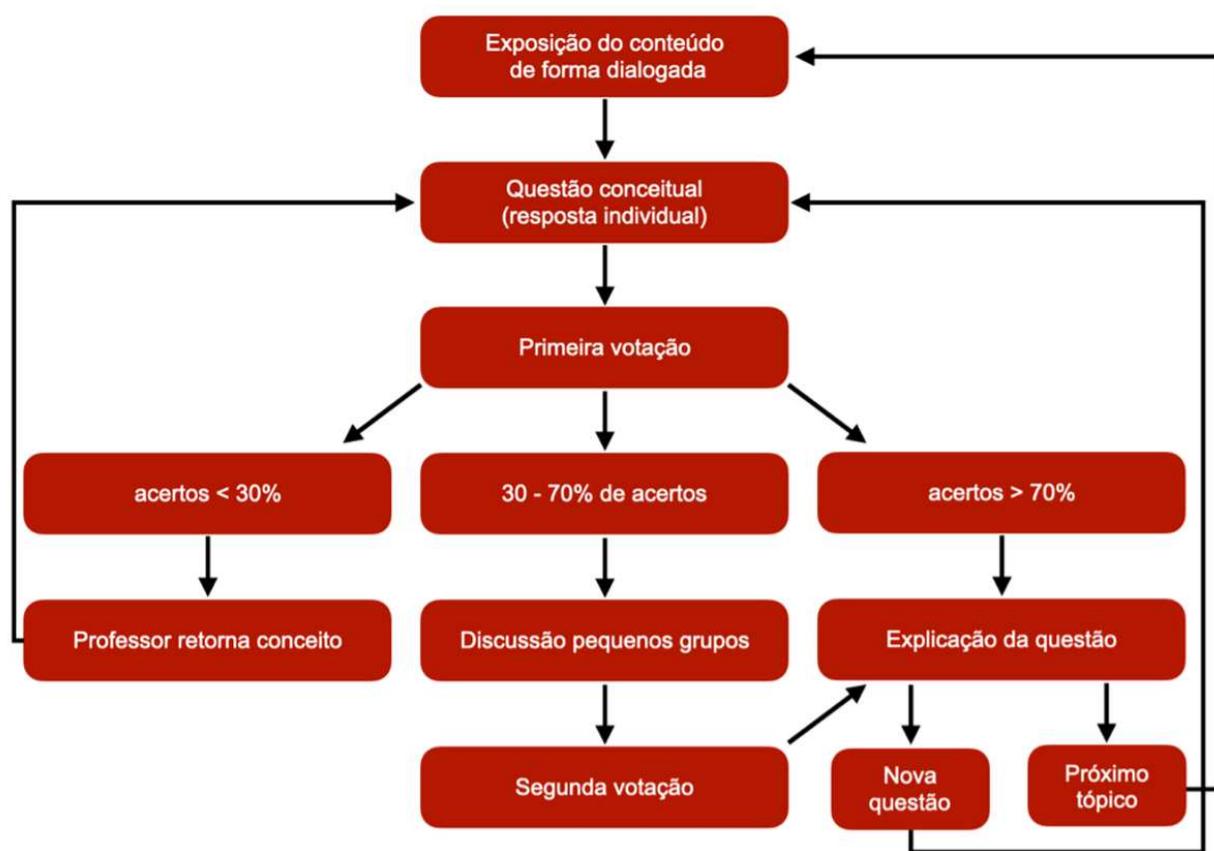
Esse material didático é composto por uma sequência de aulas que trazem estratégias didáticas para o ensino de Física Moderna em turmas de Ensino Médio. A proposta é ensinar conceitos atuais e contextualizados usando como objeto central de estudo o Diodo Emissor de Luz - LED.

Todas as aulas propostas nessa sequência foram planejadas para serem realizadas em 50 minutos na sala de aula regular, exceto a atividade experimental que foi realizada em 2 aulas de 50 minutos.

Nas aulas serão apresentadas todas as estratégias que devem ser usadas na aplicação desse produto educacional. Estão incluídos questionários que devem se aplicados no início das primeiras aulas para avaliar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre as temáticas a serem abordadas.

Nas cinco primeiras aulas estão disponíveis também questões avaliativas para serem usadas seguindo o método *Peer Instruction*. O *Peer Instruction* é um método que utiliza questões preferencialmente conceituais seguindo a sequência detalhada na Figura 1.1 [1].

Figura 1.1: Proposta de sequência a ser adotada em uma aula expositiva dialogada que utilize o método *Peer Instruction*. Nesse diagrama podemos observar que a evolução da aula se dá a depender do percentual de alunos que mostrem entendimento do conteúdo abordado.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

Essas questões além de avaliarem o desempenho do método *Peer Instruction* nas turmas aplicadas, também permitem verificar se os conceitos são absorvidos pelos estudantes.

Para que seja possível uma análise mais rápida e eficiente do desempenho dos estudantes nas questões do método *Peer Instruction* recomenda-se o uso

do programa Plickers¹, que mostrou-se o mais adequado por ser de fácil uso, não depender de internet e ter uma versão gratuita [2].

¹<https://www.plickers.com/>



Aula 01 - Condutividade de Materiais

Nessa primeira aula o objetivo é apresentar aos estudantes o conceito de semicondutores e o que diferencia os semicondutores intrínsecos dos semicondutores dopados do tipo P e do tipo N.

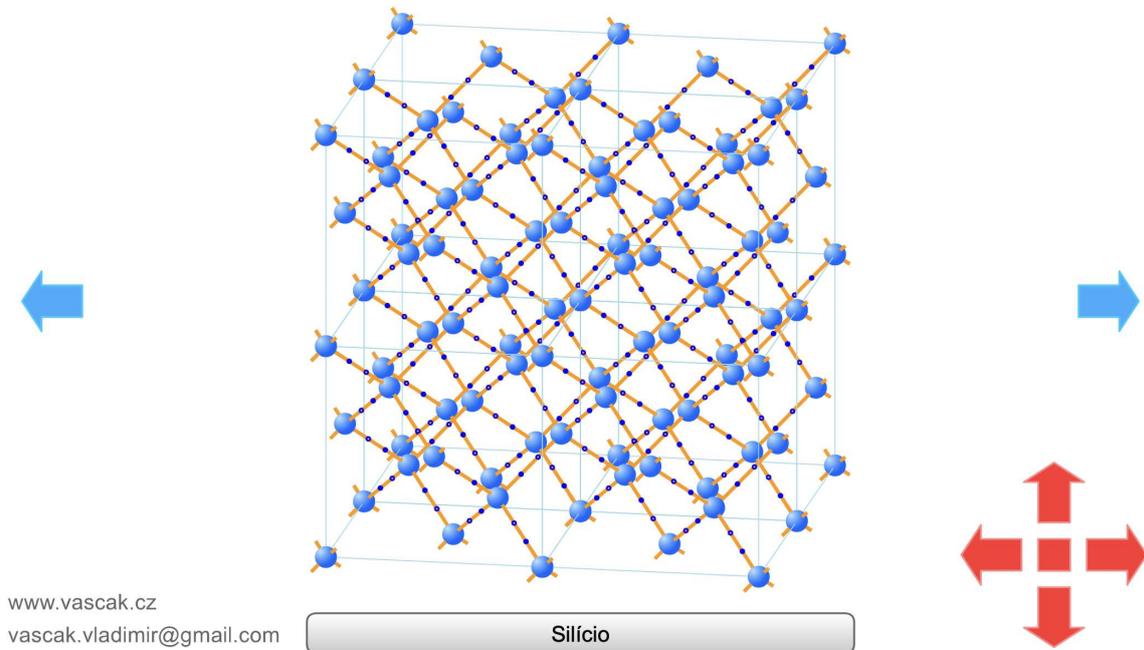
Recomenda-se como recurso didático usar as simulações do site Vascak¹ para que os estudantes possam visualizar as estruturas cristalinas de cada amostra. Na seção **Semicondutores** está disponível a simulação **6. Semicondutores**² [3]. Nessa simulação é possível visualizar as estruturas cristalinas do Silício puro, Figura 2.1, e do Silício dopado para criar os semicondutores

¹<https://www.vascak.cz>

²https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?f=pol_polovodice&l=pt

do tipo N e do tipo P, Figura 2.2.

Figura 2.1: Simulação da estrutura cristalina do Silício. No canto inferior direito é possível visualizar setas vermelhas, esses botões rotacionam a estrutura cristalina permitindo a visualização em outros ângulos.



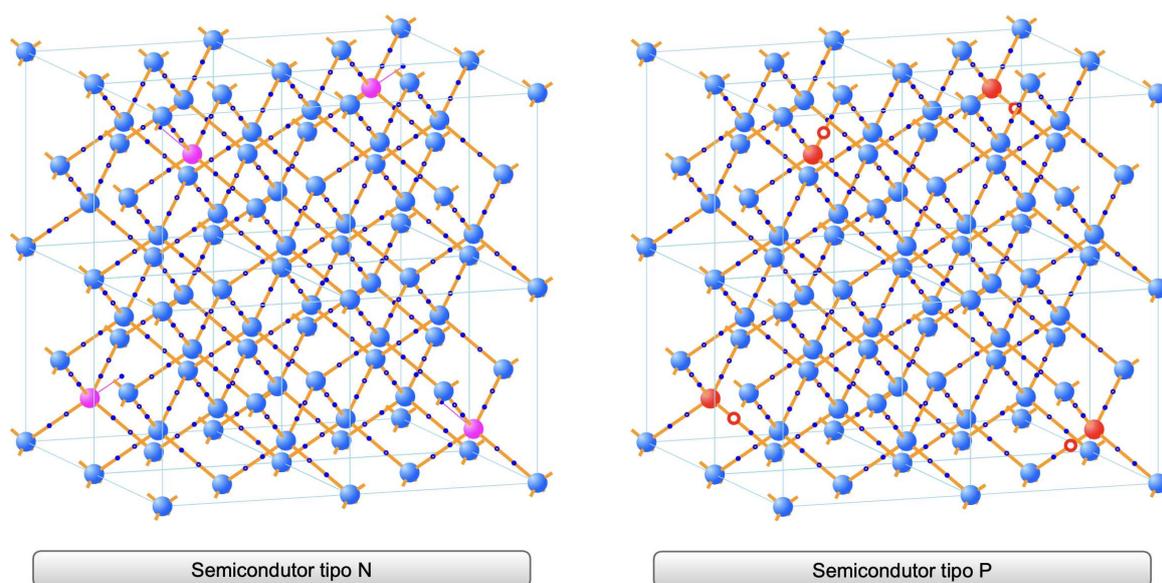
Fonte: <https://www.vascak.cz> [3].

O simulador permite observar essas estruturas cristalinas por diversos ângulos que podem ser obtidos rotacionando as imagens com auxílio das setas vermelhas localizadas no canto inferior direito da Figura 2.1.

No mesmo simulador podemos observar apenas um plano das estruturas cristalinas das Figuras 2.1 e 2.2. Para o caso do Silício puro podemos observar a Figura 2.3. O botão azul localizado no canto inferior esquerdo permite rotacionar esse plano para que seja visualizado em diferentes ângulos. Essa imagem e a imagem da Figura 2.1 fazem parte da mesma simulação e são alternadas através das setas azuis presentes na simulação.

Na Figura 2.4 é mais fácil observar o efeito da dopagem em Silício puro. No semicondutor do tipo N podemos observar que a substituição de átomos

Figura 2.2: Simulação da estrutura cristalina do Silício dopado para originar semicondutores do tipo N, à esquerda e semicondutores do tipo P, à direita. As esferas em azul simbolizam os átomos de Silício. Na estrutura do semicondutor do tipo N, as esferas rosas são as impurezas e para cada átomo desse tipo é possível observar a presença de um elétron livre adicionado. Na estrutura do semicondutor do tipo P, as esferas vermelhas são as impurezas e para cada átomo desse tipo é possível observar a ausência de um elétron na estrutura cristalina representada por um círculo vermelho vazio.



Fonte: <https://www.vascak.cz> [3].

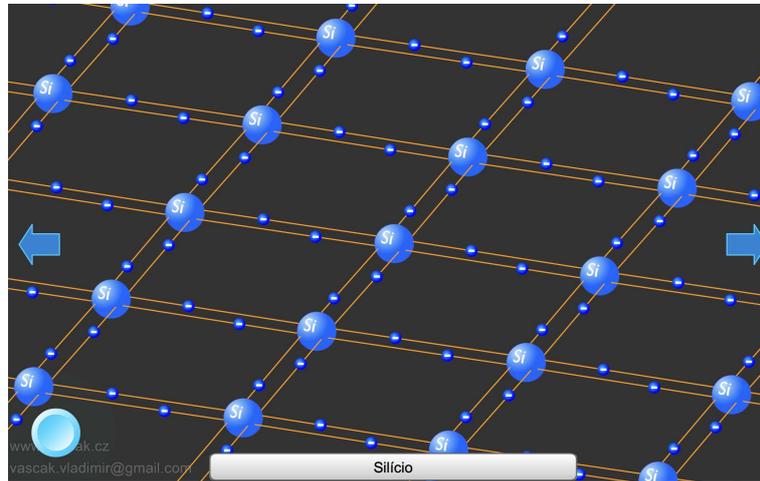
de Silício (Si) por átomos de Arsênio (As) introduz na rede cristalina elétrons livres. Enquanto que nos semicondutores do tipo P, a substituição de átomos de Silício por átomos de Índio (In) introduz buracos (ausência de elétrons) na rede cristalina.

Ainda na seção **Semicondutores** do site Vascak³ o simulador **4. Geração e recombinação**⁴ [4] permite ilustrar aos alunos o efeito da temperatura na rede cristalina de semicondutores intrínsecos. Na Figura 2.5 podemos observar que a simulação mostra que a temperatura induz vibrações na rede cristalina e

³<https://www.vascak.cz>

⁴https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?f=pol_generace&l=pt

Figura 2.3: Simulação de um plano da estrutura cristalina do Silício. No canto inferior esquerdo é possível visualizar um botão azul, esse botão rotaciona o plano permitindo a visualização em outros ângulos. As setas em azul permitem a troca das visualizações entre a estrutura cristalina da Figura 2.1 e apenas um plano do cristal.



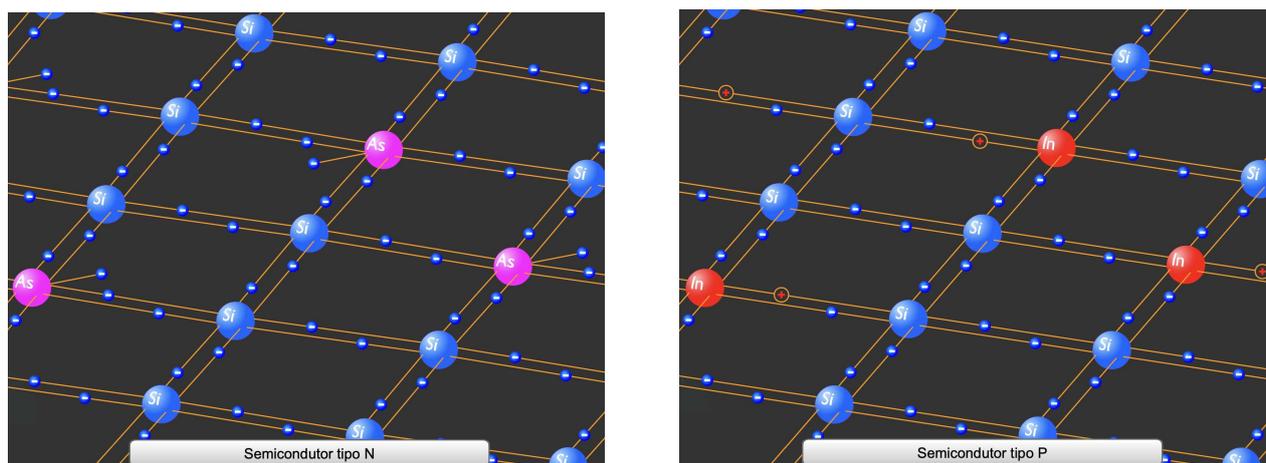
Fonte: <https://www.vascak.cz> [3].

dessa forma são gerados elétrons livres capazes de conduzir corrente elétrica, apesar da baixa eficiência. No simulador o botão laranja no canto inferior direito, quando acionado, introduz uma fonte de calor na simulação e o botão amarelo posicionado sobre a vela permite a movimentação da mesma.

Na seção 2.1 propomos duas atividades para verificação do conhecimento prévio do estudante. O objetivo é identificar a profundidade da compreensão dos estudantes em relação à classificação periódica dos átomos e sobre a classificação dos materiais em relação à propriedade de condução elétrica.

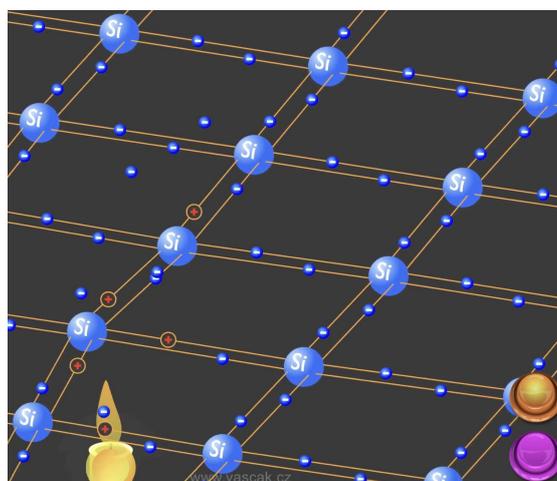
Finalmente, na seção 2.2 estão disponíveis as questões para serem aplicadas com o método *Peer Instruction* com a finalidade de analisar o aprendizado sobre a matéria apresentada e induzir a interação entre os estudantes.

Figura 2.4: Simulação de um plano da estrutura cristalina do Silício dopado para originar semicondutores do tipo N, à esquerda e semicondutores do tipo P, à direita. As esferas em azul simbolizam os átomos de Silício. Na estrutura do semiconductor do tipo N, as esferas rosas são átomos de Arsênio e para cada átomo desse tipo é possível observar a presença de um elétron livre adicionado. Na estrutura do semiconductor do tipo P, as esferas vermelhas são átomos de Índio e para cada átomo desse tipo é possível observar a ausência de um elétron na estrutura cristalina.



Fonte: <https://www.vascak.cz> [3].

Figura 2.5: Simulação de um plano da estrutura cristalina do Silício sob efeito de uma fonte de calor capaz de aumentar e vibração da rede cristalina e aumentar a condução elétrica.



Fonte: <https://www.vascak.cz> [4].

2.1 Atividades preparatórias

Problema 1 Relacione as cores do lado esquerdo, que correspondem a um conjunto de elementos químicos da tabela periódica fornecida, com o nome do grupo de elementos químicos correspondente do lado direito.

1 H hidrogênio 1,008																	2 He hélio 4,0026
3 Li lítio 6,94	4 Be berílio 9,0122											5 B boro 10,81	6 C carbono 12,011	7 N nitrogênio 14,007	8 O oxigênio 15,999	9 F flúor 18,998	10 Ne neônio 20,180
11 Na sódio 22,990	12 Mg magnésio 24,305											13 Al alumínio 26,982	14 Si silício 28,085	15 P fósforo 30,974	16 S enxofre 32,06	17 Cl cloro 35,45	18 Ar argônio 39,948
19 K potássio 39,098	20 Ca cálcio 40,078(4)	21 Sc escândio 44,956	22 Ti titânio 47,867	23 V vanádio 50,942	24 Cr cromo 51,996	25 Mn manganês 54,938	26 Fe ferro 55,845(2)	27 Co cobalto 58,933	28 Ni níquel 58,693	29 Cu cobre 63,546(3)	30 Zn zinco 65,38(2)	31 Ga gálio 69,723	32 Ge germânio 72,630(8)	33 As arsênio 74,922	34 Se selênio 78,971(8)	35 Br bromo 79,904	36 Kr criptônio 83,798(2)
37 Rb rubídio 85,468	38 Sr estrôncio 87,62	39 Y ítrio 88,906	40 Zr zircônio 91,224(2)	41 Nb nióbio 92,906	42 Mo molibdênio 95,95	43 Tc tecnécio [98]	44 Ru rútenio 101,07(2)	45 Rh ródio 102,91	46 Pd paládio 106,42	47 Ag prata 107,87	48 Cd cádmio 112,41	49 In índio 114,82	50 Sn estanho 118,71	51 Sb antimônio 121,76	52 Te telúrio 127,60(3)	53 I iodo 126,90	54 Xe xenônio 131,29
55 Cs césio 132,91	56 Ba bário 137,33	57-71	72 Hf hafânio 178,49(2)	73 Ta tântalo 180,95	74 W tungstênio 183,84	75 Re rênio 186,21	76 Os ósio 190,23(3)	77 Ir irídio 192,22	78 Pt platina 195,08	79 Au ouro 196,97	80 Hg mercúrio 200,59	81 Tl tálio 204,38	82 Pb chumbo 207,2	83 Bi bismuto 208,98	84 Po polônio [209]	85 At astato [210]	86 Rn radônio [222]
87 Fr frâncio [223]	88 Ra rádio [226]	89-103	104 Rf rutherfordio [267]	105 Db dúbnio [268]	106 Sg seabórgio [269]	107 Bh bohrio [270]	108 Hs hássio [269]	109 Mt meitnério [278]	110 Ds darmstádio [281]	111 Rg roentgênio [281]	112 Cn copernício [285]	113 Nh nihônio [286]	114 Fl fleróvio [289]	115 Mc moscóvio [288]	116 Lv livermório [293]	117 Ts tenessino [294]	118 Og oganesônio [294]
57 La lantânio 138,91	58 Ce cério 140,12	59 Pr praseodímio 140,91	60 Nd neodímio 144,24	61 Pm promécio [145]	62 Sm samário 150,36(2)	63 Eu europio 151,96	64 Gd gadolínio 157,25(3)	65 Tb térbio 158,93	66 Dy disprósio 162,50	67 Ho hólmio 164,93	68 Er érbio 167,26	69 Tm tulio 168,93	70 Yb itérbio 173,05	71 Lu lutécio 174,97			
89 Ac actínio [227]	90 Th tório 232,04	91 Pa protactínio 231,04	92 U urânio 238,03	93 Np netúnio [237]	94 Pu plutônio [244]	95 Am américio [243]	96 Cm cúrio [247]	97 Bk berquélio [247]	98 Cf califórnio [251]	99 Es einstênio [252]	100 Fm fêrmio [257]	101 Md mendelévio [258]	102 No nobélio [259]	103 Lr laurêncio [262]			

Fonte: Imagem adaptada de [5].

- | | | |
|-----|---|------------------------------|
| () | ■ | 1. Metais alcalinos-terrosos |
| () | ■ | 2. Halogênios |
| () | ■ | 3. Semimetais |
| () | ■ | 4. Metais de transição |
| () | ■ | 5. Outros metais |
| () | ■ | 6. Actinídios |
| () | ■ | 7. Gases nobres |
| () | ■ | 8. Lantanídeos |
| () | ■ | 9. Metais alcalinos |
| () | ■ | 10. Não metais |

Problema 2 Qual a diferença entre materiais condutores, semicondutores e isolantes? Dê exemplos de materiais e ou objetos com essas propriedades?

Materiais	Propriedades	Exemplos
Condutores		
Semicondutores		
Isolantes		

2.2 Questões para o método Peer Instruction

Problema 1 Considerando as propriedades dos elementos químicos e a tabela periódica, é incorreto afirmar:

- um metal é uma substância que conduz corrente elétrica e calor, é dúctil e maleável. Apresenta alta refletividade e um brilho característico, denominado brilho metálico, um não metal é uma substância que não conduz corrente elétrica e não conduz calor, não é dúctil nem maleável.

- (b) um semimetal tem aparência física de um metal, brilho metálico moderado, mas tem comportamento químico semelhante ao de um não metal.
- (c) os elementos Silício, Germânio e Arsênio por terem propriedades intermediárias às dos metais e dos ametais, são classificados como semicondutores.
- (d) os semicondutores apresentam condutividade elétrica intermediária entre os condutores e os isolantes, no entanto seu comportamento elétrico não pode ser alterado pela introdução de átomos de impurezas.

Problema 2 — Instituto UniFil/2021 - Adaptada. Os materiais semicondutores podem ser divididos em dois tipos, os intrínsecos e os extrínsecos. Sobre os semicondutores extrínsecos, analise as assertivas e assinale a alternativa correta.

- I. Nos materiais semicondutores extrínsecos tipo P, a impureza inserida é um elemento que possui três elétrons na camada de valência.
 - II. Nos semicondutores tipo P, o número de lacunas é maior que o número de elétrons livres.
 - III. Nos materiais semicondutores extrínsecos tipo N a impureza inserida possui cinco elétrons na camada de valência.
 - IV. Para produzir um semicondutor do tipo N, é necessário adicionar impurezas ao substrato. A dopagem do tipo N é obtida ao se inserir, na rede cristalina do semicondutor, impurezas doadoras que têm 3 elétrons na camada de valência.
 - V. O número de lacunas é maior que o número de elétrons livres no material tipo N.
- (a) Apenas II, III e V está correta.
 - (b) Apenas I, II e IV está correta.

- (c) Apenas I, III e IV estão corretas.
- (d) **Apenas I, II e III estão corretas.**

Problema 3 — SENAI-PR/2016 - Adaptada. Em eletricidade, os materiais podem ser classificados em condutores, semicondutores ou isolantes. Considerando a estrutura atômica desses materiais, o material condutor, em comparação ao material isolante, possui:

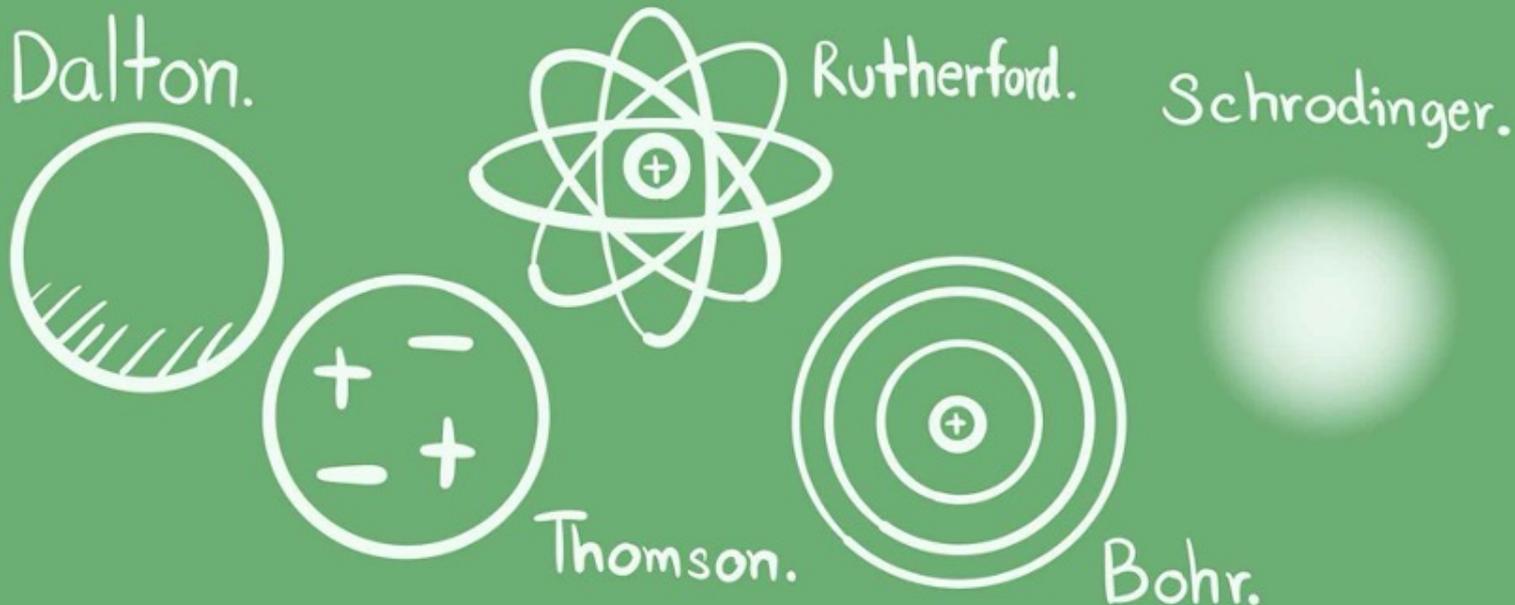
- (a) Elétrons mais próximos ao núcleo.
- (b) **Maior número de elétrons livres.**
- (c) Maior número de nêutrons ionizados.
- (d) Menor capacidade de conduzir eletricidade.

Problema 4 De acordo com os tipos de semicondutor, utilize

1. Semicondutor intrínseco
2. Semicondutor extrínseco

para preencher os itens a seguir e determine a sequência correspondente.

- () Um semicondutor em sua forma pura, sem impureza.
 - () Contém uma pequena quantidade de impurezas.
 - () A condutividade elétrica é função apenas da temperatura.
 - () O número de elétrons livres e lacunas nunca é igual.
 - () O número de elétrons livres é igual ao número de lacunas.
 - () A condutividade elétrica é função da temperatura, bem como da concentração de átomos de impurezas dopados nela.
- (a) 1, 2, 2, 2, 1, 1.
 - (b) **1, 2, 1, 2, 1, 2.**
 - (c) 2, 1, 2, 1, 2, 1.
 - (d) 1, 2, 1, 1, 2, 2.



Aula 02 - Átomo de Bohr e espectro de emissão

Nessa aula o objetivo é apresentar aos estudantes o modelo atômico de Bohr. Considerando uma aula prevista para alunos do último ano do ensino médio, os mesmos já deverão saber parte dos pré-requisitos da Física para desenvolver esse modelo: resultante centrípeta, força elétrica e energia potencial elétrica. Ainda espera-se que o estudante já tenha contato com o conceito de quantização de quantidades físicas, considerando o caso da carga elétrica e o conceito de fóton.

O modelo de Bohr além de introduzir uma nova quantidade física quantizada, chamada momento angular, é, como mencionado anteriormente, um tópico com potencial para revisar conceitos físicos importantes.

Vale ressaltar que os pontos centrais da aula devem ser os postulados de

Bohr e a interpretação dos raios atômicos das órbitas permitidas e das energias associadas a cada uma dessas órbitas.

As atividades para verificação dos conhecimentos prévios estão apresentadas na seção 3.1, a qual está proposta de forma a verificar o conhecimento do estudante acerca dos modelos atômicos anteriores ao modelo de Bohr.

Na seção 3.2 estão apresentadas questões conceituais para resolução através do método Peer Instruction.

3.1 Atividades preparatórias

Problema 1 Sobre os principais modelos atômicos, utilize:

1. Modelo atômico de Dalton
2. Modelo atômico de Thomson
3. Modelo atômico de Rutherford

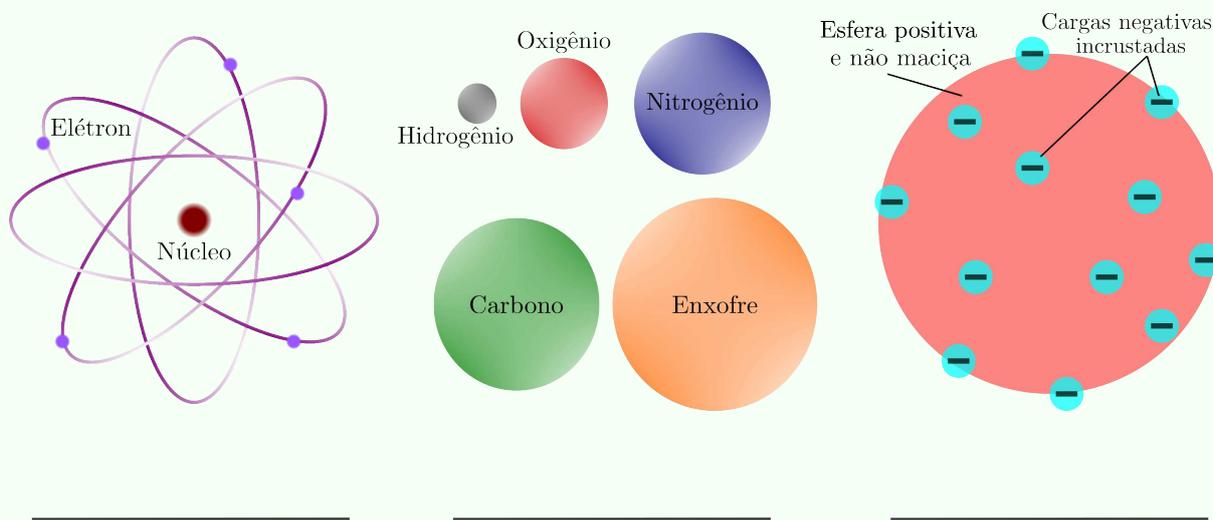
para preencher as afirmações a seguir acerca das características e contradições relacionadas a esses modelos.

- () O átomo é formado por duas regiões denominadas núcleo e eletrosfera.
- () O átomo não é indivisível e a matéria possui propriedades elétricas.
- () O átomo é uma esfera maciça.
- () O átomo é uma esfera de carga elétrica positiva, não maciça, incrustada de elétrons (negativos), de modo que sua carga elétrica total é nula.
- () Modelo de átomo semelhante a um minúsculo sistema planetário, em que os elétrons se distribuíaam ao redor do núcleo como planetas em torno do Sol.
- () Partículas de cargas opostas se atraem, dessa forma os elétrons devem percorrer uma espiral em direção ao núcleo, perdendo energia

gradualmente e, à medida que isso ocorre, emitiriam energia na forma de luz.

- () O átomo apresenta, predominantemente, espaços vazios.
- () O núcleo é a região mais densa do átomo.
- () Explica por que algumas partículas alfa não conseguem atravessar uma lâmina metálica fina e sofrem fortes desvios.

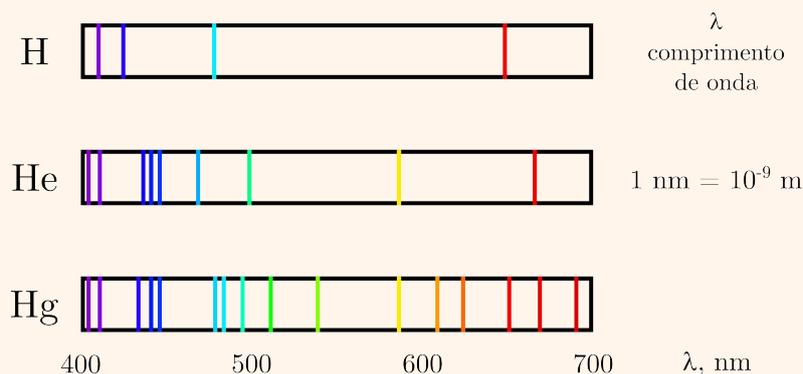
Preencha o nome correspondente a cada modelo atômico representado nas figuras que seguem:



Fonte: Elaborada pela própria autora.

3.2 Questões para o método Peer Instruction

Problema 1 — UECE/1999. Cada elemento químico apresenta um espectro característico, e não há dois espectros iguais. O espectro é o retrato interno do átomo e assim é usado para identificá-lo, conforme ilustração dos espectros dos átomos dos elementos Hidrogênio, Hélio e Mercúrio.



Bohr utilizou o espectro de linhas para representar seu modelo atômico, assentado em postulados, cujo verdadeiro é:

- ao mudar de órbita ou nível, o elétron emite ou absorve energia superior à diferença de energia entre as órbitas ou níveis onde ocorreu essa mudança.
- todo átomo possui órbitas, com energia constante, chamadas estados estacionários, nos quais o elétron pode movimentar-se sem perder nem ganhar energia.**
- os elétrons descrevem, ao redor do núcleo, órbitas elípticas com energia variada.
- o átomo é uma esfera positiva que, para tornar-se neutra, apresenta elétrons (partículas negativas) incrustados em sua superfície.

Problema 2 — CEFET-MG/2005 - Adaptada. O modelo de átomo proposto pelo físico dinamarquês Niels Bohr, em 1913, foi o primeiro a explicar satisfatoriamente o espectro descontínuo do átomo de hidrogênio.

Dentre as suposições para esse modelo, é correto afirmar que o elétron:

- descreve uma trajetória elíptica em torno do núcleo.
- emite radiação quando se encontra em uma órbita permitida.
- emite um fóton ao saltar de uma trajetória de menor energia para outra de maior energia.

(d) move-se apenas em trajetórias bem definidas.

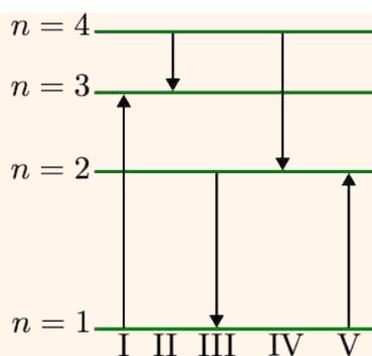
Problema 3 — UFRGS/2002 - Adaptada. O decaimento de um átomo, de um nível de energia excitado para um nível de energia mais baixo, ocorre com a emissão simultânea de radiação eletromagnética. A respeito, considere as seguintes afirmações.

- I. A intensidade da radiação emitida é diretamente proporcional à diferença de energia entre os níveis inicial e final envolvidos.
- II. A frequência da radiação emitida é diretamente proporcional à diferença de energia entre os níveis inicial e final envolvidos.
- III. O comprimento de onda da radiação emitida é inversamente proporcional à diferença de energia entre os níveis inicial e final envolvidos.

Quais estão corretas?

- (a) Apenas II.
- (b) Apenas I e III.
- (c) Apenas II e III.
- (d) I, II e III.

Problema 4 — ITA/2000-Adaptada. O diagrama mostra os níveis de energia (n) de um elétron em um certo átomo. Qual das transições mostradas na Figura representa a emissão de um fóton com o menor comprimento de onda?



- (a) I
- (b) II
- (c) III
- (d) V



Aula 03 - Observação de espectros

Nessa aula será utilizada uma atividade experimental qualitativa para que os estudantes possam observar na prática os diferentes tipos de espectros emitidos por lâmpadas e obviamente o espectro solar.

Um espectroscópio de baixo custo foi projetado a partir de um tubo impresso em uma impressora 3D, cujo desenho do protótipo para impressão encontra-se na Figura 4.1, e um pedaço de CD para funcionar como grade de difração. Na Figura 4.2 temos uma imagem do momento da impressão dos tubos e do espectroscópio já montado.

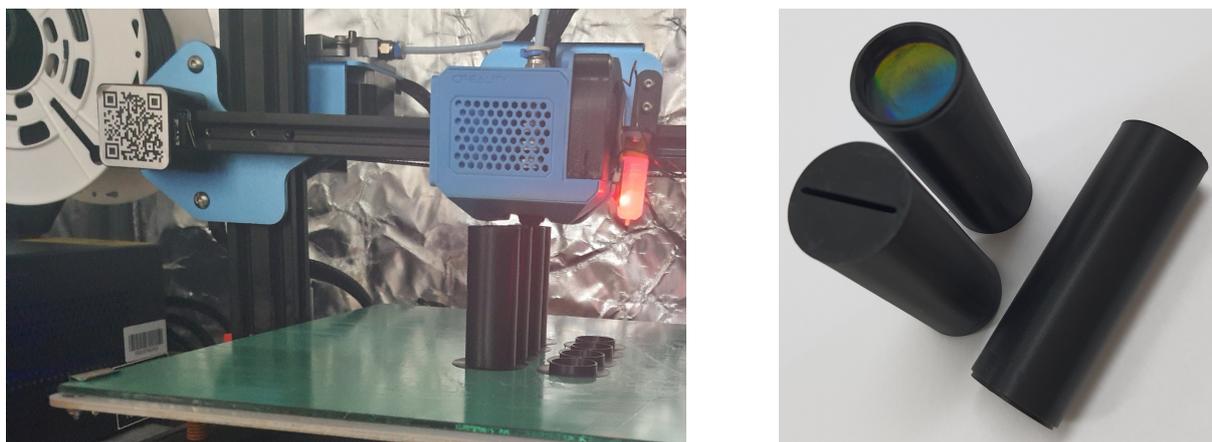
Para garantir que pelo menos uma das fontes disponíveis emita em um espectro de emissão discreto usamos uma lâmpada de sódio de alta pressão e uma lâmpada de vapor metálico. Lâmpadas desse tipo precisam de altas

Figura 4.1: Projetos para impressão do corpo do espectroscópio em impressora 3D. No desenho vemos em uma das extremidades uma fenda para a passagem de luz e na outra extremidade temos um degrau para apoio do CD. No projeto também temos um aro que deve funcionar para segurar o CD em uma posição fixa.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

Figura 4.2: Na imagem da esquerda temos o momento da impressão 3D e à direita temos alguns espectrômetros já montados, inclusive com o CD já fixado.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

voltagens de ignição e por isso para seu funcionamento na rede elétrica é preciso utilizar um reator apropriado. Na Figura 4.3 temos a montagem em que estão presentes a lâmpada, o reator e a tomada para ligação na rede

elétrica.

Figura 4.3: Montagem para ligação da lâmpada de sódio e para a lâmpada de vapor metálico de alta pressão na rede elétrica. A lâmpada é ligada em um reator, caixa cinza, e o reator é ligado na rede elétrica. As cores dos fios que representam as conexões elétricas são as mesmas cores dos fios presentes no reator.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

Ainda é preciso que a lâmpada seja ligada em um bocal de cerâmica já que a alta corrente gera aquecimento no terminal da lâmpada. As cores dos fios da Figura 4.3 são as mesmas cores dos fios que vieram ligados ao reator de forma a instruir futuras ligações de sistemas semelhantes ao nosso.

Para complementar a prática deve-se discutir as diferenças entre os espectros de emissão e absorção para um mesmo elemento químico e a forma de obtenção de cada tipo de espectro. Na Figura 4.4 temos exemplos de espectro contínuo visível e espectros de absorção e emissão para o átomo de Lítio.

Figura 4.4: Na parte superior da imagem temos o espectro contínuo visível. Na segunda e terceira imagem estão representados o espectro de absorção e emissão do átomo de Lítio.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

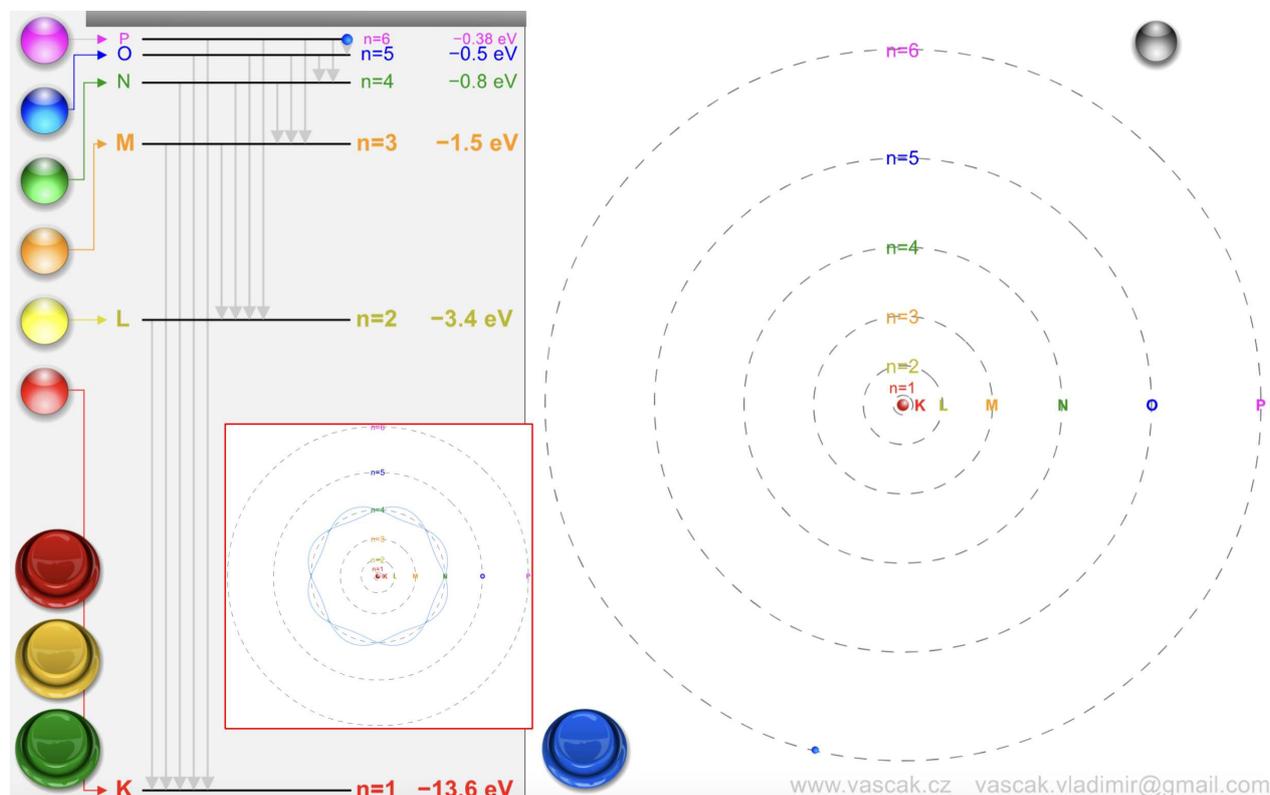
Como sugestão, caso entre a aula 2 e a aula 3 haja um intervalo de tempo, é possível recapitular os principais tópicos sobre o modelo de Bohr usando o simulador disponível no site Vascak¹. Na seção de **Física atômica** está disponível a simulação **3. Átomo de Bohr**² [6].

Na Figura 4.5 temos a tela do simulador do modelo atômico de Bohr. Podemos observar as possíveis órbitas do elétron em torno do núcleo e os níveis de energia correspondentes a essas trajetórias. Dentro da figura temos uma imagem em vermelho na qual é possível visualizar as ondas estacionárias associadas a cada uma das órbitas permitidas.

¹<https://www.vascak.cz>

²https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=atom_vodik&l=pt

Figura 4.5: Tela do simulador do modelo atômico de Bohr. Podemos observar as possíveis órbitas do elétron em torno do núcleo e os níveis de energia correspondentes a essas trajetórias. Dentro da figura temos uma imagem em vermelho na qual é possível visualizar as ondas estacionárias associadas a cada uma das órbitas permitidas.



Fonte: <https://www.vascak.cz> [6].

4.1 Questões para o método Peer Instruction

Problema 1 — VUNESP/2022 - Adaptada. Na segunda metade do século XVII, Isaac Newton passou a investigar o comportamento da luz solar. É atribuído a ele o experimento de, num aposento escuro, fazer passar um estreito feixe de luz que, depois de atravessar um prisma, dispersou-se em um feixe multicolorido indo projetar-se sobre um anteparo. Isso foi fundamental para Gustav Kirchhoff e Robert Bunsen, mais tarde, explicarem e

descreverem precisamente os espectros de linhas de emissão e de absorção das radiações emitidas ou absorvidas pela matéria. Assim,

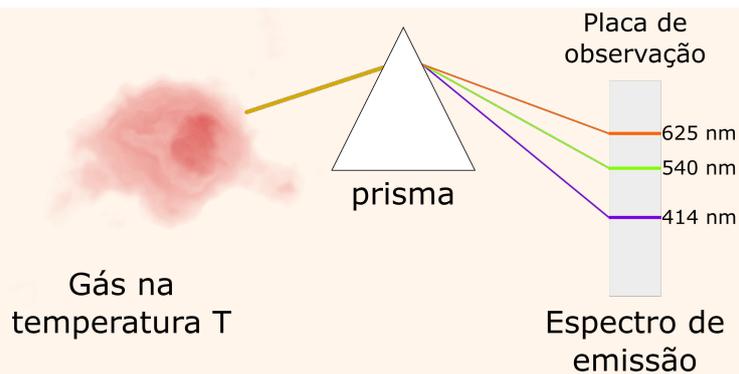
- (a) se um corpo denso e quente emitir uma onda eletromagnética, esta onda irá produzir, depois de atravessar um prisma, um espectro de linhas de emissão.
- (b) se uma onda eletromagnética atravessar um gás rarefeito e frio, seguido de um prisma, irá produzir um espectro contínuo.
- (c) um espectro de linhas de absorção será produzido por uma radiação oriunda de uma estrela densa e quente, depois de atravessar um prisma.
- (d) um espectro contínuo será produzido quando radiações eletromagnéticas forem emitidas por corpos densos e quentes, depois de passarem por um prisma.

Problema 2 — CESPE/2007. No que se refere aos métodos instrumentais de análise química, julgue o item.

Frequentemente, átomos de elementos químicos diferentes dão origem a um mesmo espectro de raias de absorção, o que faz que diferentes estados de excitação estejam associados a elementos químicos distintos.

- (a) Certo.
- (b) Errado.

Problema 3 — UFAL/2016 - Adaptada. Considere a situação hipotética, mostrada na Figura, na qual um gás monoatômico está a uma temperatura constante (T) suficientemente elevada para que ocorra a emissão de luz.



- (a) os comprimentos de onda das linhas visualizadas na placa após a dispersão da radiação pelo prisma podem ser explicados pelo efeito fotoelétrico.
- (b) o maior comprimento de onda observado na placa é proveniente de transições eletrônicas entre o estado fundamental e primeiro estado excitado.
- (c) os três comprimentos de onda obtidos são provenientes de emissões devido a transições eletrônicas entre o estado fundamental e o primeiro estado excitado.
- (d) os comprimentos de onda exibidos na placa após a passagem pelo prisma são provenientes das transições atômicas explicadas, em linhas gerais, pelo modelo de Bohr.



Aula 04 - Bandas de energia e *gap* de energia

Essa aula tem o objetivo de construir as ideias de bandas de energia e *gap* de energia a partir da teoria do modelo atômico de Bohr e das linhas de energias.

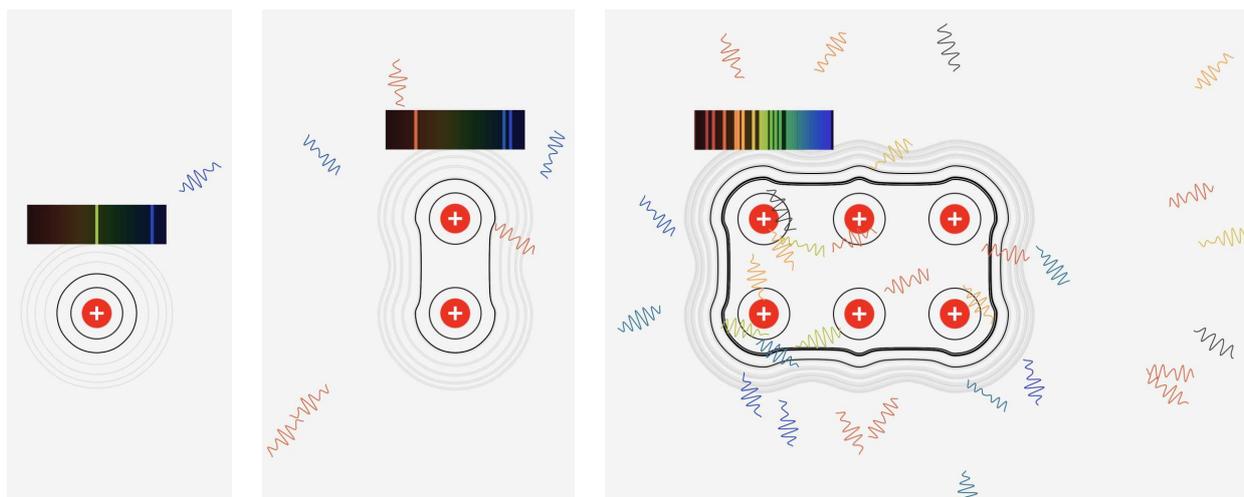
Para ilustrar aos estudantes como a construção de estruturas mais complexas modifica as linhas de emissão dos espectros propomos o uso da simulação **Line Spectrum and Continuous Spectrum**¹ [7].

Essa simulação permite observar as linhas de emissão de um átomo isolado, primeira imagem da Figura 5.1. Com ela, é possível montar estruturas com mais átomos. Na Figura 5.1 temos na parte central uma molécula diatômica e na direita uma estrutura com 6 átomos. O aumento da complexidade das

¹https://javalab.org/en/spectrum_en

estruturas, aumenta a número de transições de energia possíveis que podem ser observadas tanto na parte superior que ilustra esse resultado através das linhas de emissão, quanto na própria ilustração da estrutura da molécula que apresenta mais órbitas possíveis. Na estrutura com 6 átomos é possível observar que algumas dessas linhas não são mais estreitas, o que indica a formação de bandas de energia.

Figura 5.1: Simulação que permite observar as linhas de emissão de um átomo isolado, imagem da esquerda, e permite montar estruturas com mais átomos. Na parte central temos uma molécula diatômica e na direita uma estrutura com 6 átomos. Nas imagens estão presentes as órbitas e as linhas de emissão para o átomo isolado e para as estruturas com mais de 1 átomo.



Fonte: https://javalab.org/en/spectrum_en/ [7].

Quando temos sólidos, compostos por vários átomos, o número de transições de energia aumenta tanto que a superposição cria bandas de energia. A natureza condutora dos materiais pode ser explicada a partir dessas bandas. Propomos nesse ponto apresentar aos estudantes a simulação **Condutividade**² [8] do site PhET³.

²https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/conductivity

³https://phet.colorado.edu/pt_BR/

A simulação ilustra as bandas de energia de um **Fotocondutor** que representa um semicondutor intrínseco, **Plástico** representando um material isolante e um **Metal**, que representa o material condutor. Na Figura 5.2 estão representadas as telas da simulação nessa sequência.

Em todos os três exemplos podemos apresentar aos estudantes a existência de duas bandas, que passam a ser chamadas de banda de condução, energia mais baixa, e banda de valência, energia mais alta. Essa simulação também permite a discussão sobre o *gap* de energia. É propícia também a discussão de como ocorre a condução dentro da banda. Neste caso apenas para o metal já que sua banda de condução não está completamente preenchida.

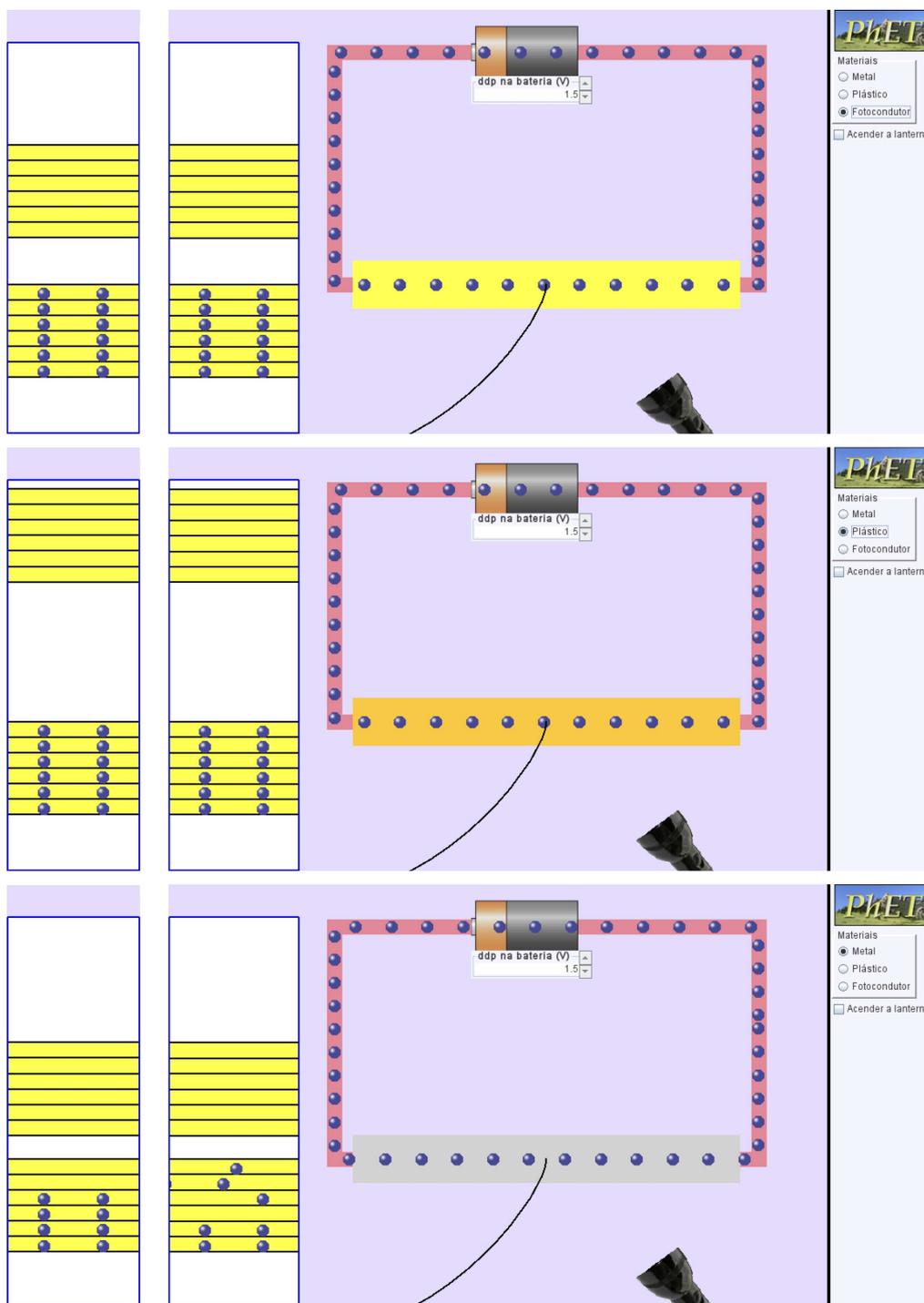
No lado esquerdo de cada material da Figura 5.2 podemos observar o preenchimento completo da banda de condução para o semicondutor intrínseco e para o isolante e o preenchimento parcial para o metal. Enquanto nas imagens da direita podemos observar que a condução elétrica com a aplicação de uma diferença de potencial só ocorre no metal justamente por esse preenchimento parcial da banda de condução.

No caso de semicondutores dopados podemos usar o simulador **Semicondutores**⁴ [9] também do PhET⁵, Figura 5.3. Nesse caso enfatizando que ao dopar o semicondutor intrínseco com a adição de buracos equivale a tornar a banda de condução não completamente preenchida, imagem da esquerda na Figura 5.3, enquanto ao adicionar elétrons o que acontece é o preenchimento parcial da banda de valência, e neste caso a aplicação de uma diferença de potencial implica uma condução na banda de valência, imagem da direita na Figura 5.3.

⁴https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/semiconductor

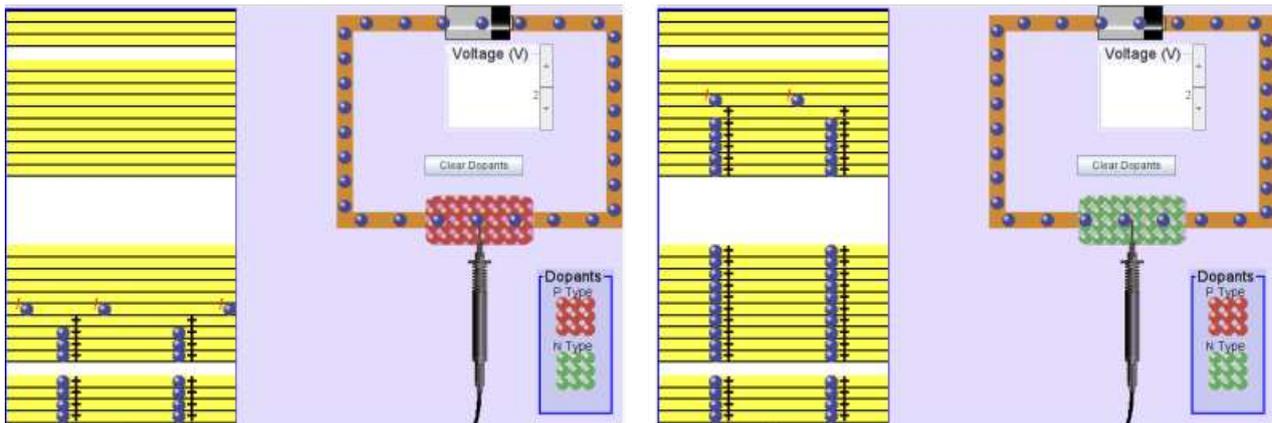
⁵https://phet.colorado.edu/pt_BR/

Figura 5.2: Na parte esquerda de cada material podemos observar o preenchimento completo da banda de condução para o plástico e para o fotocondutor e o preenchimento parcial para o metal. Na direita podemos observar que a condução elétrica com a aplicação de uma diferença de potencial só ocorre no metal justamente por esse preenchimento parcial da banda de condução.



Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/ [8].

Figura 5.3: Ao adicionar dopantes no semicondutor intrínseco a condução elétrica passa a ser possível. Na esquerda a adição buracos torna a banda de condução não mais completamente preenchida e portanto é possível a condução nessa banda. Na direita, ao adicionar elétrons, esses ocupam parcialmente a banda de valência e por não ser preenchida completamente é possível a condução nessa banda.

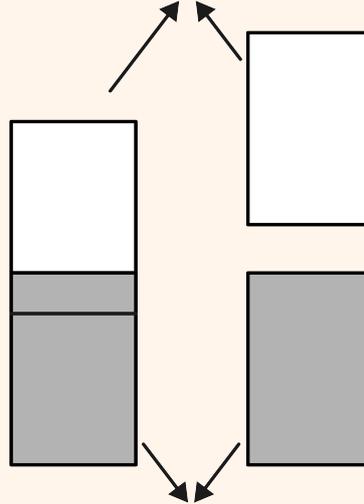


Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/ [9].

5.1 Questões para o método Peer Instruction

Problema 1 — IADES/2016 - Adaptada. Diversas propriedades dos sólidos são entendidas com o conceito de bandas de energia. A natureza dessas bandas determina se o material é isolante, condutor ou semicondutor. A banda de valência é a banda de energia mais elevada, e a banda de condução é a banda de energia menos elevada. Considerando essas informações, e com base na Figura apresentada, é correto afirmar que o esquema da esquerda corresponde a um

Banda desocupada de menor energia



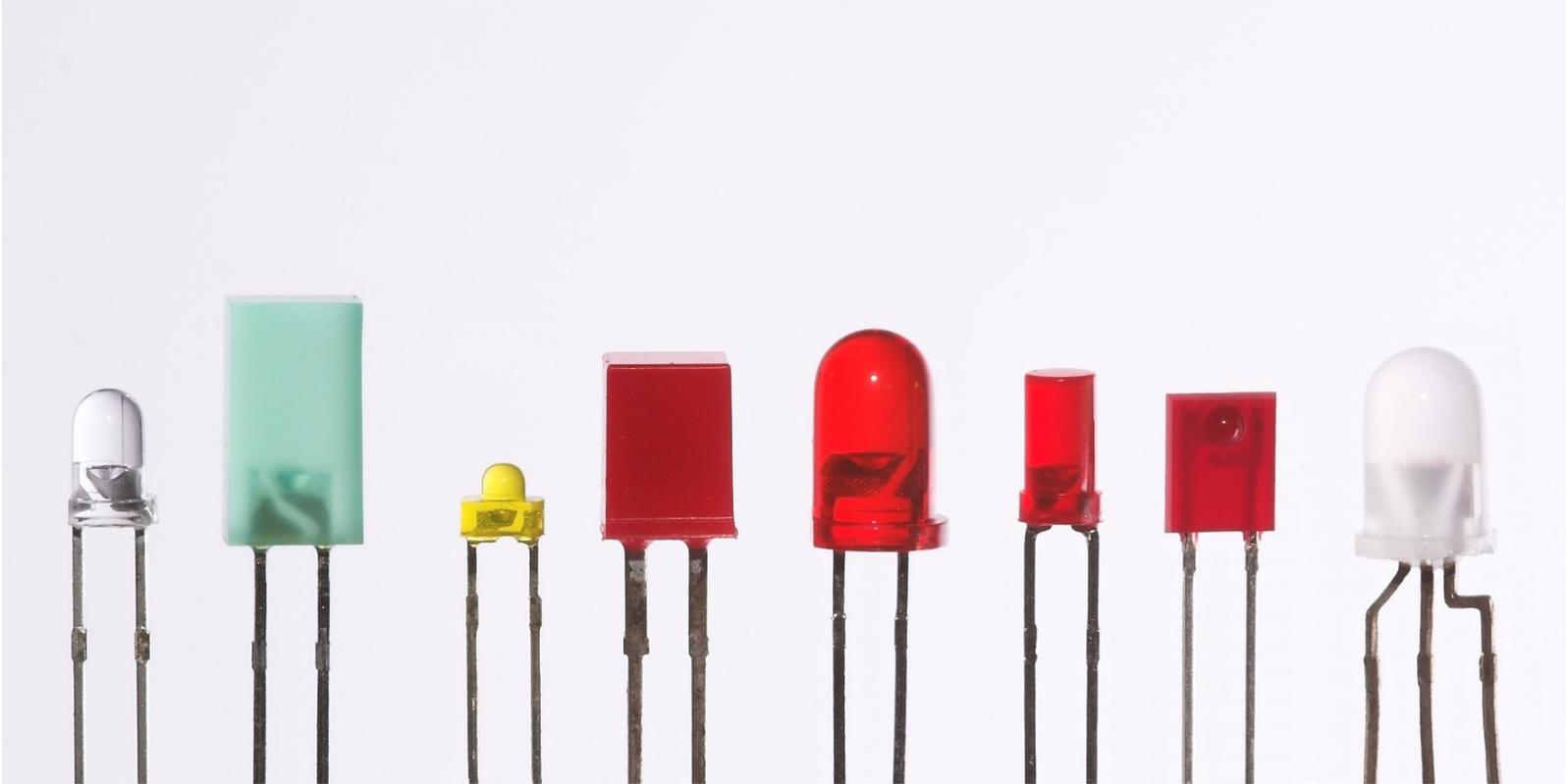
Banda ocupada de maior energia

- (a) semicondutor, e o da direita a um isolante.
- (b) condutor, e o da direita a um isolante ou a um semicondutor, dependendo da “distância” energética entre as bandas.
- (c) condutor, e o da direita a um semicondutor, independentemente da “distância” energética entre as bandas.
- (d) semicondutor, e o da direita a um condutor ou isolante, dependendo da “distância” energética entre as bandas.

Problema 2 — CESPE/2008. Com respeito às características e propriedades dos materiais condutores, isolantes e magnéticos, julgue o item que se segue.

Em temperatura ambiente, constata-se que a diferença de energia entre as bandas de condução e valência dos materiais condutores é superior àquela dos materiais isolantes, resultando em um número maior de elétrons livres para estabelecimento do fluxo de corrente.

- (a) Certo.
- (b) Errado.



Aula 05 - Funcionamento de um LED

Essa aula será destinada a explicar o funcionamento de um LED, desde a construção a partir da junção PN até o processo de condução elétrica.

Nesse ponto os estudantes já estão familiarizados com circuitos elétricos e resistores, de forma que a inclusão de um dispositivo pode ser feita comparando suas especificidades. O LED é um exemplo de diodo semicondutor que tem como principal diferencial a emissão de luz. Entretanto a funcionalidade enquanto diodo é o que o diferencia de um resistor, sendo o diodo um dispositivo que permite a transmissão de corrente em apenas uma direção.

Nessa aula o estudante será apresentado à Física do funcionamento desse dispositivo, partindo da junção PN e da formação da zona de depleção. No

site EduMedia¹ podemos encontrar um vídeo demonstrativo da formação da zona de depleção a partir de uma junção de semicondutores dopados do tipo P e do tipo N, no link **p-n junction**² [10]. Na Figura 6.1 temos imagens desse vídeo em 5 instantes diferentes.

A partir da junção PN, é importante relacionar o campo elétrico formado com a respectiva barreira de potencial e justificar, dessa forma, a condução elétrica característica desse tipo de dispositivo. Para isso sugere-se o uso da simulação **The principle of LED**³ [11] disponível no site Javalab⁴.

Na Figura 6.2 podemos observar a página inicial da simulação. Nessa figura estão apresentados dois circuitos elétricos que contêm uma bateria, um resistor e um LED. Do lado direito temos o LED em seu formato real, enquanto na esquerda temos uma visão microscópica desse dispositivo evidenciando os materiais semicondutores do tipo P e do tipo N. A simulação ainda disponibiliza na parte superior o diagrama de energia da junção.

A principal funcionalidade desse simulador é mostrar como a ligação da bateria influencia no funcionamento do dispositivo. Podemos observar que, a depender da orientação da bateria, a diferença de energia entre a banda de valência e a banda de condução de cada lado da junção PN aumenta ou diminui de forma a impedir ou favorecer a circulação de corrente no circuito. Essas situações podem ser observadas na Figura 6.3.

Nesse ponto o estudante também será apresentado ao mecanismo físico de recombinação elétron-buraco, responsável pela emissão de luz nos LEDs. A

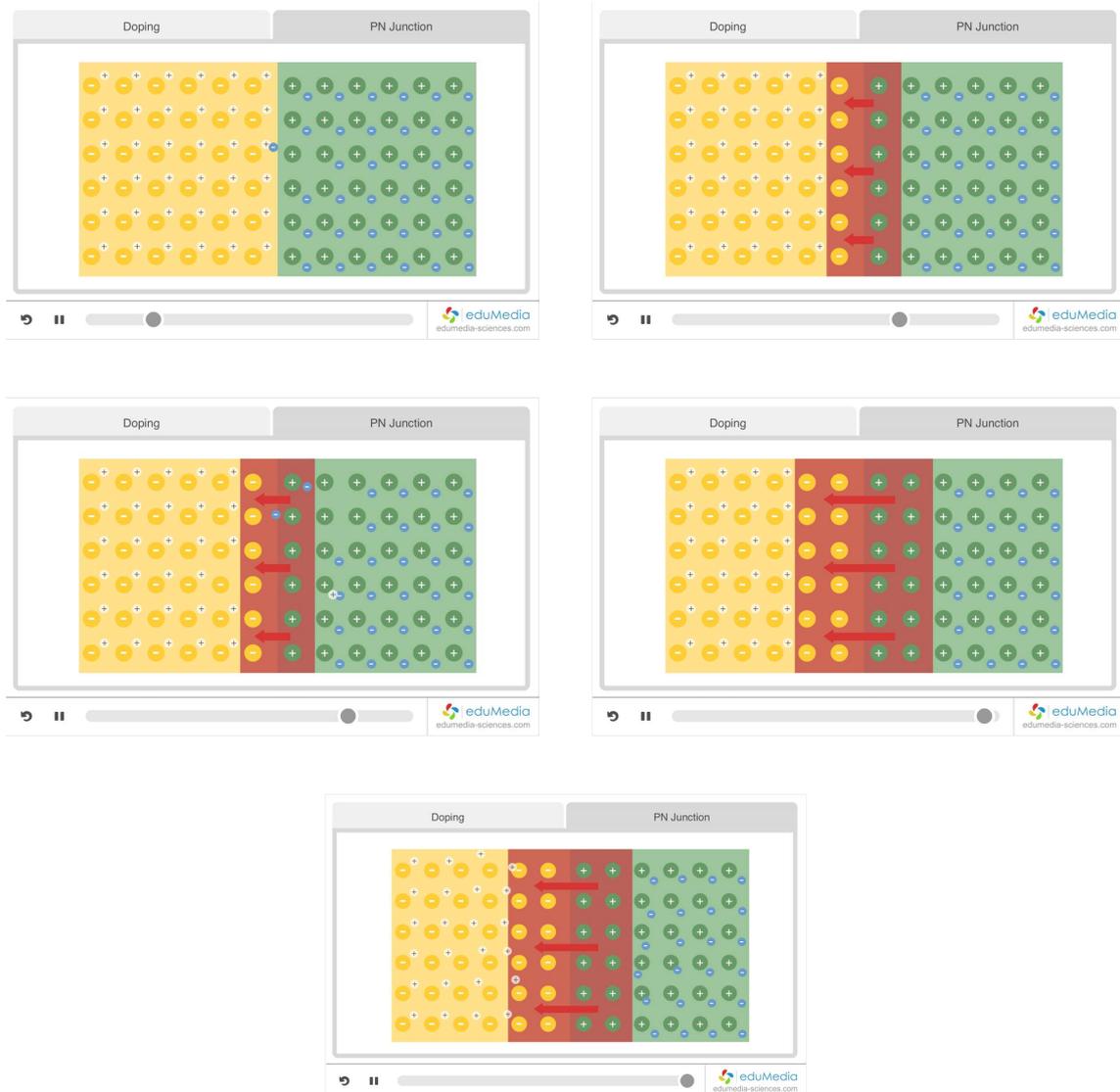
¹<https://www.edumedia.com/en>

²<https://www.edumedia-sciences.com/en/media/966-p-n-junction>

³https://javalab.org/en/led_en/

⁴<https://javalab.org/en/>

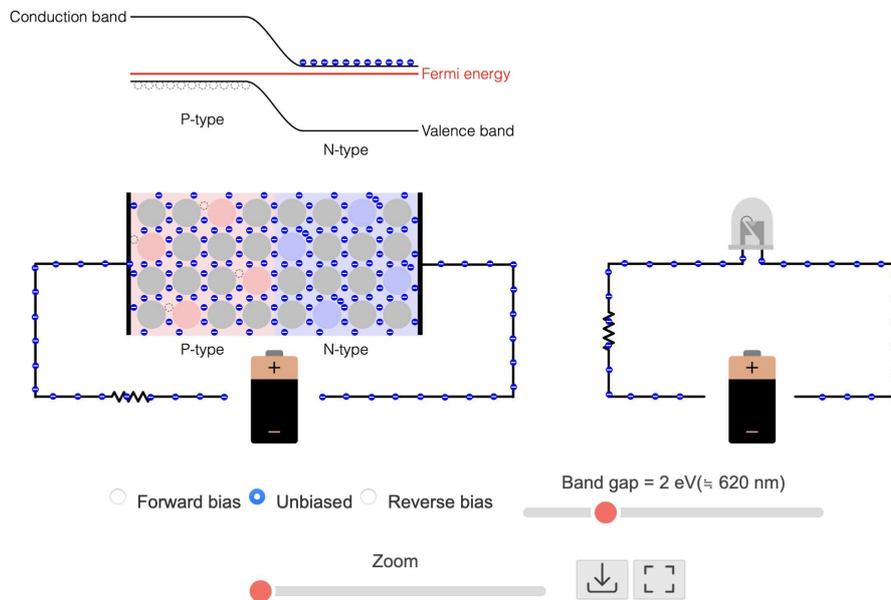
Figura 6.1: Sequência de 5 imagens que exemplificam a formação da zona de depleção a partir de uma junção PN. Todas as imagens são *frames* do vídeo disponível. Ao juntar os materiais do tipo P e do tipo N os elétrons e buracos se recombinam até a formação de um campo elétrico na junção que impede que a recombinação continue.



Fonte: <https://www.edumedia.com/en> [10].

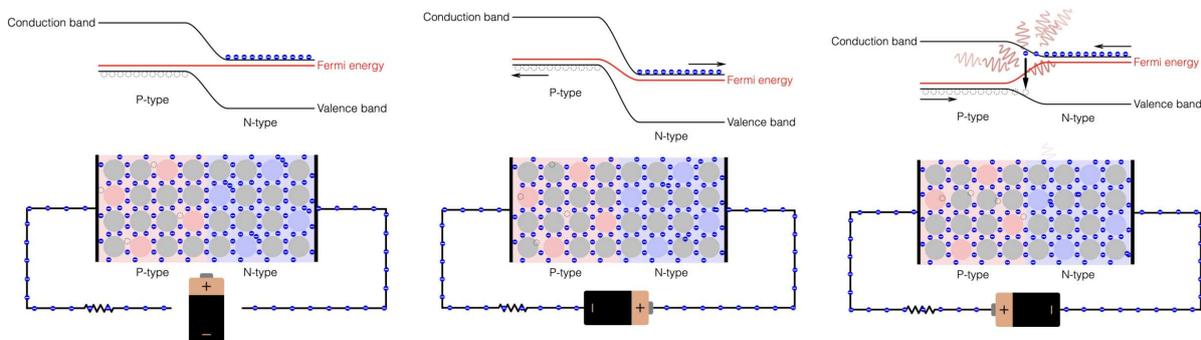
recombinação ocorre apenas quando o LED está conduzindo corrente elétrica.

Figura 6.2: Simulação de um circuito que contém uma bateria, um resistor e um LED. Do lado direito temos o LED em seu formato real, enquanto na esquerda temos uma visão microscópica desse dispositivo evidenciando os materiais semicondutores do tipo P e do tipo N. A simulação ainda disponibiliza na parte superior o diagrama de energia da junção.



Fonte: <https://javalab.org/en/> [11].

Figura 6.3: Temos na sequência a primeira imagem com o circuito desligado, a segunda com a bateria ligada na direção que impede a circulação de corrente elétrica e na terceira a bateria ligada de forma a favorecer a passagem de corrente elétrica. Podemos observar nos diagramas de energia que a forma de ligar a bateria implica no aumento ou diminuição da barreira de potencial que se forma na junção PN.



Fonte: <https://javalab.org/en/> [11].

6.1 Questões para o método Peer Instruction

Problema 1 — UEL-PR/2005 - Adaptada. Alguns semicondutores emissores de luz, mais conhecidos como LEDs, estão sendo introduzidos na sinalização de trânsito das principais cidades do mundo. Isto se deve ao tempo de vida muito maior e ao baixo consumo de energia elétrica dos LEDs em comparação com as lâmpadas incandescentes, que têm sido utilizadas para esse fim. A luz emitida por um semicondutor é proveniente de um processo físico, onde um elétron excitado para a banda de condução do semicondutor decai para a banda de valência, emitindo um fóton de energia $E = h\nu$. Nesta relação, h é a constante de Planck, ν é a frequência da luz emitida ($\nu = c/\lambda$, sendo c a velocidade da luz e λ o seu comprimento de onda), e E equivale à diferença em energia entre o fundo da banda de condução e o topo da banda de valência, conhecida como energia de “gap” do semicondutor. Com base nessas informações e no conhecimento sobre o espectro eletromagnético, é correto afirmar:

- (a) A energia de “gap” de um semicondutor será maior quanto maior for o comprimento de onda da luz emitida por ele.
- (b) Para que um semicondutor emita luz verde, ele deve ter uma energia de “gap” maior que um semicondutor que emite luz vermelha.
- (c) O semicondutor que emite luz vermelha tem uma energia de “gap” cujo valor é intermediário às energias de “gap” dos semicondutores que emitem luz verde e amarela.
- (d) O semicondutor emissor de luz amarela tem energia de “gap” menor que o semicondutor emissor de luz vermelha.

Problema 2 — IFPR/2019 - Adaptada. O avanço da tecnologia se deve muito ao desenvolvimento dos semicondutores. Quais componentes e/ou

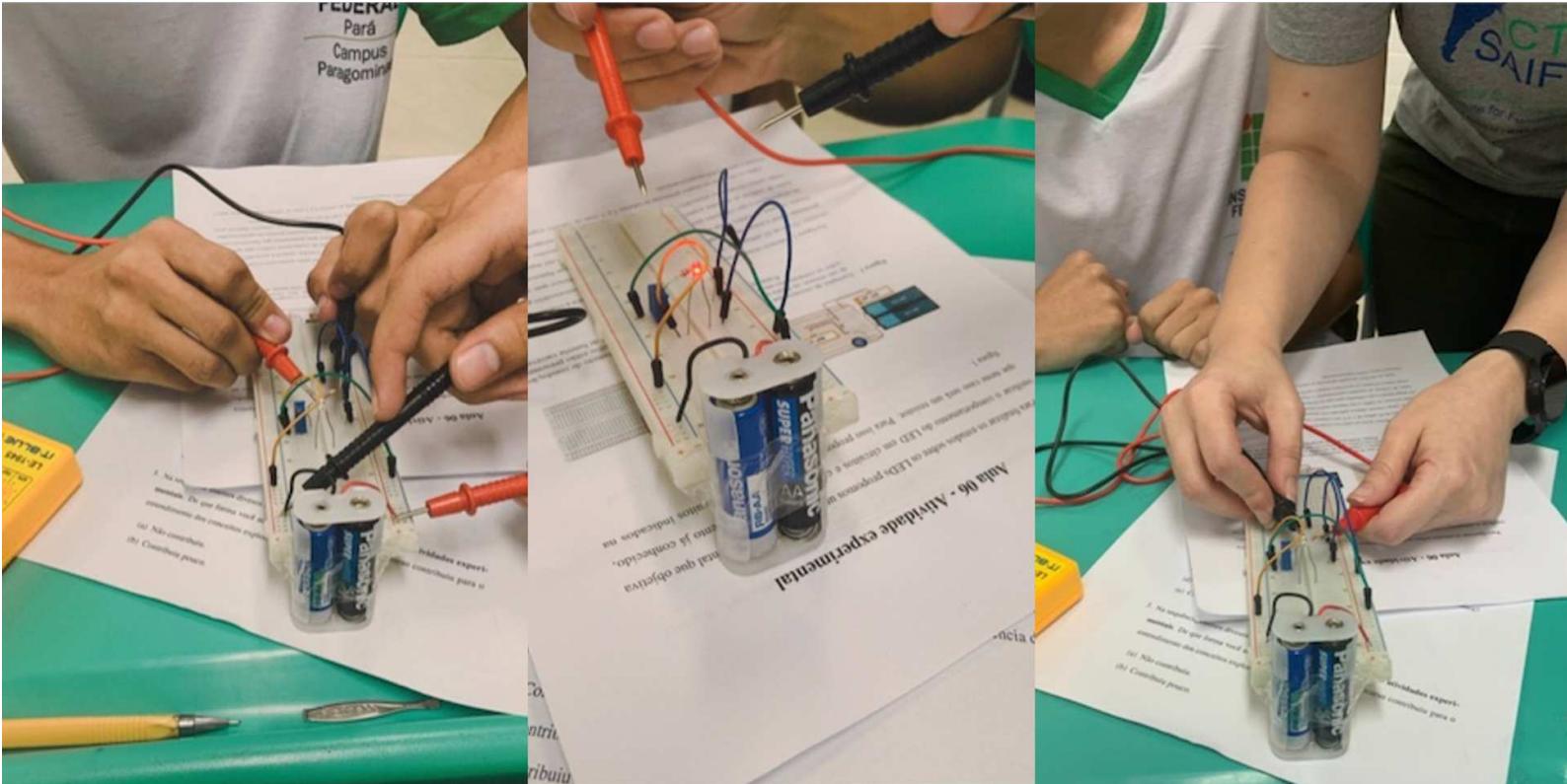
dispositivos abaixo são exemplos de semicondutores?

- (a) Diodo, transistor e resistor.
- (b) LDR (Light Dependent Resistor), resistor e Diodo.
- (c) Resistor, capacitor e LDR (Light Dependent Resistor).
- (d) Diodo, LED (Light Emitting Diode) e LDR (Light Dependent Resistor).

Problema 3 — CESPE/2007. A inovação tecnológica mais importante do século XX talvez tenha sido o desenvolvimento de dispositivos semicondutores, o que propiciou a chamada revolução da informática. O desenvolvimento desses dispositivos, por sua vez, não teria ocorrido sem uma compreensão detalhada das propriedades dos materiais semicondutores. Julgue o item que se segue, relacionado a esses materiais e suas propriedades.

Na zona de depleção de uma junção P-N em equilíbrio (sem aplicação de voltagem externa), o campo elétrico é zero e a densidade de portadores é maior do que nas outras partes do material.

- (a) Certo
- (b) Errado

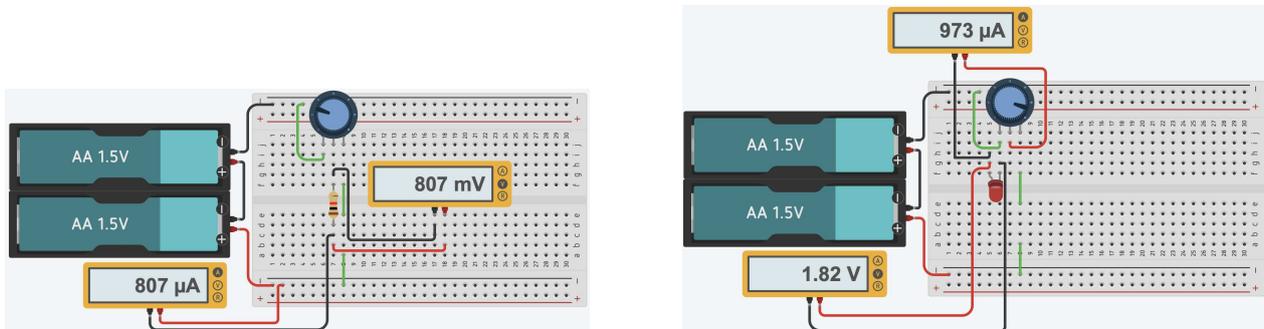


Aula 06 - Atividade experimental

Para finalizar os estudos sobre os LEDs propomos uma atividade experimental que objetiva verificar o comportamento do LED em circuitos e comparar com um elemento já conhecido, que neste caso será um resistor. Para isso propomos que o estudante monte os circuitos indicados na Figura 7.1.

Na Figura 7.1 podemos observar todos os componentes que serão usados para a construção dos circuitos. O uso de 02 pilhas de 1,5 V em conjunto com o resistor variável é necessário para que possamos variar a tensão elétrica aplicada nos terminais do componente elétrico que queremos estudar (resistor ou LED), e nas figuras temos também dois multímetros que funcionam como um amperímetro e um voltímetro para que as medidas experimentais possam ser

Figura 7.1: Exemplos de circuitos que devem ser montados para verificar o comportamento de condução de um resistor, à esquerda, e de um LED, à direita. Nos circuitos estão presentes todos os componentes necessários para construir um circuito com tensão de bateria variável.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

realizadas. Antes que o estudante comece a realizar as medidas experimentais é importante que ele verifique as conexões elétricas para evitar curtos-circuitos, se necessário o professor deve ajudar os estudantes na montagem.

Lista de componentes necessários para montagem dos circuitos:

- 1 Protoboard (placa de montagem para circuitos elétricos);
- 1 Suporte para 2 Pilhas AA;
- 2 pilhas AA, de 1,5 V cada;
- 1 trimpot linear de 2 k Ω ;
- 2 multímetros digitais;
- Jumpers macho/macho para Protoboard;
- 1 LED de alto brilho vermelho;
- 1 resistor de 1 k Ω .

Os valores de resistência são sugestões e podem ser alterados considerando o que o professor tem disponível. Entretanto, deve-se lembrar que a fonte de tensão é no máximo 3 V e, valores muito grandes de resistência implicarão em

correntes muito baixas. Outra consideração é quanto à cor do LED sugerido, os demais LEDs (amarelo, verde e azul) podem mostrar um funcionamento limitado pela voltagem disponível.

Após os circuitos montados espera-se que os estudantes preencham as Tabelas 7.1 e 7.2 com os valores experimentais para o resistor e para o LED respectivamente.

Tabela 7.1: Dados obtidos com o circuito elétrico para investigação do comportamento do resistor.

Voltagem (V)	Corrente (mA)
0,0	
0,5	
1,0	
1,5	
2,0	
2,5	
3,0	

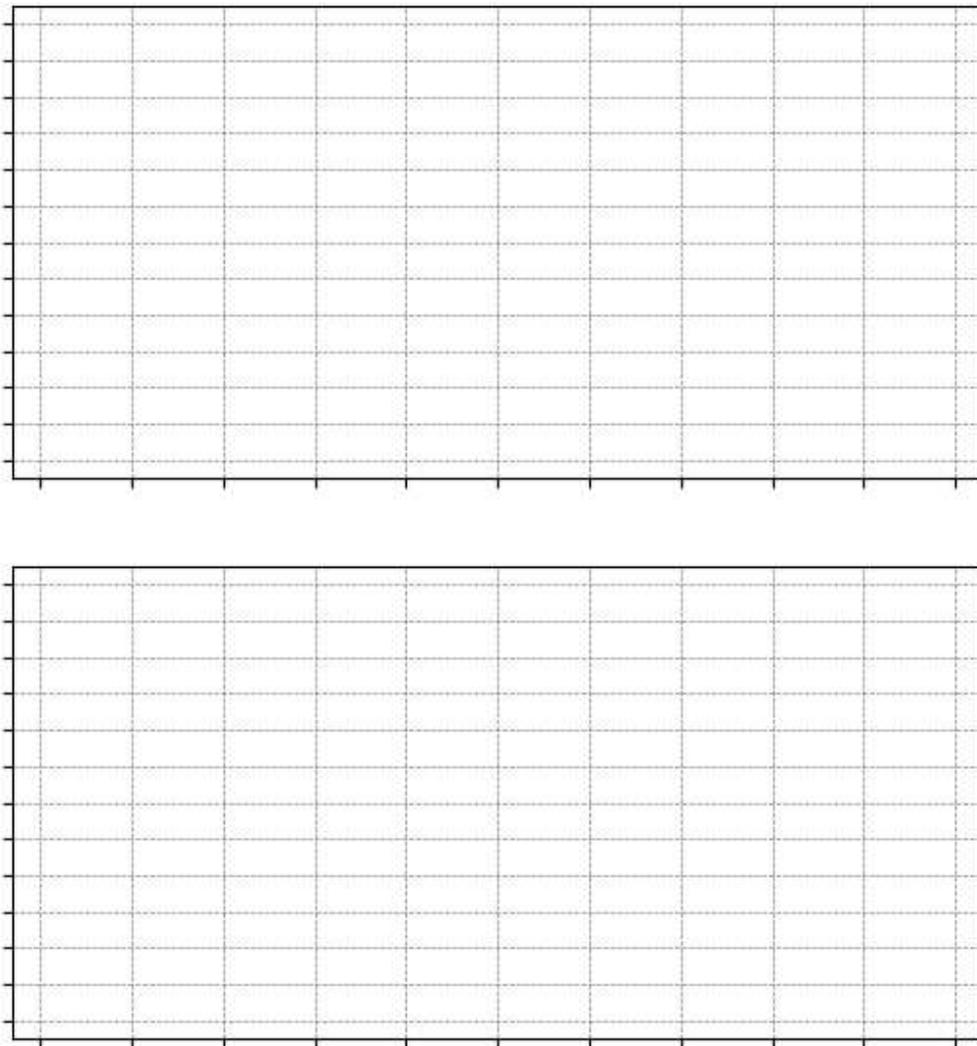
Tabela 7.2: Dados obtidos com o circuito elétrico para investigação do comportamento do LED.

Voltagem (V)	Corrente (μ A)
	0
	100
	200
	300
	400
	500
	600
	700
	800
	900
	1000

Ao distribuir os dados experimentais em gráficos milimetrados podemos

visualizar com maior clareza o comportamento dos componentes eletrônicos estudados. Na Figura 7.2 temos dois quadriculados para que os dados experimentais possam ser expostos em gráficos.

Figura 7.2: Quadriculados para que os estudantes possam expor os dados experimentais e observar o comportamento elétrico dos componentes estudados.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

Nesse ponto propomos que os estudantes invertam as conexões elétricas dos terminais do resistor e do LED e observe se há mudança de comportamento elétrico em algum dos componente e descreva essa alteração respondendo as

seguintes perguntar:

1. O que aconteceu com o resistor?

2. O que aconteceu com o LED?

Finalmente, para verificar a relação entre a voltagem que deve ser aplicada para que o LED comece a emitir luz, chamada de tensão de corte, V_t e a frequência dessa luz emitida, f . O valor da frequência deve ser calculado usando a expressão:

$$eV_t = hf \quad \Rightarrow \quad f = \frac{eV_t}{h} \quad (7.1)$$

em que e é a carga do elétron ($e \approx 1,6 \times 10^{-19}$ C) e h é a constante de Planck ($h \approx 6,63 \times 10^{-34}$ Js).

Em posse desse resultado perguntamos aos estudantes se é possível verificar se a frequência calculada é condizente com a cor observada na prática.

Apenas como sugestões, caso não seja possível fazer o experimento em sua forma real, é possível usar aplicativos online. Sugerimos o site TinkerCAD¹. As imagens da Figura 7.1 foram feitas usando esse site e podemos observar que os elementos são bem próximos dos reais, exceto pelos multímetros.

¹<https://www.tinkercad.com>



Questões para avaliação da sequência didática

As últimas 06 aulas foram um conjunto de atividades para estudar Física Moderna através do funcionamento do LED.

1. Na sequência usamos diversos recursos educacionais, entre eles o uso de **softwares de simulação**. De que forma você acredita que o uso desse tipo de recurso contribuiu para o entendimento dos conceitos explorados na sequência didática?
 - (a) Não contribuiu.
 - (b) Contribuiu pouco.
 - (c) Contribuiu.
 - (d) Contribuiu razoavelmente.
 - (e) Contribuiu muito.

2. Na sequência usamos diversos recursos educacionais, entre eles o uso de **questionários com a metodologia Peer Intruccion**. De que forma você acredita que o uso desse tipo de recurso contribuiu para o entendimento dos conceitos explorados na sequência didática?
- (a) Não contribuiu.
 - (b) Contribuiu pouco.
 - (c) Contribuiu.
 - (d) Contribuiu razoavelmente.
 - (e) Contribuiu muito.
3. Na sequência usamos diversos recursos educacionais, entre eles o uso de **atividades experimentais**. De que forma você acredita que o uso desse tipo de recurso contribuiu para o entendimento dos conceitos explorados na sequência didática?
- (a) Não contribuiu.
 - (b) Contribuiu pouco.
 - (c) Contribuiu.
 - (d) Contribuiu razoavelmente.
 - (e) Contribuiu muito.
4. Você acredita que essa sequência didática como um todo contribuiu para seu entendimento da matéria?
- (a) Não contribuiu.
 - (b) Contribuiu pouco.
 - (c) Contribuiu.
 - (d) Contribuiu razoavelmente.
 - (e) Contribuiu muito.



Referências

- [1] E. Mazur. *Peer Instruction: A Revolução da Aprendizagem Ativa*. 1. ed. Porto Alegre: Penso, 2015, p. 272.
- [2] Plickers. *Plickers*. Disponível em: <https://www.plickers.com/>. Acesso em: 23 de jan. de 2024.
- [3] Vascak. *Semicondutores*. Disponível em: https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?f=pol_polovodice&l=pt. Acesso em: 23 de jan. de 2024.
- [4] Vascak. *Geração e recombinação*. Disponível em: https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?f=pol_generace&l=pt. Acesso em: 23 de jan. de 2024.

-
- [5] Toda Matéria. *Tabela Periódica*. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/tabela-periodica.pdf>. Acesso em: 23 de jan. de 2024.
- [6] Vascak. *Átomo de Bohr*. Disponível em: https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=atom_vodik&l=pt. Acesso em: 23 de jan. de 2024.
- [7] JavaLab. *Line Spectrum and Continuous Spectrum*. Disponível em: https://javalab.org/en/spectrum_en/. Acesso em: 23 de jan. de 2024.
- [8] PhET. *Condutores*. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/conductivity. Acesso em: 23 de jan. de 2024.
- [9] PhET. *Semicondutores*. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/semiconductor. Acesso em: 23 de jan. de 2024.
- [10] EduMedia. *p-n junction*. Disponível em: <https://www.edumedia.com/en/media/966-p-n-junction>. Acesso em: 23 de jan. de 2024.
- [11] JavaLab. *The principle of LED*. Disponível em: https://javalab.org/en/led_en/. Acesso em: 23 de jan. de 2024.