



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
INSTITUTO DE MATEMÁTICA, ESTATÍSTICA E FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA –
MNPEF – POLO 21 – RIO GRANDE

CiênciaEduca.doc: UMA PRODUÇÃO AUDIOVISUAL PARA O ENSINO DE
FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA A PARTIR DOS
SEMICONdutoRES

Pedro Guilherme Backes de Oliveira

Rio Grande

Fevereiro de 2022



CiênciaEduca.doc: UMA PRODUÇÃO AUDIOVISUAL PARA O ENSINO DE
FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA A PARTIR DOS
SEMICONDUCTORES

Pedro Guilherme Backes de Oliveira

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador
Prof. Dr. Jorge Luiz Pimentel Junior

Rio Grande
Fevereiro de 2022

Ficha Catalográfica

O48c Oliveira, Pedro Guilherme Backes de.
CiênciaEduca.doc: uma produção audiovisual para o Ensino de Física Moderna e Contemporânea a partir dos semicondutores / Pedro Guilherme Backes de Oliveira. – 2022.
71 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Programa de Pós-Graduação em Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Rio Grande/RS, 2022.

Orientador: Dr. Jorge Luiz Pimentel Junior.

1. Ensino de Física 2. Semicondutores 3. Resistividade elétrica
I. Pimentel Junior, Jorge Luiz II. Título.

CDU 53:37

Catálogo na Fonte: Bibliotecário José Paulo dos Santos CRB 10/2344

CiênciaEduca.Doc: Uma Produção Audiovisual Para o Ensino De Física Moderna e Contemporânea a Partir dos Semicondutores

Pedro Guilherme Backes de Oliveira

Orientador:

Prof. Dr. Jorge Luiz Pimentel Junior

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física – Polo Rio Grande no Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:



Prof. Dr. Jorge Luiz Pimentel Junior



Prof. Dr. André Maurício Brinatti



Prof. Dr. Cristiano Brenner Mariotti

Rio Grande

Fevereiro de 2022

Resumo

A presente dissertação versa sobre a introdução da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, através da Física Quântica relacionada aos semicondutores. Para tanto, o trabalho parte das relações do eletromagnetismo que são usadas para descrever eletricamente os materiais, principalmente a resistividade e condutividade elétrica. Feita a descrição eletromagnética, são feitas considerações da perspectiva quântica a partir dos semicondutores, a teoria de bandas, o *gap* (banda proibida) e o conceito de lacunas.

Para levar tal área do conhecimento e os temas e conceitos a serem abordados à sala de aula, são trabalhados os campos pedagógicos que devem ser atentados em tal proposta, dos conceitos freirianos ao Lúdico e à Transposição Didática – considerando e respeitando a legislação vigente. É reportada uma aplicação do produto educacional desenvolvido como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Ensino de Física pelo Mestrado Nacional em Ensino de Física – MNPEF.

Abstract

The present dissertation deals with the introduction of Modern and Contemporary Physics in High School, through Quantum Physics related to semiconductors. Therefore, the work starts from the electromagnetism relationships that are used to electrically describe materials, mainly resistivity and electrical conductivity. Once the electromagnetic description is made, considerations are made from the quantum perspective from the semiconductors, the band theory, the gap (forbidden band) and the concept of holes.

In order to bring this area of knowledge and the themes and concepts to be addressed to the classroom, the pedagogical fields that must be addressed in such a proposal are worked, from Freire's concepts to Playful and Didactic Transposition - considering and respecting the current legislation. An application of the educational product developed as a partial requirement for obtaining a master's degree in Physics Teaching by the National Master in Physics Teaching - MNPEF is reported.

Agradecimentos

Agradeço, em primeiro lugar, à Sociedade Brasileira de Física, ao CNPq e à CAPES, por manterem viva a Ciência no Brasil.

À FURG, ao Imef e aos meus professores, por resistirem e trabalharem pela Educação e pela Ciência, oportunizando a formação de tantos jovens numa zona tão distante da capital do estado – e de todas as outras do país.

À minha família, porque sem ela eu não seria. Alimentação, cuidado e educação que vem de berço; mentirosa é a meritocracia.

Aos meus amigos, muitos dos quais estão citados, alguns outros que eu não achei espaço. Bons amigos que comigo, e com a ideia por trás dessas linhas, contribuíram.

Ao meu orientador, que sempre acreditou – ou pelo menos me fez acreditar que acreditava, o que também serviu.

Índice

Capítulo I: Introdução à Física do Eletromagnetismo através dos Semicondutores.....	9
1.1 Isolantes <i>versus</i> condutores.....	9
1.2 A primeira lei de Ohm.....	9
1.3 A segunda lei de Ohm.....	10
1.4 A condutividade – σ	11
1.5 Os semicondutores.....	12
1.6 O <i>gap</i>	12
1.7 As bandas.....	13
1.8 O Silício.....	13
1.9 A dopagem.....	14
1.10 O Efeito Hall.....	15
Capítulo II: Uma didática voltada à autonomia, a interação e ao lúdico.....	16
2.1 A autonomia.....	16
2.2 Transposição Didática.....	17
2.3 LDB.....	18
2.4 PCN.....	19
2.5 BNCC.....	19
2.6 Metodologias ativas e a sala de aula invertida.....	20
2.7 CTS.....	21
2.8 Contextualização & Interdisciplinaridade.....	21
2.9 O lúdico.....	22
2.10 O ENEM.....	23
Capítulo III: O produto educacional (A videoaula).....	24
3.1 O estudo.....	24
3.2 A revisão bibliográfica e o roteiro.....	25
3.3 A gravação (relato de experiência).....	26
3.4 A edição.....	27
3.5 A sequência de atividades.....	28
3.6 A avaliação.....	30
Capítulo IV: Preparação das aulas, aplicação do produto e resultados.....	34
4.1 Preparação.....	34
4.2 As escolas.....	35
4.2.1 CAIC.....	35
4.2.2 EMANCIPA.....	35
4.2.3 JK.....	36
4.3 A condução.....	36
4.3.1 A primeira aplicação: E. E. Juscelino Kubitscheck de Oliveira, Betim, Minas Gerais.....	36
4.3.2 A segunda aplicação: Emancipa Cachoeirinha.....	37
4.3.3 A terceira aplicação.....	37

4.4 Resultados.....	37
4.4.1 Videoaula.....	38
4.4.2 Listas.....	38
4.4.3 Formulários.....	39
4.4.3.1 Questão 1.....	39
4.4.3.2 Questão 3.....	40
4.4.3.3 Questão 2, 4 e 5.....	40
4.5 O post.....	41
4.5.1 Chuveiros.....	41
4.5.2 Fonte do notebook.....	42
4.5.3 Computação.....	43
4.5.4 Eletroimã.....	43
4.6 Análises.....	44
4.6.1 A evolução da sequência didática.....	44
4.6.2 A evolução do <i>forms</i>	45
4.6.3 A questão 3.....	45
4.6.4 A recuperação.....	47
4.7 Busca ativa.....	47
4.8 O ensino híbrido.....	47
4.9 Considerações finais.....	48
4.10 Perspectivas futuras.....	50
REFERÊNCIAS.....	51
Apêndice I – O produto educacional: A sequência didática.....	53
Apêndice II – O roteiro.....	62

Índice de figuras

Figura 1: Comportamento ôhmico da resistência versus não-ôhmico. Fonte: Young & Freedman, 2010.....	10
Figura 2: Contatos elétricos do multímetro representados pelos pontos V. A corrente é fornecida pelos contatos i. Fonte: Meaden, 1965.....	11
Figura 3: Exemplos da resistividade (ρ) de alguns materiais. Fonte: Griffiths, 2011.....	11
Figura 4: Distâncias entre bandas de condução e bandas de valência nas diferentes classes de materiais elétricos. Fonte: Eisberg, 2006.....	13
Figura 5: Gravação teste com objeto aleatório.....	27
Figura 6: Arte da capa da videoaula, por Anael Macedo.....	28
Figura 7: Temperatura versus corrente (a) no metal; e (b) no semicondutor. Fonte: Young & Freedman, 2010.....	29
Figura 8: Formulário sobre os semicondutores.....	30
Figura 9: Primeira questão do formulário. Fonte: UFRGS-CV/2019-FIS.....	30
Figura 10: Questão 2 do formulário. Fonte: ENEM, caderno amarelo, 2018.....	31
Figura 11: Questão 3 do formulário. Fonte: ENEM, caderno rosa, 2017.....	32
Figura 12: Trecho de texto da quarta questão. Fonte: Revista Superinteressante, out. de 2020.....	33
Figura 13: Imagem da quinta questão. Circuito composto por fonte de tensão, resistor e led ligado de forma invertida. Componentes descritos da esquerda para a direita.....	33
Figura 14: Visualizações da videoaula. O dia “0” é 11 de maio.....	38
Figura 15: Respostas do formulário.....	39
Figura 16: Índice de acertos da questão 1 do formulário do produto, extraída do vestibular da UFRGS de 2019.....	40
Figura 17: Índice de acertos da questão 3 do formulário do produto, ENEM 2017, gráfico da resistência elétrica.....	40
Figura 18: Um dos <i>posts</i> sobre chuveiro elétrico.....	42
Figura 19: <i>Post</i> sobre computação.....	43
Figura 20: Captura de tela do vídeo do experimento do eletroímã.....	44
Figura 21: Equação da resistência na concepção dos estudantes.....	45
Figura 22: Circuito para reforço conceitual.....	46

1.1 Isolantes *versus* condutores

Um bom jeito de iniciar uma conversa sobre a eletricidade é pensar nos caminhos que ela percorre. Seus condutores estão presentes em nosso dia a dia e aqueles materiais que a impedem também com algum esforço podem ser nomeados – os materiais da segunda classe são designados isolantes. Em contrapartida, a sua origem, a sua fonte, é uma questão de uma natureza um pouco mais complexa; e sua própria natureza é uma questão filosófica.

Continuando a discussão pelos materiais, já temos a definição e a distinção da classificação básica quanto a sua principal propriedade elétrica – a condutividade elétrica. Isto é, classificamos os materiais eletricamente em condutores, ou bons condutores em alguns livros¹, e isolantes (ou mau condutores²). Os condutores têm a capacidade de conduzir eletricidade, corrente elétrica. Já os isolantes não exercem essa função (com exceção de casos como capacitores carregando/descarregando). Essa capacidade é então quantificada pela condutividade elétrica.

1.2 A primeira lei de Ohm

A primeira lei de Ohm explica a relação matemática entre um valor medido e um valor aplicado. Estabelece como diferença de potencial (ddp), ou tensão (V), o valor medido quando aplicada uma corrente (i) num material dito ôhmico; e a resistência (R) a razão do primeiro pelo segundo. Mais que isso, a lei ainda garante que essa proporcionalidade direta à ddp e inversa à corrente aplicada estenda-se à variação da temperatura e para qualquer ddp estruturada; ou seja, que a equação da resistência, vista na Equação 1.1, em condições típicas para os materiais ôhmicos é linear.

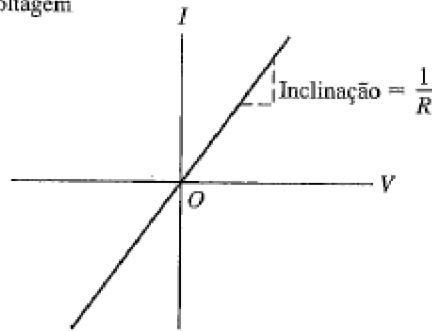
$$R = \frac{V}{i} \quad (1.1) \text{ Equação da resistência.}$$

No entanto, existem situações em que os materiais não se comportam da maneira linear no gráfico resultante da equação para a primeira lei, que se encontra na Figura 1. Esses materiais são classificados como não-ôhmicos e exibem um grande potencial tecnológico. As leis para esses materiais possuem equações e, portanto, gráficos, próprios; porém, algumas vezes a aproximação retilínea em determinadas regiões é possível.

1 PIETROCOLA, Maurício. Física em contextos. SP: FTD, 2010. 528 p.

2 Ibid.

(a) **Resistor ôhmico** (p. ex. um fio metálico comum): a uma dada temperatura, a corrente é proporcional à voltagem



(b) **Diodo semiconductor: um resistor não-ôhmico**

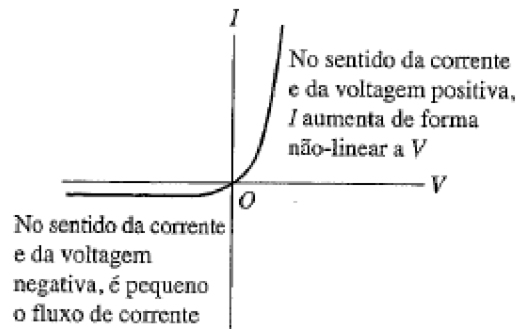


Figura 1: Comportamento ôhmico da resistência versus não-ôhmico. Fonte: Young & Freedman, 2010.

1.3 A segunda lei de Ohm

A segunda lei de Ohm versa um pouco mais sobre a resistência elétrica. Qualifica essa grandeza como uma proporção entre uma resistividade intrínseca do material (ρ) e seus “componentes geométricos”, como visto na Equação 1.2.

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (1.2) \text{ Equação para a segunda lei de ohm.}$$

Onde L seria o comprimento do fio, por exemplo, e A a sua área (uma seção reta que cruza seu comprimento). Na verdade, essas considerações que fizemos sobre os parâmetros geométricos da amostra, como o fio citado, são considerações do ponto de vista ilustrativo. O valor L é encontrado na diferença de posição entre os contatos efetuados do multímetro na amostra, como exibido na Figura 2 (a distância entre os pontos V; “A” continua sendo uma seção reta qualquer que cruza a amostra, entre esses dois pontos); para, a partir da medida da diferença de potencial estabelecida no material como resposta à corrente aplicada – e, utilizado a equação da resistência (1.1), obtido o valor desta grandeza (R), substituir-se os valores na equação 1.2, obtendo-se assim a resistividade elétrica do material.

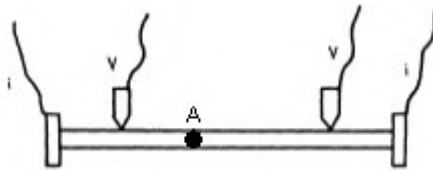


Figura 2: Contatos elétricos do multímetro representados pelos pontos V. A corrente é fornecida pelos contatos i. Fonte: Meaden, 1965.

A explicação do que seria uma resistividade intrínseca envolve a dimensão quântica, ou seja, atômica. A disposição da rede cristalina, aumentando ou diminuindo o número de colisões dos elétrons com suas imperfeições, a dinâmica dos átomos, maior ou menor livre caminho médio das partículas portadoras de carga, relacionado ao tempo livre sobre o qual o campo elétrico age sobre a partícula, e suas ligações, explicariam uma maior ou menor quantidade dessa grandeza – menor ou maior capacidade de conduzir corrente elétrica, ou a ela se opor. Os fatores geométricos também tem grande importância na produção de uma amostra, pois são os parâmetros utilizados na confecção dos dispositivos eletrônicos e alteram a sua resistência final – além de sua composição química já citada (as moléculas e os átomos de que o material são feitos), em atenção à resistividade de cada qual já tabelada, como mostra a Figura 3.

Material	Resistividade	Material	Resistividade
<i>Condutores:</i>		<i>Semicondutores:</i>	
Prata	$1,59 \times 10^{-8}$	Água salgada (saturada)	$4,4 \times 10^{-2}$
Cobre	$1,68 \times 10^{-8}$	Germânio	$4,6 \times 10^{-1}$
Ouro	$2,21 \times 10^{-8}$	Silício	$2,5 \times 10^3$
Alumínio	$2,65 \times 10^{-8}$	<i>Isolantes:</i>	
Ferro	$9,61 \times 10^{-8}$	Água (pura)	$2,5 \times 10^5$
Mercúrio	$9,58 \times 10^{-7}$	Madeira	$10^8 - 10^{11}$
Nicromo	$1,00 \times 10^{-6}$	Vidro	$10^{10} - 10^{14}$
Manganês	$1,44 \times 10^{-6}$	Quartzo (fundido)	$\sim 10^{16}$
Grafite	$1,4 \times 10^{-5}$		

Figura 3: Exemplos da resistividade (ρ) de alguns materiais. Fonte: Griffiths, 2011.

1.4 A condutividade – σ

Por definição, a condutividade elétrica é a grandeza que descreve a capacidade de um material conduzir corrente elétrica. Em termos matemáticos, ela pode ser obtida através da sua equivalência com o inverso da resistividade, como está na Equação 1.3.

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (1.3) \text{ Equação da condutividade em função da resistividade.}$$

Para obtê-la experimentalmente, indiretamente, é preciso uma montagem, então, onde a corrente elétrica aplicada seja conhecida e a medida da ddp entre os dois terminais dispostos sobre a

amostra do material seja possível, como na técnica das quatro pontas. Assim se obtém, através da equação aplicável ao regime ôhmico, a resistência elétrica. Segue-se o cálculo da resistividade elétrica através de uma manipulação algébrica da equação para a segunda lei aqui apresentada na equação 1.2. Por fim, bastaria aplicar a condição inversamente proporcional (1.3) e o valor da condutividade elétrica do material estaria obtido.

Na verdade, tanto condutividade e resistividade elétrica são grandezas tensoriais, com valores próprios em cada eixo que se mede. A equação para a primeira lei de Ohm também pode ser expressa através de sua relação com o campo elétrico (E) e a densidade de corrente (J), como visto na Equação 1.4³. No entanto, para certas simetrias, as componentes extralineaes podem ser anuladas⁴ e a forma apresentada nas equações 1.1 e 1.2 tornam-se simplificações válidas e razoáveis para o nível da educação básica.

$$J = \sigma E \quad (1.4) \text{ 1ª lei de Ohm.}$$

1.5 Os semicondutores

Um ponto interessante na discussão trata justamente daqueles materiais que anteriormente foram chamados de não-ôhmicos. Entre eles, estão os semicondutores. Tais materiais, do ponto de vista elétrico, não estariam tanto em um extremo, o dos condutores, nem no outro, o dos isolantes. Às vezes conduzem, às vezes não. O comportamento de sua condução e, conseqüentemente, de sua resistência não é linear. Por isso, os semicondutores fazem exceção à lei de Ohm. No entanto, como já destacado, existem regiões de variação de temperatura para certos materiais semicondutores que apresentam comportamento aproximadamente ôhmico, ou seja, as leis de Ohm são válidas nesse recorte.

Por todos esses comportamentos particulares, os semicondutores têm uma ampla faixa de aplicação na eletrônica, na computação, na informática, na indústria, ou seja, na tecnologia de modo geral. Ainda, apresentam particularidades do ponto de vista termodinâmico, como a aplicação enquanto termistor; mas apenas se concentrando no eletromagnetismo, na eletricidade, na eletrônica e na computação, já se apresentam diversos fenômenos, grandezas, parâmetros, conceitos e contextos para se analisarem.

1.6 O *gap*

Dos valores da tabela da Figura 1, a diferença observada entre os $1,68 \times 10^{-8} \Omega.m$ da resistividade elétrica de um condutor, como o cobre no exemplo, os $2,5 \times 10^5 \Omega.m$ da água pura (representando os isolantes), e a variação nessa faixa dos semicondutores, como o Silício a $2,5 \times 10^3 \Omega.m$, pode ser explicada em termos das distâncias entre suas bandas de condução e bandas de valência. Enquanto que nos condutores essas bandas estão tão próximas que chegam a se sobrepor, nos isolantes o afastamento é tão grande que para exibir no mesmo gráfico é necessário escaloná-lo; já nos semicondutores a banda proibida (*gap*) é pequena e variável, como exibe a Figura 4.

3 GRIFFITHS, David Jeffrey Eletrodinâmica. Brasil: Pearson Addison Wesley, 2011. p. 210.

4 PUREUR, Paulo. Estado sólido. Porto Alegre: IF – UFRGS, 2001. p. 40.

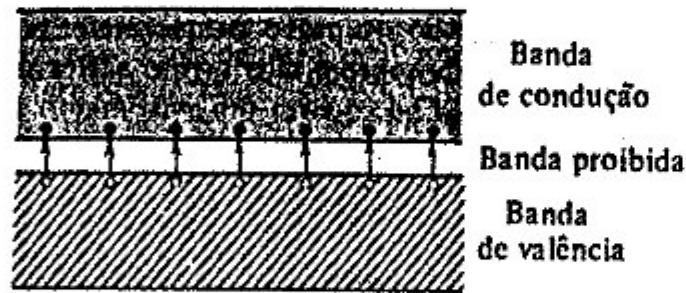


Figura 4: Distâncias entre bandas de condução e bandas de valência nas diferentes classes de materiais elétricos. Fonte: Eisberg, 2006.

Essa banda proibida, *gap* na literatura, é variável mediante a temperatura, luminosidade, pressão ou dopagem a que está submetido o material, cada qual conforme as suas características. Fotodiodos são usados em placas solares fotovoltaicas (PSFV) e sensores de presença de lâmpadas, por exemplo. Termistores são usados para medir temperatura em experimentos termodinâmicos. Em câmeras de celulares, a luz captada é convertida em sinal elétrico através de semicondutores e do efeito fotoelétrico. Todos fenômenos e utilidades decorrentes da presença de material semicondutor aplicam o conhecimento sobre a condutividade, mais diretamente, a resistividade. Ambas são explicadas por essa variação no *gap* que possibilita ou não o transporte de elétrons – ou de lacunas, já que os elementos semicondutores apresentam esse fenômeno, variação de carga elétrica mediante movimento ordenado de elétrons e lacunas, que podem ser lidas como uma carga positiva, quando ocupando o espaço que seria de um elétron na corrente, ser interpretada como uma “corrente positiva” e acompanhada dos conceitos de *gap* e das bandas, explicaria o comportamento atípico dos materiais semicondutores.

1.7 As bandas

A base da aplicação da seção anterior repousa no conceito da teoria de bandas, da banda de condução e da banda de valência. É sabido que a corrente elétrica nos metais é favorecida pela grande presença de elétrons livres. Os isolantes teriam seus elétrons mais fortemente ligados e, portanto, não seriam bons condutores.

Os elétrons mais ligados ao núcleo estariam no caroço iônico. As últimas camadas com níveis mais completos formariam a banda de valência, mais propensa a manter seus elétrons. Os materiais como os metais, com a última camada incompleta, com poucos elétrons nessa camada mais externa, mais fracamente ligados, teriam maior capacidade de perder seus elétrons (elétrons livres). A ligação metálica formaria a banda de condução com os elétrons dessas últimas camadas incompletas. Por isso a corrente elétrica, na banda de condução, estaria mais propensa a ter seu transporte executado, pela maior presença de portadores de carga livres.

1.8 O Silício

O Silício é o elemento da tabela periódica responsável pela maior porcentagem da composição da crosta terrestre⁵. É o mineral mais abundante da Terra. Em termos de classificação elétrica, é um semicondutor. Tecnicamente falando, é o componente principal de dispositivos como chips, leds e diodos. Anteriormente outro elemento, o Germânio, dividia o protagonismo

5 BOUDINOV, H.I. Do silício até os semicondutores orgânicos. VII EEEFís-RS. UFRGS, 2017.

nesse ramo; no entanto, vem progressivamente sendo substituído pelo Silício – pois esse último trabalharia melhor nas condições atmosféricas e de pressão e temperatura terrestres. Outros elementos usados seriam compostos de moléculas dopadas.

No entanto, o Silício tem se tornado cada vez mais destaque nas discussões de Ciência e Tecnologia, porque além das suas propriedades e ampla aplicação, a sua origem tem bastante significância do ponto de vista geopolítico e ambiental. O Brasil possui reservas significantes desse mineral⁶. Seu destaque, porém, se dá não tanto pela quantidade, mas pela qualidade. O grau de pureza é o maior globalmente falando, da ordem de 99,999%⁷. Sua obtenção através da mineração também é alvo de polêmicas.

Importante observar que mesmo o Silício brasileiro sendo o mais puro, ainda precisa ganhar um aprimoramento aumentando a sua pureza. É nesse processo que são utilizados elementos pesados e potencialmente poluentes, como o mercúrio. E para ser usado ainda são feitas dopagens, que realizam novas ligações com elementos com os quais entra em contato, alguns para fornecer elétrons, outros, prótons. Com a realização de dopagens, é possível a criação de compostos que exibem as propriedades do Silício. Contudo, o Silício purificado ainda é a base dos circuitos de chaveamento digital, que são a base da computação moderna – por isso hoje algumas das maiores empresas de tecnologia da atualidade estão localizadas no que é chamado de Vale do Silício, na Califórnia (EUA).

Outra observação importante a ser feita: mesmo após as considerações de que a porcentagem de mineração do Silício no Brasil tem alguma significância global e sua pureza ser a maior, o beneficiamento para a confecção dos chips de fato feita no Brasil é insignificante. A maior parte do mercado global de produção destes dispositivos encontra-se localizada no oriente, mais especificamente Coreias, Hong Kong e Taiwan⁸.

1.9 A dopagem

Da perspectiva tecnológica, é pertinente discutir alguns aspectos sobre o aprimoramento ou produção de tais materiais. O Silício, como já relatado, passa por um processo de purificação depois de minerado e coletado. Existem materiais, chamados semicondutores intrínsecos, como o silício, que exibem tais propriedades semicondutoras por natureza do elemento; e a dopagem tem o intuito de aprimorar o seu rendimento. No entanto, existem materiais em que o fenômeno pode ser exibido, mas como característica adicionada, no caso, pela dopagem, com determinado elemento. Elementos que comumente se ionizam positivamente, liberam elétrons, dopando-os no material; no caso da ionização tradicional ser negativa, fornecem prótons, que permitem ligações com elétrons do material a ser dopado, sendo então responsável pelo surgimento das tais lacunas. Ambos aproveitados no fenômeno da semicondutividade, pois podem formar corrente elétrica.

As lacunas seriam espaços não ocupados por elétrons que podem ser interpretadas como uma diferença positiva que pode contribuir para o surgimento da corrente elétrica mediante o estabelecimento de uma ddp. Ao aplicar um campo magnético, essa corrente de lacunas seria desviada no sentido contrário da corrente de elétrons, produzindo uma ddp com sinal oposto nos mesmos pontos em que a corrente eletrônica é produzida, confirmando experimentalmente a teoria.

6 BOUDINOV, H.I. Do silício até os semicondutores orgânicos. VII EEEFís-RS. UFRGS, 2017.

7 Ibid.

8 <https://economia.uol.com.br/noticias/bbc/2021/07/16/o-importante-papel-do-escudo-de-silicio-que-protege-taiwan-da-china.htm>

1.10 O Efeito Hall

O Efeito Hall é um fenômeno bastante interessante. Principalmente, pelo fato de poder atestar provas a favor do mecanismo das lacunas. Pode ser explicado por campos elétricos e magnéticos cruzados produzindo desvios na trajetória dos elétrons. Acontece que quando o material se trata de um semicondutor é possível medir diferenças de potencial tanto positivas quanto negativas no mesmo ponto, indicando tratar-se de uma carga de sinal diferente, já que as medidas seriam em relação aos mesmos terminais.

Um comportamento de tal tipo faria sentido através das lacunas, pois, pela teoria clássica, só seria possível um sinal, já que a única carga que atravessa o material seria a do elétron, e ela é sempre negativa. A presença de portadores de carga positiva só se encaixa na explicação a partir das lacunas, que seriam interpretadas como cargas positivas, originadas pela falta de um elétron no ordenamento da corrente, sendo transportadas até o terminal formando ddp.

A determinação do coeficiente Hall, permite saber a natureza da carga elétrica, positiva ou negativa, através do seu sinal (do coeficiente). Ou seja, se os portadores são elétrons ou lacunas. Também permite estimar a densidade de portadores.

A partir da força de Lorentz que curva as trajetórias eletrônicas, temos a carga elétrica, multiplicando o produto vetorial da velocidade de deriva do elétron de condução pelo campo magnético aplicado. A deflexão das trajetórias cria um campo elétrico perpendicular ao planos dos campos elétrico e magnético pré-existentes.

O campo, conhecido como campo Hall, E_H , é definido a partir da equação:

$$E_H = \frac{JB}{ne} \quad (1.5) \text{ Campo Hall.}$$

A resistividade Hall por sua vez, em analogia com a resistividade longitudinal para o caso sem campo magnético, é definida através da sua relação com a equação (1.5) como:

$$\rho_H = \frac{E_H}{J} \quad (1.6) \text{ Resistividade Hall.}$$

Ainda é possível descrever ρ_H a partir das equações (1.5) e (1.6), como:

$$\rho_H = RB \quad (1.7) \text{ Resistividade Hall em função do campo.}$$

Define-se então a constante R (Equação 1.8). A observação de R positivo (semicondutores) é explicada por elétrons de massa efetiva negativa, que atuam como lacunas positivas⁹.

$$R = \frac{1}{ne} \quad (1.8) \text{ Coeficiente Hall.}$$

9 PUREUR, Paulo. Estado sólido. Porto Alegre: IF – UFRGS, 2001. p. 81.

2.1 A autonomia

Quando se começa uma discussão sobre o ensino no Brasil, é inevitável falar nas pedagogias libertárias da década de 80 e 90. Aquele movimento iniciado por Darcy Ribeiro na década de 60, interrompido pela ditadura militar, mas que culminou na criação da UnB (Universidade de Brasília) – universidade modelo do que seria a metodologia defendida por Darcy, retomado quando do retorno da democracia após duas décadas; responsável também por projetos como os dos CIEPs (Centros Integrados de Educação Pública) e CAICs (Centros de Atenção Integral à Criança e ao Adolescente)¹⁰. Já na sequência do movimento, a pedagogia como defendida por Freire em clássicos como *Pedagogia da Autonomia* (1996)¹¹ e *do Oprimido* (1974)¹² influenciou um sem número de professores e educadores em todo o Brasil nas últimas décadas – e vem ganhando adeptos entre os discentes da área da Física a cada ano em um movimento recente; com destaque para o momento da inclusão no livro de análise da didática de Moreira (2011)¹³.

Embora a inclusão recente em alguns círculos da didática em Física, alguns autores já trabalhavam com a *Redução Temática*¹⁴, como descrita na *Pedagogia do Oprimido*. Por exemplo, os três momentos pedagógicos de Delizoicov¹⁵, para pensar em como o eixo estruturante (os temas geradores), ou seja, aqueles conceitos-chave de cada área, poderia ser usados para significar – e aqui se fala mais no conceito de significação pelos signos de Vigotski¹⁶ do que em termos da aprendizagem significativa ausubeliana¹⁷ – e descrever a realidade dos estudantes e assim efetivar o processo de ensino-aprendizagem.

Um princípio chave da pedagogia freiriana é o da autonomia. Cada estudante tem sua vivência e só a partir dela aprende, ou seja, assimila novos conceitos usando por base os tijolos de sua fundação – e aqui há que se dizer que seguindo essa perspectiva, os estudantes aprenderiam mais pela interação dos “tijolos, cimento e areia” com os “pedreiros e mestre de obras”, que na metáfora seriam os professores e estudantes, do que com o conhecimento que seria colocado ali, como que transmitido. O processo por meio do qual a obra se ergue seria entendido como um processo de mediação do professor, ao qual Freire prefere chamar de Educador, entre os conteúdos científicos e os estudantes, educandos, através da interação com a realidade do entorno e com o concreto do dia a dia. Já aqui podemos falar em como Freire defendia a contextualização e, mais do que isso, como os conteúdos escolares devem, além de retratar o meio e a realidade, servir para modificá-lo, moldá-lo e transformá-lo.

Considerando a questão dos níveis de desenvolvimento, como descritos por Piaget, que percebem o que os estudantes estão aptos a abstrair ou concretizar¹⁸, porém, considerando também a concepção vigotskiana, sobre a região de um campo de conhecimento que estaria potencialmente acessível ao estudante, mesmo em idades consideradas inferiores às necessárias a cada conteúdo, e que portanto ainda não estaria estabelecida, mas seria alcançável – a “zona de desenvolvimento

10 MIGNOT, Ana Chrystina Venancio. *Escolas na vitrine: centros integrados de educação pública (1983-1987)*. Estudos avançados, v. 15, p. 153-168, 2001.

11 FREIRE, Paulo. *Pedagogia da Autonomia*. SP: Paz e Terra, 1996. 144 p.

12 Id. *Pedagogia do Oprimido*. SP: Paz e Terra, 1974. 253 p.

13 MOREIRA, Marco Antônio. *Teorias da aprendizagem*. Porto Alegre: E.P.U. – UFRGS, 2011. 248 p.

14 GEHLEN, Simoni Tormöhlen; MALDANER, Otavio Aloisio; DELIZOICOV, Demétrio. *Momentos pedagógicos e as etapas da situação de estudo: complementaridades e contribuições para a educação em ciências*. *Ciência & Educação* (Bauru), v. 18, n. 1, p. 1-22, 2012.

15 Ibid.

16 OSTERMANN, Fernanda; CAVALCANTI, CJ de H. *Teorias de aprendizagem*. Porto Alegre: Evangraf, 2011. p. 41.

17 Ibid. p. 35.

18 Ibid. p. 32.

proximal”¹⁹. Tal zona, na teoria, seria atingível mediante atividades lúdicas de contato do estudante com objetos do conhecimento – como instrumentos musicais ou de medida, por exemplo – mediado pelo professor.

Ainda sobre a Pedagogia da Autonomia, e também explorado na do Oprimido, há o destaque do trabalhar com o cotidiano do estudante. Partir de problemas sociais, ambientais ou econômicos, vivenciados pelos estudantes – em especial, por aqueles de alta vulnerabilidade socioeconômica, que enfrentam, além de tudo, a *injustiça ambiental*²⁰ - para chegar através dos conceitos da Ciência; mais especificamente na Física; em soluções. Ou, ao menos, em possibilidades de soluções, que podem ser aproveitadas em debates, discussões e projetos da Ciência e Tecnologia. Tudo isso podendo resultar em proposições e leis para as áreas ambientais, tecnológicas e industriais, culminando em mudanças da realidade social – um prenúncio do movimento CTS (Ciência-Tecnologia-Sociedade).

2.2 Transposição Didática

A transposição didática como pensada por Chevallard, descrita em Brockington & Pietrocola (2005), mostra que o processo de transformação de um conteúdo dito científico em um conteúdo dito didático, envolve muito mais que uma simplificação do conhecimento produzido pela Ciência, nos laboratórios, centros universitários e de desenvolvimento científico e tecnológico, até que ele possa chegar à sala de aula²¹. A simplificação em si precisa ter significado: somos levados a apresentar a aceleração da gravidade como constante nas situações problemas que propomos quando trabalhamos com o Ensino Médio. No entanto, esse movimento só é válido porque para casos de pequenas distâncias de queda, relativamente, comparando com o raio da Terra, essa aproximação tem significado; a aceleração torna-se aproximadamente constante para variações de pequenos raios.

Da mesma forma que ocorre com a Mecânica Clássica, quando queremos abordar a Física Quântica em sala de aula, precisamos empregar conhecimento do campo da transposição didática. Nesse caso, o desafio ainda é maior pela atualidade do tema que ainda é alvo de intensa pesquisa e investigação em laboratório. Logo, além da base um pouco menos sólida, ela precisa ser constantemente revista de acordo com os novos resultados. No entanto, são bastante incentivadas pela literatura, propostas didáticas de tal cunho (de introdução da Física Quântica no Ensino Médio), apontando resultados positivos tanto para os estudantes, motivados pelo estudo de temas atuais, quanto para os professores, que se envolvem com as mais recentes descobertas da área científica da qual fazem parte. Essa interação com o tema coloca os estudantes e os professores como agentes ou até atores do progresso científico e do conhecimento em si. Tal introdução ainda recebe amparo legal, presente em documentos legais, como os PCN (Parâmetros Curriculares Nacionais)²² – tão importantes nas duas últimas décadas.

19 Ibid. p. 42.

20 ACSELRAD, Henri. Justiça ambiental e construção social do risco. *Desenvolvimento e Meio ambiente*, v. 5, 2002.

21 BROCKINGTON, G.; PIETROCOLA, M. Serão as regras da Transposição Didática de Chevallard aplicáveis a Mecânica Quântica? *Revista Brasileira de Ensino de Física*. 2005.

22 PENA, Fábio Luís Alves. A INFLUÊNCIA DOS PCN SOBRE A PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA: UM ESTUDO A PARTIR DE ARTIGOS PUBLICADOS EM PERIÓDICOS NACIONAIS ESPECIALIZADOS NA ÁREA. VII ENPEC Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciência Florianópolis-2009. ABRAPEC, 2009.

2.3 LDB

Ao falar dos documentos brasileiros relativos à educação, da perspectiva da legislação que rege esse campo, a carta maior é a Lei das Diretrizes Básicas para a Educação (LDB)²³, pois é a legislação mais antiga do período democrático (1996). É também a legislação mais abrangente, pois define toda a estrutura de ensino no Brasil em seus diferentes níveis. O período de cunho da referida lei é consequência da conquista, na década anterior, da Constituição Federal do Brasil de 1988²⁴, que continha uma seção própria para o campo, mas que também ordenava para os próximos anos a elaboração de um texto mais específico para a regulamentação da educação no Brasil.

A LDB especifica o propósito do ensino médio em três eixos-base: I) preparar os estudantes para o ingresso no ensino superior; II) preparar o estudante para o ambiente profissional; III) preparar o jovem para o exercício de sua cidadania, sua autonomia e as situações do cotidiano. A partir disso, percebe-se a importância de se trabalhar com o que é a barreira de acesso ao ensino superior no momento, que atualmente seria o Exame Nacional do Ensino Médio – ENEM²⁵. Propor análises e resoluções de questões desse exame, e algumas aulas ou partes delas embasadas nas técnicas necessárias para essas resoluções, pode ser um exemplo de como abordar esse dever legal (trabalhar com as necessidades dos estudantes para o ingresso no ensino superior). Outro exemplo de como abordar a referida legislação seria o estímulo à participação e preparação para tal dos estudantes nos debates sobre Ciência e Tecnologia.

Na LDB, já está preconizado a criação de referências nacionais para um processo de ensino equivalente, independente da região do país em que está sendo realizado. A LDB é a estrutura que define os níveis e objetivos de cada um, destaca a universalização e o respeito às culturas locais e seus integrantes, sem qualquer preconceito de raça, cor, credo, etnia, gênero, idade e regionalidade. Além disso, setoriza cada função dentro do pacto federativo em três entes: I) o que seria responsabilidade federal (ensino superior e técnico); II) estadual (ensino médio, podendo assumir, deliberativamente, escolas de ensino fundamental, técnicas e centros de ensino superior); III) e, municipal (ensino fundamental, podendo assumir deliberativamente escolas de ensino médio e centros de ensino superior). Ainda, define a idade obrigatória ao convívio escolar, que seria dos 4 aos 17 anos. Estabelece as faixas etárias adequadas para os dois primeiros dos três níveis educacionais: I) educação infantil (4 aos 5); II) educação básica, ensino fundamental (6 aos 14) e ensino médio (15 a 17). No entanto, deixa regulamentado que se abram espaços exclusivos para o atendimento de jovens e adultos fora da idade escolar regular – que hoje são os NEEJAs, Núcleos de Educação de Jovens e Adultos. Esses núcleos são mantidos fundamentalmente por instituições filantrópicas e de caridade aqui no Rio Grande do Sul, já que o estado recentemente desobrigou suas escolas de fornecerem o nível legislado²⁶. Também estabelece metas para o ingresso e ascensão na educação superior, o terceiro nível, dividido em ensino superior e pós-graduação. E garante amplo acesso independente de *deficit* intelectual ou condição de pessoa com deficiência (PCD) – as escolas devem se adaptar.

Entre os documentos previstos pela LDB está uma base nacional curricular, já citada como uma referência nacional para o ensino em cada nível. Este documento, que hoje vemos culminado na Base Nacional Comum Curricular²⁷, seria o norte delimitador dos conteúdos, bem como competências a serem desenvolvidas. Tal base entrou em vigor para alguns níveis de ensino (educação infantil e ensino fundamental) e vem sendo gradualmente ampliada (ensino médio). Importante reconhecer que, até então, quem cumpria o papel de documento norteador para a

23 SAVIANI, Dermeval. *A lei da educação: LDB: trajetória, limites e perspectivas*. Autores associados, 2019. 368 p.

24 BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. 1988.

25 <https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/avaliacao-e-exames-educacionais/enem>. Acesso em 19 de nov. de 2021 às 16h25.

26 <http://www.al.rs.gov.br/agenciadenoticias/destaque/tabid/855/Default.aspx?IdMateria=325622>. Acesso em 19 de nov. de 2021 às 17h18.

27 <http://download.basenacionalcomum.mec.gov.br/>. Acesso em 19 de nov. de 2021 às 17h25.

educação do país – na ausência da base, que levou 22 anos para ser concluída (2018), tendo sido preconizada em 1996 pela LDB, como consta na própria página inicial do portal²⁸ – eram os Parâmetros Curriculares Nacionais, PCN. Estes incentivaram ações para o ensino da Física Moderna e Contemporânea, para a área da Física, e ações para o desenvolvimento da autonomia como a interdisciplinaridade, a contextualização, como fica explícito de sua leitura, considerando a densidade de quanto esses conceitos são utilizados dentre os outros presentes – e não presentes – no texto.

2.4 PCN

Os PCN foram escritos como prosseguimento das demandas criadas pela LDB. Eles descreviam quais temas deviam ser incentivados em cada área assim como as explicações metodológicas, carregadas de princípios de cunho freiriano, como contextualização e interdisciplinaridades. E traziam a Física Moderna e Contemporânea, através de conceitos como o do raio-x e da ciência dos materiais, como temas específicos da Física, e também da Química, no ensino médio.

Os princípios estabelecidos pelos PCN foram a base de muita literatura, materiais didáticos, pesquisas e iniciativas no campo docente. No entanto, os PCN vêm concluindo seu caráter provisório à medida que a produção da BNCC (Base Nacional Comum Curricular) se aproxima de sua conclusão. Eles vêm sendo substituídos nos círculos de investigação e produção do conhecimento acadêmico relacionado à gestão e docência escolar. Ainda assim, seguem como documento referência de diversas pesquisas relevantes realizadas nas duas décadas já passadas desse século, que ainda guardam significância no contexto atual – e, no mínimo, sempre guardará seu valor histórico.

2.5 BNCC

Ao chegarmos no documento que hoje rege o andamento, o objetivo conceitual e os conteúdos das escolas brasileiras, a Base Nacional Comum Curricular, nos encontramos frente ao resultado de um projeto de mais de vinte anos desde a sua concepção na LDB; com a redação do documento final levando os cerca de 10 anos já citados. Em termos de conteúdo, vê-se uma atualização dos tradicionalmente abordados, mas já bastante levantado pela pesquisa das duas últimas décadas e inclusive constando nos PCN.

As novidades, frente aos documentos anteriores, estão por conta do princípio das competências como norteador dos processos educacionais. Questões profissionais, emocionais, sociais, morais e/ou éticas estão contemplados nessa premissa, e a ideia agora é incluí-las como parte do currículo formal e não mais como currículo oculto²⁹.

A importância de uma base nacional é indiscutível. Isso se dá por conta da necessidade de um parâmetro de referência mais objetivo para o planejamento e avaliação das aulas por parte dos professores de todo o Brasil – que até o momento tinham apenas os PCN, que foram concebidos como um documento provisório até a chegada da base, e os livros didáticos. Tentativas nesse sentido trariam a universalização das oportunidades, na visão de que a uniformização do conteúdo garante amplo acesso aquilo que é importante para o país – claro que respeitando as especificidades locais e as regionalidades.

28 <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>. Acesso em 19 de nov. de 2021 às 17h23.

29 <http://catalogo.egpbf.mec.gov.br/modulos/mod-4/saibacurriculos.html>. Acesso em 19 de nov. de 2021 às 17h31.

2.6 Metodologias ativas e a sala de aula invertida

Dentre as opções de metodologias para que ocorram processos de ensino-aprendizagem que poderiam ser classificados como métodos de ensino não-bancários, na concepção freiriana, ou seja, aqueles em que a relação professor-estudante é vista de forma mais horizontal, como compartilhamento de saber, construção de conhecimento e não mais transferência ou depósito do conteúdo por parte do professor-banqueiro que o detém, ao aluno-cliente vazio que o receberia. O estudante deixa de ser visto como uma folha em branco. É visto que o contexto do estudante precisa ser levado em conta. O estudante precisa ser agente ativo do processo de ensino, e é aí que repousa a ideia do conceito de ensino-aprendizagem, já que não se ensina se não há quem aprenda; de que enquanto se ensina se aprende; ou seja, o aprendiz também ensina ao professor e isso deve ser respeitado.

O foco então seria o contato do estudante com o conhecimento através da mediação do professor. Dentro do campo dos pesquisadores que defendem bandeiras nesse sentido, ganha destaque o que se chama atualmente de metodologias ativas. Tal estrutura englobaria aqueles planejamentos e ações didático-pedagógicas onde o estudante deixa de ser coadjuvante para dividir o protagonismo com o professor. O estudante não mais receberia o conteúdo do professor e, sim, seria estimulado a encontrar-se com o conhecimento da forma que a ciência o concebe atualmente. Ele entraria em contato com os conceitos, princípios, equações, gráficos e exemplos de determinado conhecimento através de experimentos, análise de vídeos, jogos, simuladores, imagens e/ou reportagens.

Entre tais metodologias, uma que já há muito demonstrava um certo potencial, e, talvez por falta de recursos ou de vontades³⁰, ainda não tinha avançado em ações práticas; mas que agora devido a situação pandêmica virou o jogo e se tornou o principal recurso do momento: o ensino remoto ou ensino a distância. Esse campo a parte merece um estudo próprio, para o objetivo do texto apenas faz-se a conexão com uma dinâmica educacional chamada em português de sala de aula invertida, que por si só merece uma atenção especial. Esse recurso se torna adequado ao momento pois pressupõe momentos extraclasse de estudos e, esses momentos, assíncronos, teriam tanta importância quanto a posterior (ou às vezes prévia) instrução do professor. Interessante também o fato de ela ser possível em aulas presenciais, remotas ou híbridas – síncronas ou assíncronas – ideal para a incerteza e inconstância dos fechamentos, aberturas e variações das metodologias de funcionamento das escolas, reféns das curvas de contágio do vírus e das políticas de bandeira e de conceito que concedem as permissões e determinações de abertura dos estabelecimentos dos estados e municípios brasileiros durante esse período.

A previsão de assincronicidade nas ações educativas é fundamental, principalmente no contexto socioeconômico brasileiro, onde grande parte dos membros das famílias não tem acesso pleno a internet e aos dispositivos eletrônicos necessários para obter os conhecimentos de forma remota fora da escola. Muitas famílias dividem um só celular. Possuem pacotes de dados que cobrem apenas certos recursos *online*. Uma forma de amenizar essa dificuldade é propondo atividades que possam ocorrer fora do horário síncrono da turma definido no quadro de horários da escola; pois eventuais pais que trabalham nesse horário; precisam do seu celular naquele momento, são de família *mono aparelhadas* no sentido de posse de *smartphones* e de casas com ausência de computadores pessoais, cujo número vem crescendo³¹; podem emprestar seu celular para seus filhos realizarem suas atividades em suas horas de descanso.

Entre os recursos disponíveis para a realização dessa dinâmica encontram-se a leitura de trechos de livro ou artigos, o acompanhamento de um vídeo, contato com um *software*, simulador ou jogo, entre outras possíveis atividades. Só feito o primeiro contato com o conteúdo, de forma

30 Administrativas, pedagógicas, científicas, políticas, enfim.

31 <http://g1.globo.com/tecnologia/noticia/2016/11/n-de-casas-com-computador-cai-pela-1-vez-no-brasil-diz-ibge.html>. Acesso em 19 de nov. de 2021 às 17h35.

assíncrona, que o estudante se fará presente a uma sala (podendo ser virtual), onde o assunto trabalhado vai ser discutido de maneira síncrona, aprofundada, podendo ser coletiva ou em grupos e mediada pelo professor. O aprofundamento do conteúdo no momento síncrono pode se dar através de uma resolução de lista de exercícios com consulta, questionamento e apresentação de dúvidas, a apresentação de um seminário, um jogo estilo *quiz*³², um debate, entre outras possibilidades.

Destaca-se que todo esse processo é amparado tanto nas concepções interacionistas vigotskianas; do incentivo a interação social, cultural e diretamente com objeto do conhecimento científico e zonas de desenvolvimento proximal. Além do papel de intermediador defendida também na pedagogia da autonomia de Freire. A conexão entre os três movimentos parece uma função complementar.

2.7 CTS

O movimento ciência-tecnologia-sociedade, CTS, surgiu na atual forma a cerca de meio século³³. No Brasil, vem ganhando cada vez mais adeptos vide apontamentos de Von Linsingen³⁴. Tal avanço tem ressonância no restante da América Latina, haja vista o crescente número de eventos científicos que surgem sobre o tema, como o SICTS³⁵.

Há vertentes que utilizam o “A” de ambiente, CTSA, no entanto, há literatura que indica que seria um pleonasma, já que em sociedade esta estaria inclusa, já que não se pode falar na segunda sem a primeira – os humanos não existiriam sem um meio ambiente, portanto não constituiriam uma sociedade³⁶. Logo, não se pode produzir um material CTS sem ter-se o meio ambiente como um dos eixos centrais.

Também há diferença entre o movimento e o enfoque CTS. O movimento CTS seria mais amplo, abrangendo outros campos além do didático. O enfoque CTS pode ser apenas um conjunto metodológico de elementos utilizados para planejar uma aula – presença de reportagens de grande impacto no cotidiano dos jovens, local nacional ou globalmente falando – com ênfase a presença local; desenvolvimento de argumentos relevantes para as discussões científico-tecnológicas; elaboração de estratégias para soluções de problemas da vizinhança e da comunidade, entre outros exemplos.

2.8 Contextualização & Interdisciplinaridade

Muitas vezes, se quer começar um assunto importante e relevante nas aulas de Física e não se sabe por onde. Pois bem, Marco Antônio Moreira proferiu em seu excelente seminário durante o II EREC (2018) – Encontro Regional de Ensino de Ciências, quando questionado a respeito disso: “Contextualização. Partam do cotidiano dos estudantes”. Talvez uma das maiores unanimidades da literatura atual seja a de começar pela contextualização. Literatura clássica, Freire, documentos governamentais, PCN, Moreira, concordam que se deva começar por pontos do tema que melhor se possam relacionar diretamente com o cotidiano dos estudantes; o que melhor possa servir no mínimo para contribuir com sua preparação em termos de argumentação para discussões do campo

32 Questionário.

33 AULER, D. Enfoque ciência-tecnologia-sociedade: pressupostos para o contexto brasileiro. Revista Ciência & Ensino, vol. 1, número especial.

34 VON LINSINGEN, I. Perspectiva educacional CTS: aspectos de um campo em consolidação na América Latina. Ciência & Ensino, 1(especial), 2007.

35 https://congresos.adeituv.es/cts2020/paginas/pagina_547_1.xx.html. Acesso em 20 de nov. de 2021 às 12h23.

36 SANTOS, W. L. P. (2011). Significados da educação científica com enfoque CTS. In SANTOS, W. L. P. & AULER, D. (Org.). CTS e educação científica: desafios, tendências e resultados de pesquisa (pp. 21-47). Brasília, DF: Editora Universidade de Brasília.

científico-tecnológico e as tomadas de decisões sobre esse tema, como plebiscitos por exemplo; e em caso de vulnerabilidade socioeconômica e injustiça ambiental, contribuir com a sua superação.

Quando Freire escreve sua *Redução Temática*, apresenta a importância de conceitos como a contextualização e a “corporeificação das palavras pelo exemplo”³⁷, que mostra como é importante que a física escolar seja também de desenvolvimento do concreto, e não só da abstração matemática e do raciocínio lógico. Esses elementos foram depois utilizados por Delizoicov em seus *Três Momentos Pedagógicos*, também por Moreira em sua *Aprendizagem Significativa Crítica* e ainda pela legislação brasileira no que diz respeito a educação, compondo os PCN.

O primeiro passo da redução temática e primeiro momento pedagógico é justamente a investigação desses problemas. Na redução é feito um estudo na comunidade onde ocorre a prática pedagógica; nos três momentos os estudantes são questionados sobre sua realidade com a mesma finalidade. Por isso quando se fala em contextualização, não se pode ser apenas um elemento *presente* no cotidiano do estudante. Tem que ser significativo; significar melhorar de vida; mexer com as emoções do estudante, com o ponto de vista afetivo (mais tarde na discussão sobre o lúdico revemos como a emoção se insere melhor), intelectual e social do estudante. É o que defende a contextualização pautada em Freire e nas suas pedagogias, da Autonomia e do Oprimido.

Já a interdisciplinaridade seria um passo além, entendendo o problema/tema/assunto como inteiro e solúvel apenas com mais perspectivas daquela – seja ela natural ou humana. Esse conceito retorna na BNCC, maior documento legal da Educação brasileira na atualidade em complementaridade à LDB.

2.9 O lúdico

Uma pesquisa realizada nos dois principais periódicos de Ensino de Física do Brasil, *Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF)* e *Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF)*, em busca daqueles que tratassem da inserção de Física Quântica no Ensino Médio, entre 2005 e 2016, apontou que grande parte dos pesquisadores-professores apostavam no Lúdico³⁸. O livro *Alice no País do Quantum*, obra literária do gênero da ficção, chegou a ser usado³⁹, figuras folclóricas como fantasmas⁴⁰ exploradas, entre outros, para associar a questão afetiva ao significado do conceito, assim facilitando o processo de aprendizagem.

Quando se fala em inserir jogos no contexto didático é da mesma instância (afetiva) que se discute. Há um termo usado nesse campo, o *flow*, que indica quando os jogadores, ou estudantes, entram em um estado de concentração no jogo (ou atividade) que realizam a ponto de perderem inclusive a noção do tempo⁴¹. Este estado se encontra em uma linha tênue, um ponto crítico, entre dois níveis de dificuldade, fácil demais para não oferecer desafio (que também se provou necessário para o interesse dos estudantes), ou difícil demais para que o estudante se sinta capaz de avançar no jogo (ou no estudo), ficando desmotivado e desinteressado em continuar. Um ponto chave é então que a atividade seja desafiante mas viável, e assim se torne *divertida* a ponto de atingir esse *flow* – esse estado de imersão ou concentração máxima disponível para o estudante.

37 FREIRE, Paulo. *Pedagogia da Autonomia*. SP: Paz e Terra, 1996. p. 19.

38 BACKES DE OLIVEIRA *et. al.* *Anais do II EREC*. Porto Alegre: UFRGS, 2018. p. 133.

39 DE SOUZA, Aguinaldo Robinson; DOS SANTOS NEVES, Laura Aparecida. O livro paradidático no ensino de Física: uma análise fabular, científica e metafórica da obra *Alice no País do Quantum*: A Física Quântica ao alcance de todos. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 33, n. 3, p. 1145-1160, 2016.

40 AMARAL, Gabriela M. *et al.* “Fantasmas” na Mecânica Quântica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 38, 2016.

41 BODÊ, Tiago. *Games científicos: bases epistemológicas e princípios de design didático*. 2017. Dissertação (Mestrado em Educação) - Faculdade de Educação, University of São Paulo, São Paulo, 2017. doi:10.11606/D.48.2018.tde-20032018-151424. Acesso em: 2021-11-20. p. 45.

2.10 O ENEM

O Exame Nacional do Ensino Médio – ENEM, surgiu historicamente como um instrumento de avaliação unificado do ensino praticado nacionalmente, pelos diferentes estados, quanto ao nível de que faz referência. Foi a partir das políticas públicas para a educação das duas últimas décadas; como o SISU– Sistema de Seleção Unificada, o PROUNI – Programa Universidade para Todos, o REUNI – Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais, e o PNAES⁴² – Plano Nacional de Assistência Estudantil; que o novo ENEM, realizado nos anos subsequentes a 2009, com esse incluso, ganhou destaque e relevância, tendo crescente índice de inscritos nos anos seguintes – chegando a duplicar ao longo dos 10 anos de 2009-2018, em relação ao número de inscritos dos 10 anos anteriores⁴³. Infelizmente atualmente regredimos esse índice, atingindo esse ano o menor número de inscritos desde 2005, 3,1 milhões⁴⁴, e ano passado (2020) a maior taxa de abstenção das duas décadas de história do ENEM, 51,5%⁴⁵.

O ENEM foi elaborado na matriz dos PCN, que era o documento que regulamentava sua confecção já desde o começo do Novo ENEM. Assim eram muito presentes os enfoques da contextualização e interdisciplinaridade, desde o começo da prova que é segmentada por áreas. Também são vistos enfoque CTS e Física, Moderna e Contemporânea⁴⁶, como era estimulado que fosse conforme os documentos oficiais. Com a gradual mudança ainda foram encontrados exemplos da ênfase nos enfoques supracitados, como constado pela pesquisa das provas dos anos de 2015 a 2020 que deu origem ao instrumento de avaliação deste trabalho.

42 Descrições disponíveis em <https://www.gov.br/mec/pt-br/aceso-a-informacao/institucional/secretarias/secretaria-de-educacao-superior/programas-e-aco-es-sesu>. Acesso em 10 de ago. de 2021 às 21h30.

43 <http://portal.inep.gov.br/enem/historico>. Acesso em 10 de ago. de 2021 às 21h30.

44 <https://g1.globo.com/educacao/noticia/2021/08/02/enem-o-que-explica-menor-numero-de-inscritos-na-prova-em-mais-de-uma-decada.ghtml>. Acesso em 10 de ago. de 2021 às 21h39.

45 <https://guiadoestudante.abril.com.br/enem/enem-2020-primeiro-dia-a-maior-taxa-de-abstencao-da-historia/> Acesso em 10 de ago 2021 às 21h34.

46 Como será visto nas questões do ENEM a serem trabalhadas no produto educacional associado a essa dissertação que serão elencadas em seções posteriores do texto.

3.1 O estudo

O tema escolhido para ser tratado pelo produto educacional e durante as aulas justifica-se na sua importância atual, para, por exemplo, o desenvolvimento de todos os sistemas de comunicação, que são a base de todos os sistemas financeiros e econômicos do mundo – é isso que pode ser afetado quando se fala em falta de chips, além do setor automotivo e de tantos outros. No nosso cotidiano enxergamos o resultado da pesquisa em semicondutores que vem sendo desenvolvida fortemente há no mínimo cerca de 70 anos desde o transistor de Bardeen, Shockley e Brattain, que ganharam o nobel de 1956⁴⁷.

Com as considerações anteriores apresentadas, é interessante também destacar a associabilidade do tema dos semicondutores, integrante da chamada Física Moderna e Contemporânea, aos temas clássicos já tradicionais do eletromagnetismo do 3º ano do Ensino Médio; tais quais às propriedades elétricas dos materiais, a condução elétrica e os circuitos, já discutidos no primeiro capítulo. Os conceitos da teoria de bandas e do *gap* poderiam ser trabalhados em uma aula com a metodologia de seminário, por exemplo. A dopagem e o elemento Silício por si poderiam ser trabalhados em aulas interdisciplinares. O efeito Hall, por ser um tema de um grau um pouco maior de complexidade, poderia ser trabalhado com aqueles estudantes que demonstrassem maior interesse no assunto, como atividade extraclasse. Outro relevante aspecto, mais ainda considerando que estudantes desse nível são concluintes do Ensino Médio, é a grande presença do eletromagnetismo nas provas do ENEM, e até de algo dos semicondutores especificamente como pode ser visto na avaliação (Apêndice I), que hoje são a etapa de acesso à maioria das Universidades do país, públicas e até particulares; como foi encontrado na consulta às provas dos últimos 5 anos, que deu origem a avaliação da aplicação do produto educacional sobre o qual se construiu este trabalho.

Quanto à didática, os elementos das pedagogias freirianas aparecem na tentativa de trazer um conteúdo relacionado ao cotidiano dos estudantes, por ser um tema tecnológico, sem esquecer de fazer uma correlação com algum tema que estrutura esse dia a dia do panorama social, a mineração e a imagem da escola ocupada, por exemplos, nesse caso. Da autonomia, no conceito freiriano, mantém-se também a rigorosidade metódica, que deve ser aplicada ao professor quando este trabalha com os conceitos científicos e conteúdos históricos – a informação não pode estar errada; havendo erros devem ser metodicamente corrigidos. Deve-se ainda, de acordo com essa perspectiva encontrar o limite entre rigorosidade e falta de amorosidade, que também deve ser estimulada; para isso, a definição estaria em não tratar estudantes com nenhuma desproporcionalidade e rispidez desnecessária, seja em alguma punição, ou alguma correção; toda concepção incorreta por parte do estudante deve ser tratada como uma obra incompleta, não desprovida de valor, mas que precisa de retoques e ajustes, e o estudante deve ser capaz de construir esse aprendizado através da interação com os conteúdos, com a mediação do professor.

Para praticar a transposição didática, o professor deve ter um tempo dedicado ao estudo do conteúdo na linguagem científica, e para o trabalho de tradução ou conversão para a linguagem pedagógica; o que envolve o processo complexo de simplificação já citado no capítulo I – onde cada simplificação deve ter um significado – e a introdução de elementos de cunho didático, como alguma TIC (Tecnologia da Informação e Comunicação), seja imagem, áudio, vídeo, simulador ou rede, ou correlações históricas, filosóficas, contextuais e/ou interdisciplinares. Esse processo envolve a integração do professor com a comunidade escolar, a comunidade social da vizinhança em que a escola está inserida e a administração pública/legislação. Isso tudo pois o conteúdo deve

47 Perfil no site do nobel – <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1956/summary/>. Acesso em 15 de agosto de 2021 às 23:15h.

inserir-se nos conteúdos programáticos da escola, no que depende de sua autonomia e no que é ordenado pelas instâncias superiores de gestão, bem como no que é ético para a sociedade e comunidade em que se instalou a escola, buscando atender solicitações razoáveis e as suas necessidades humanitárias, sociais, comunitárias e cidadãs. Ainda, e principalmente, servir para a formação cognitiva e humana do estudante.

3.2 A revisão bibliográfica e o roteiro

Feitas as considerações a respeito dos princípios físicos que se objetivou serem trabalhados, conteúdos da Física Moderna e Contemporânea, através dos semicondutores, a partir do eletromagnetismo e fazendo considerações, além da Física, mas das questões das ciências dos materiais envolvidas, abordando os conceitos clássicos de resistência, corrente elétrica e diferença de potencial, e os quânticos experimentais de dopagem, efeito fotoelétrico e transição iônica. Ainda levando em análise as condições e os pressupostos metodológicos didáticos, da pedagogia da autonomia, da transposição didática e do interacionismo, envolto no movimento CTS e permeado pelo lúdico, encontra-se a intenção deste trabalho.

Tal dinâmica ganha sustentação na revisão bibliográfica sobre os temas, inserção de Física Moderna e Contemporânea, ou a Física Quântica mais especificamente, no Ensino Médio. A pesquisa que trouxe o lúdico ao corpo deste trabalho, citada na seção 9 do capítulo anterior, apontou que além do lúdico, as outras formas mais utilizadas para a expressão da Física Quântica no Ensino Médio são, dos artigos enquadrados na categoria contextualização (12), em ordem de frequência: lúdico (6), divulgação científica (3) e CTS (3), sendo dois utilizando ainda o subtema dos semicondutores, como na atual discussão.

Na subcategoria do lúdico, além dos apontamento à literatura, já feitos, há que se destacar a utilização de recursos audiovisuais por parte de Freitas & Oliveira (2015)⁴⁸, que produziram uma série de quatro vídeos de bastante qualidade sobre os semicondutores. A principal diferença deste para aquele trabalho é a estrutura dos vídeos. Enquanto que na presente proposta, o vídeo é um ponto de partida, um elemento estimulador do estudo, e para tanto busca a “diversão” além da informação, e, talvez, em primazia, sempre em de acordo com a rigorosidade metódica freiriana essencial para o professor/cientista, mas respeitando e se aproveitando dos recursos do formato audiovisual para as mídias sociais.

Outra porcentagem significativa de trabalhos tem em comum o início do seu trabalho a partir de eventos de divulgação científica, sobre o CERN. Mostrando uma opção, envolvendo cadastros e oportunidades possíveis para os professores da rede, mas envolvendo algum tipo de seleção. Trabalhar sobre o material produzido por esses pesquisadores indiretamente é uma opção para avanços nesse sentido.

Na categoria CTS foram enquadrados os trabalhos em que a discussão de temas da Ciência e Tecnologia por parte da Sociedade entram em voga no escopo do trabalho. Sendo a abordagem construída a partir dessa perspectiva, de como a Ciência e Tecnologia são importantes para a sociedade.

Os artigos que falavam especificamente sobre semicondutores foram o já citado artigo de Freitas & Oliveira (2015), com os vídeos, e outro de Carmona⁴⁹ que trabalhava a Física Quântica através das ligações formadas pelos átomos semicondutores e suas relações subjetivas.

48 FREITAS, Frederico Campos; OLIVEIRA, Adilson Jesus Aparecido de. O uso de vídeos curtos para ensinar tópicos de semicondutores. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 37, p. 3502-1-3502-7, 2015.

49 GARCÍA CARMONA, Antonio. Construcción de significados de física de semiconductores en educación secundaria: fundamentos y resultados de una investigación. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 28, p. 507-519, 2006.

A produção do roteiro tomou então o Lúdico como protagonista, buscando conexões afetivas para o tema. Já o cenário por onde conduziu-se a conversa contou com influências do movimento CTS e da divulgação científica.

3.3 A gravação (relato de experiência)

Aqui talvez comece a parte do trabalho que teve que ser significativamente alterada em decorrência do acontecimento histórico do momento – a pandemia. Assim que da opção pela utilização do recurso audiovisual, vários setores da FURG foram contatados. Conversei com o professor Valmir Heckler, secretário da Secretária da Educação a distância – SEaD, da FURG, que prontamente disponibilizou uma câmera. Conversei com um técnico do prédio da música, que ofereceu microfone, sala acústica e consultoria técnica para edição do áudio. E ainda havia conversado com um diretor de teatro, Luciano Ribeiro, da cidade do Rio Grande – que havia me dirigido na minha última peça em 2013 – que se disponibilizou a gravar e fazer a edição do vídeo. A mim caberia o roteiro, a apresentação e a finalização.

No primeiro semestre pós esses combinados, que seria meu terceiro semestre de mestrado, e havia sido planejado a gravação pelo cronograma, tem início esse evento raro. Depois de 6 meses com as atividades paradas para replanejamento, o mestrado volta e o produto e sua aplicação precisam ser repensados. O estudo já havia sido feito e o roteiro escrito, restava resolver a estrutura da gravação e edição. E depois pensar em uma aplicação a princípio exclusivamente remota.

Nesse meio tempo surgiu em minha casa, que à época eu dividia com a mãe de minha filha, um projeto de escola itinerante, escrito por ela Bea Terra, que o divulgou nas redes. Outro professor de física, nosso amigo Nerval Neto, que havia se formado na UFRGS, dava aula no estado por contrato e buscava um mestrado na universidade mátria, estava com um projeto de produtora audiovisual em divulgação científica, Einstein Pelado Produções, e quis associar os projetos. Conversando com ele a respeito dessa produção audiovisual e da minha ideia pro meu produto educacional, surgiu a parceria. Fui em sua casa, onde havia um quarto estruturado como estúdio amador, um computador com duas telas, uma câmera *go pro*, um microfone adaptado e uma parede pintada em *chroma key* azul.

Acertamos mais alguns detalhes da ideia e gravamos um teste. Três horas depois entre gravação e pré-edição tínhamos uma amostra que me convenceu. Combinamos de nos reunir de novo dali um mês para a gravação da videoaula do produto educacional, nesse tempo eu ensaiaria e ele prepararia melhor a estrutura.

No dia da gravação fizemos 4 tomadas completas entre outras que eram canceladas logo no início. A gravação das 4 foi toda corrida, pois na câmera dava mais trabalho finalizar o vídeo, deixar ele dar uma pré-renderizada para poder mexer na câmera de novo e gravar o próximo do que cortar no *software* depois.



Figura 5: Gravação teste com objeto aleatório

3.4 A edição

Pós gravação, era necessário que se fosse feita uma longa edição. Como não mais contava com meu amigo diretor, meu amigo professor de física, da produtora Einstein Pelado, fez a pré-edição no *software* Sony Vegas®, ou seja, os cortes grossos (elementos que nitidamente não seriam mantidos na versão final, como fala que foram regravadas, intervalos longos entre falas e falas de marcação de cena) e a criação do cenário, no *software* Adobe After Effects®, o recorte do *chromakey*, o fundo e objeto (quadro onde seriam inseridas as imagens). Após essa pré-edição, coube a mim a inserção de cada uma das 42 imagens utilizadas no quadro, no *software* Adobe After Effects®, com seus dimensionamentos de posição, tamanho, intervalo de duração e o período de exibição específicos. E mais cortes finos, para melhorar a fluência do vídeo. Após isso, foram feitas legendas específicas para dois momentos do vídeo. Como não tinha computador para tal, consegui um emprestado com o Laboratório de Supercondutividade, Magnetismo e Materiais Avançados, do IMEF, da FURG, do qual pertenço à equipe.

Até essa etapa, o vídeo estava dividido em 6 cenas que o compunham. Nelas foi feita uma primeira edição fazendo uma colocação inicial das imagens e renderizando para acompanhar o resultado, pois na pré-visualização do editor a posição e tamanho exatos eram de difícil averiguação, já que a exibição se dá com pouca resolução e dimensão, e demora a carregar após a edição de cada um dos parâmetros citados (posição, tamanho, intervalo e período). Esse problema talvez fosse amplificado pela configuração do computador, que contava com 8 GB de ram, placa de vídeo *on board* e unidades de disco de hd com 200 GB, sendo que só constavam 10 GB livre. Para aprimorar esse processo foi obtido mais um pente de ram de 4 GB, feita uma limpeza nos arquivos do pc liberando mais memória e formatado outra unidade do pc que contava com 300 GB mas estava corrompida; a parte da memória foi importante, pois cada vídeo renderizado no After saía com 15 GB (cada cena de cerca de 1min30s).



Figura 6: Arte da capa da videoaula, por Anael Macedo.

A edição de cada cena, entre carregar o vídeo inteiro no *software*, inserir cada imagem, alterar cada parâmetro, esperar carregar a pré-visualização para conferir previamente o pré-resultado e depois renderizar levava cerca de 9 horas (3 horas de renderização, que precisava ser acompanhada pois exibia notificações que precisavam de interação para o prosseguimento e 6 horas de edição direta). Após isso, para conferir o resultado de fato, era necessário upar o vídeo no Youtube, pois nenhum *player* do pc rodava um vídeo de 15 GB. O *upload* demorava cerca de 3 horas, e as cenas consumiam meu pacote inteiro de dados de internet do mês. Um dos motivos para cada edição ter que esperar um mês – no total foram 4.

Na segunda edição, o tempo caiu para metade da primeira, pois as imagens já estavam inseridas, só precisavam de um ajuste fino nos parâmetros, sendo 6 horas para cada cena. A terceira edição foi para encaixe das cenas, levando 6 horas para o vídeo inteiro. A quarta, cortes finos e legenda, mais 6 horas (duração aproximada de um turno quase completo trabalhado em cima do vídeo). De modo que edição total levou cerca de 120 horas, divididas em 6 meses de trabalho.

3.5 A sequência de atividades

– A lista:

Como primeira atividade, foi solicitado aos estudantes que elaborassem uma lista com 5 palavras (conceitos) que escutaram no vídeo e que acreditavam estar diretamente ligadas a um conceito físico.

Após isso foi ministrada a primeira aula, que versou sobre os conceitos clássicos associados aos semicondutores. Eletricidade básica, as propriedades elétricas dos materiais, a lei de Ohm e a equação da resistência. No fim, como as propriedades da resistividade dos semicondutores são peculiares e as consequências tecnológicas desse comportamento atípico.

A segunda aula então falou sobre os conceitos quânticos relacionados aos semicondutores. Como os leds exibem uma transição eletrônica e o efeito fotoelétrico usado para tirar fotos em câmeras digitais feitas a partir de material semiconductor. Circuitos que usam as peculiaridades da resistividade do semiconductor foram descritos (carregador e ponte retificadora). Também foi descrito o funcionamento de um termistor, associando com o gráfico da temperatura pela corrente no semiconductor (Figura 7.b), diferenciando com o comportamento do metal (Figura 7.a).

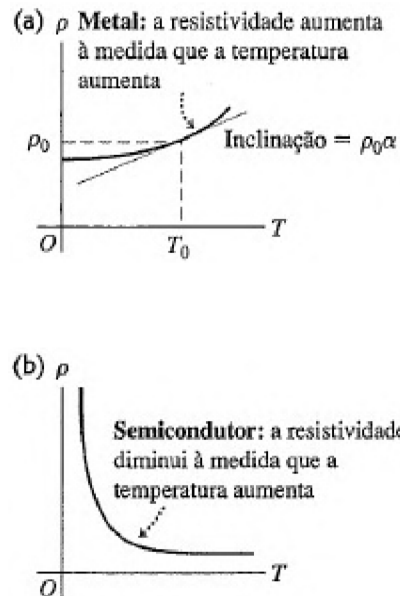


Figura 7: Temperatura versus corrente (a) no metal; e (b) no semiconductor. Fonte: Young & Freedman, 2010.

Também esse comportamento específico do semiconductor foi associado ao processamento na cpu de um computador.

– O formulário

Um formulário (Figura 8) para testar os conhecimentos assimilados pelos estudantes. Composto de uma questão do vestibular da UFRGS (sobre transição eletrônica), duas questões do ENEM (gráficos com a equação da resistência) e duas questões de elaboração própria (uma de interpretação de um texto de uma matéria da revista de divulgação científica Super Interessante e outra de interpretação de desenho técnico).

– O post

Como elemento lúdico final e de fechamento da sequência, foi proposto a elaboração de uma foto ou videodescrição de uma situação do cotidiano do estudante que envolvia as palavras de sua lista inicial e os conteúdos estudados durante a sequência. A sugestão foi o formato do tipo de uma postagem em uma rede social.

The image shows a web browser window with a form titled "Semicondutores". The browser's address bar shows "Semicondutores" and a star icon. The page has a navigation bar with "Perguntas" and "Respostas 142" tabs, and a "Total de pontos: 10" indicator. The form itself has a purple header with the title "Semicondutores" and a subtitle "Perguntas sobre a sequência de aulas dos semicondutores". It contains three main sections: 1. "E-mail*" with a text input field and a note "Este formulário está coletando e-mails. [Alterar configurações](#)". 2. "Turma*" with a text input field and a note "Texto de resposta curta". 3. "UFRGS" with a question: "23. Um átomo instável perde energia emitindo alguma forma de radiação. Quando a perda de energia ocorre devido a transições na eletrosfera do átomo, pode acontecer a emissão de". To the right of the form is a vertical toolbar with icons for adding, deleting, and other actions.

Figura 8: Formulário sobre os semicondutores.

3.6 A avaliação

A primeira questão do formulário de avaliação (Figura 9) era do vestibular da UFRGS, questão 23, do caderno vermelho de 2019 – Física. Para responder a questão, o estudante deve ter assimilado parte do conceito da transição eletrônica, que diz respeito a consequência visível de tal fenômeno (emissão de luz). Esse aprendizado foi oportunizado ao estudante, quando do estudo da física quântica dos semicondutores, vimos o fenômeno por trás do funcionamento do led.

-
- 23.** Um átomo instável perde energia emitindo alguma forma de radiação. Quando a perda de energia ocorre devido a transições na eletrosfera do átomo, pode acontecer a emissão de
- (A) pósitrons.
 - (B) luz visível.
 - (C) partículas alfa.
 - (D) radiação beta.
 - (E) radiação gama.
-

Figura 9: Primeira questão do formulário. Fonte: UFRGS-CV/2019-FIS.

A segunda questão foi do ENEM, questão 118, 2018, caderno amarelo (Figura 10). Para responder corretamente essa questão, era necessário a operacionalização com gráficos, ou seja, o estudante deveria estar instrumentalizado com esse recurso, apresentando domínio conceitual ao

nível de construir um gráfico a partir de uma equação. Antes disso, ainda era necessário operacionalizar com a equação da resistência.

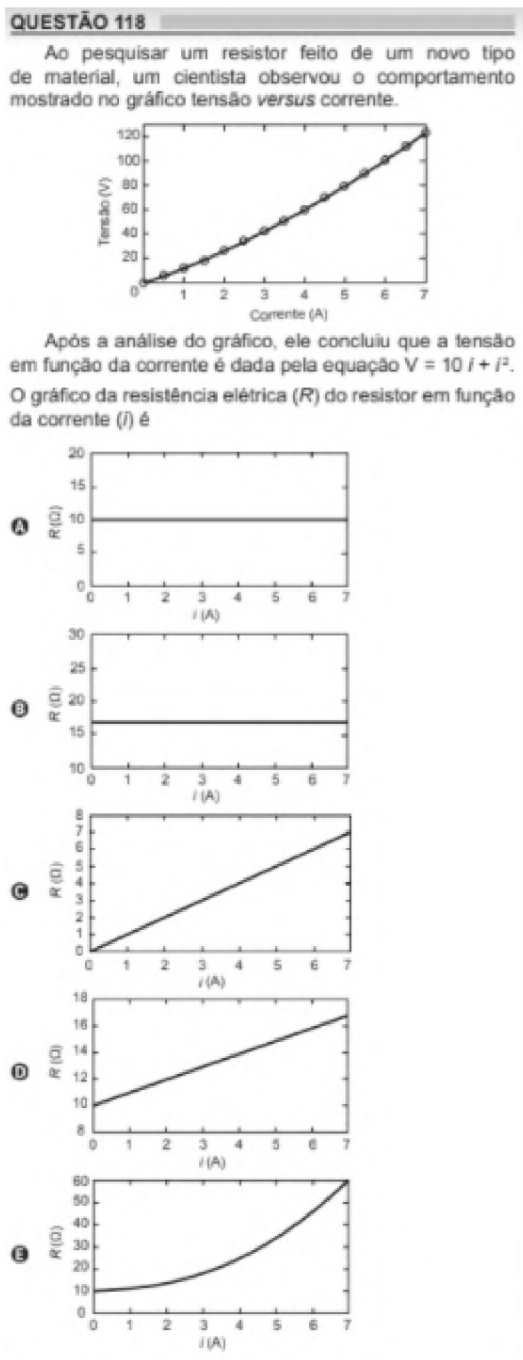


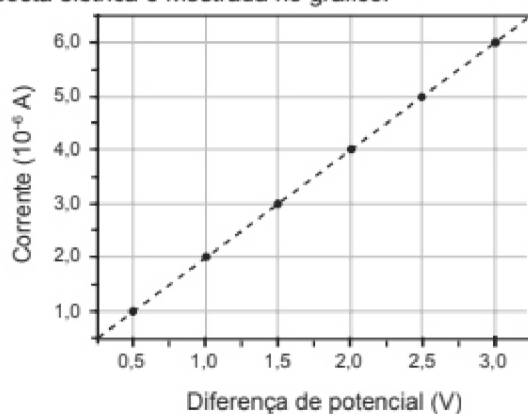
Figura 10: Questão 2 do formulário.
Fonte: ENEM, caderno amarelo, 2018.

A terceira questão (Figura 11) também era do ENEM, de número 108, do ano de 2017, caderno rosa. Também envolvendo gráfico, no entanto, agora o importante era sua leitura e interpretação, obtendo valores do eixo x, a tensão, e sua correspondência no y, a corrente. Após isso,

o cálculo da resistência através de sua equação. Conteúdo apresentado já no vídeo introdutório e trabalhado na primeira aula.

QUESTÃO 108

Dispositivos eletrônicos que utilizam materiais de baixo custo, como polímeros semicondutores, têm sido desenvolvidos para monitorar a concentração de amônia (gás tóxico e incolor) em granjas avícolas. A polianilina é um polímero semicondutor que tem o valor de sua resistência elétrica nominal quadruplicado quando exposta a altas concentrações de amônia. Na ausência de amônia, a polianilina se comporta como um resistor ôhmico e a sua resposta elétrica é mostrada no gráfico.



O valor da resistência elétrica da polianilina na presença de altas concentrações de amônia, em ohm, é igual a

- A** $0,5 \times 10^0$.
- B** $2,0 \times 10^0$.
- C** $2,5 \times 10^5$.
- D** $5,0 \times 10^5$.
- E** $2,0 \times 10^6$.

Figura 11: Questão 3 do formulário. Fonte: ENEM, caderno rosa, 2017.

A quarta questão (Figura 12) então, foi produzida para requerer a interpretação correta de um texto de divulgação científica, da revista Superinteressante, de outubro de 2020. A matéria de onde o texto foi recortado versava sobre Física Moderna e Contemporânea, e o trecho era sobre o efeito fotoelétrico. Para acertar a questão o estudante deveria interpretar o conceito do efeito fotoelétrico a partir do texto, conceito também trabalhado na aula da física quântica dos semicondutores, e entender dentre as opções de resposta que classe de materiais elétricos (metais, condutores) apresentam esse efeito, segundo o texto, e reconhecer exemplos desta categoria (no caso, o único par de elementos metálicos mostrado nas opções).

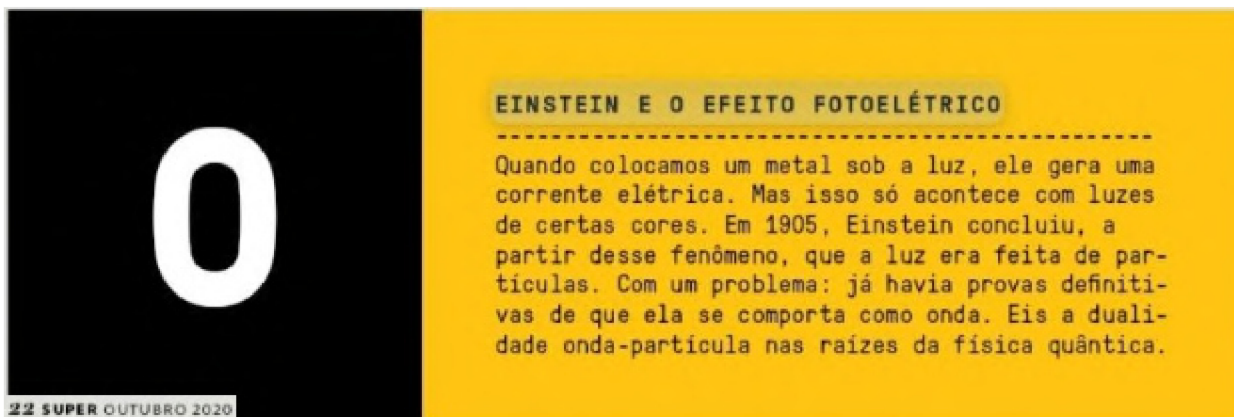


Figura 12: Trecho de texto da quarta questão. Fonte: Revista Superinteressante, out. de 2020.

A quinta e última questão (Figura 13), é de elaboração inteiramente própria. A interpretação de um desenho técnico, onde aparece um circuito que acenderia um led, mas pela questão, o led não acende. A interpretação do desenho deverá levar o estudante a reconhecer que o componente semicondutor, no caso o led, está ligado de maneira inversa a que seria de seu funcionamento, já que um led possui polaridade, ou seja, um sentido em que a corrente transita e um sentido onde ela não ocorre – explicado pelo tipo de junção pn da qual é composto o led. O tema de circuitos foi trabalhado nas duas aulas e as propriedades dos semicondutores e funcionamento do led também.

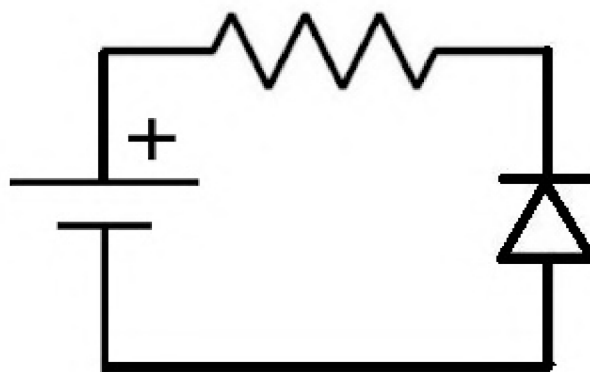


Figura 13: Imagem da quinta questão. Circuito composto por fonte de tensão, resistor e led ligado de forma invertida. Componentes descritos da esquerda para a direita.

4.1 Preparação

Então era chegada a hora da aplicação de tudo que tinha sido produzido, canal no Youtube, videoaula e sequência didática. A preparação para esse momento começou muito antes das aulas. Além de todo o estudo e projeção metodológica, o ambiente e a turma no qual seria aplicado o produto não estava bem definido. Ao entrar no mestrado (2019), o fiz como voluntário na Escola Estadual de Ensino Médio Lorea Pinto, do bairro COHAB IV, próximo à Furg, onde atuava desde o ano anterior, como membro do Grupo de Educação Química na Produção Curricular em Ciências da Natureza – GEQPC, que tinha parceria com a escola no desenvolvimento de situações de estudo⁵⁰, onde inclusive já havia trabalhado com Física Moderna e Contemporânea (FMC), na explicação do funcionamento dos televisores; portanto os estudantes e a escola já estavam familiarizados com a importância dessa inserção (de FMC no ensino médio). No entanto, os novos compromissos da vida de formado me fizeram não dar mais conta das atividades do grupo, tendo que sair dele, o que diminuiu meu contato com escola, onde também por falta de tempo não consegui mais frequentar, já que além de tudo a escola ficava bastante distante de minha casa – era mais próxima a Furg, onde estava indo apenas um dia na semana, que era o dia da aula do mestrado.

Assim, entrei em contato com uma escola do bairro onde eu morava em Rio Grande, que por ser mais próxima facilitaria a presença. Porém, essa aproximação se deu ao fim de 2019. E em março de 2020, com o advento da pandemia, o contato foi suspenso. Em agosto, quando as aulas no mestrado foram retomadas – não pude trabalhar no mestrado no período que ficou suspenso, porque estava sem bolsa e as aulas em um curso particular que dava como fonte de renda também foram suspensas, então que precisei trabalhar muito em áreas fora da minha (o que acabou ficando um dos poucos serviços em alta no contexto, o de entregas, sete meses de bicicleta e de motocicleta a partir daí até então) para sustentar a mim e a minha família – fui atrás de uma escola onde eu estava no momento; minha cidade natal, Novo Hamburgo. Não consegui, todas fechadas ainda. Conversei com esse meu amigo da produtora e ele disse que em Viamão estavam tendo aulas, ainda que remotas. Perguntei se poderia aplicar em uma turma dele e ele disse que sim.

A gravação do vídeo foi planejada em agosto mesmo, ao retorno das aulas, e executada em setembro e outubro. A edição foi de outubro de 2020 a abril de 2021. Maio e junho foi o planejamento das aulas. Só que aí teve um obstáculo, o professor-produtor não havia recebido turmas de terceiro ano esse ano. Poderia aplicar numa de primeiro ou segundo, mas encaixava melhor no terceiro. Fui atrás de um colega com quem me formei, que fiz meu primeiro estágio junto, na mesma escola e turma que dividimos, e com quem gravei minha primeira videoaula⁵¹, gravada no terceiro andar da Casa do Estudante Universitário I – CEU I, onde meu colega, hoje prof. Mateus Mota, morava – cabe ainda destacar que o vídeo foi produzido com a intenção de fornecer material de estudo para os estudantes da turma que fazíamos nosso estágio, cujos professores e os próprios estudantes estavam em greve, ocupando a escola. Como as aulas presenciais estavam suspensas, precisávamos de um método de sermos avaliados, e também queríamos atender a necessidade de material para estudo que os estudantes que ficaram sem aulas iam precisar, já que fariam o ENEM no fim do ano, esse foi um dos tópicos do vídeo inclusive – e essa foi a motivação do meu primeiro trabalho remoto. Do ex-colega, ele estava concursado em umas turmas e contratado em outras pelo estado de Minas Gerais – mas de forma remota. Ou seja, conseguiria dar aula daqui para uma turma de MG. E foi o que fiz. Na verdade, inicialmente foram

50 RITTER, J.; TAVARES, L.S, BACKES DE OLIVEIRA, P.G.; MALDANER, O.A. Situação de Estudo TELEVISÃO: *possíveis inserções de enfoque CTS/CTSA*. *Indagatio Didactica*, vol. 11 (2), agosto 2019.

51 <https://www.youtube.com/watch?v=xNFxoBOGOWM>

duas turmas. No entanto, uma das duas não quis participar do trabalho. Com a outra apliquei a sequência inteira como recuperação do primeiro trimestre.

Depois dessa aplicação, ainda reapliquei a sequência no curso popular pré-universitário Emancipa de Cachoeirinha, no qual ministrei aulas voluntariamente, online também. Por fim, tive a oportunidade de mais uma reaplicação, agora numa escola estadual do Rio Grande do Sul em que fui contratado, Escola Estadual de Ensino Médio Caic Madezatti. Nessa última, apliquei em 5 turmas.

4.2 As escolas

Descrição das escolas.

4.2.1 CAIC

Escola Estadual de Ensino Médio CAIC Madezatti, localizada na Av. Integração, 1009, Madezatti, São Leopoldo – RS. Oferta completa da educação básica, ensino fundamental, anos iniciais e finais, e ensino médio. Uma das escolas-piloto do Novo Ensino Médio do Rio Grande do Sul. Em 2019, eram 1253 estudantes matriculados segundo dados do Ideb⁵².

Interessante falar sobre o histórico dos Centros de Atenção Integral à Criança e ao adolescente – CAICs. Tal projeto nasce da evolução dos antigos Centros Integrados de Educação Pública, os CIEPs, implantados por Leonel Brizola enquanto governador dos estados do Rio Grande do Sul e mais tarde do Rio de Janeiro, durante a década de 80⁵³. A ideia inicial era fornecer atendimento integral às necessidades dos estudantes, que passariam o dia todo na escola, e teriam acesso, além do ensino, à cultura, teatro, música, dança; à saúde, atendimento médico e odontológico; e a nutrição no período em que passavam na escola.

As bases pedagógicas de ambos os projetos seguem os preceitos almejados por Darcy Ribeiro. A implementação nacional do projeto, iniciou na década de 90, ainda no governo de Fernando Collor, com o nome de CIAC – Centros Integrados de Apoio à Criança⁵⁴. Quando Itamar Franco assumiu, foi continuado, mas renomeado, ganhando a sigla atual; que ainda não abrangia os adolescentes, incluídos mais tarde, por isso da sigla não apresentar todas as iniciais do nome completo que representa.

4.2.2 EMANCIPA

O Emancipa é uma Escola comunitária, presente em diversas cidades do estado e do país, que oferta Educação para Jovens e Adultos, o EJA, e também pré-vestibular e pré-ENEM popular. Recebi as duas doses da vacina enquanto professor voluntário dessa instituição, do polo de Cachoeirinha. As aulas ofertadas são gratuitas, com professores das áreas. Há coordenação pedagógica em todos os polos, e são feitas atividades de integração em cada unidade, além das regionais e nacionais. Inúmeros jovens carentes conseguiram seu diploma de ensino médio e ingresso no ensino superior a partir dessa iniciativa.

52 <https://novo.qedu.org.br/escola/43174027-eeem-caic-madezatti>. Acesso em 27 de nov. de 2021 às 10h32.

53 MIGNOT, Ana Chrystina Venancio. Escolas na vitrine: centros integrados de educação pública (1983-1987). Estudos avançados, v. 15, p. 153-168, 2001.

54 Ibid.

4.2.3 JK

Escola Estadual Presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira, localizada em R. Cícero Rabelo De Vasconcelos, 410, Conj. Olimpia Bueno Franco, Betim – MG. Escola de ensino médio. Em 2019, eram 970 estudantes matriculados, segundo o Ideb⁵⁵.

Aqui fica uma curiosa conexão. O nome da escola remete àquele presidente, responsável pela construção de Brasília. Projetada pelo arquiteto Oscar Niemeyer, também responsável pelo projeto arquitetônico dos CAICs.

4.3 A condução

As aulas foram completamente diferente de todas que eu já havia ministrado. Na escola de Minas, foram completamente remotas, a primeira vez que trabalho com tantos estudantes nesse formato. No Emancipa também foi remoto, como já havia sendo; aliás foi nesse curso esse ano que tive minhas primeiras experiências no modelo; mas pela primeira vez usei um vídeo e um formulário *online* nesse caso.

4.3.1 A primeira aplicação: E. E. Juscelino Kubitschek de Oliveira, Betim, Minas Gerais

Na primeira aplicação, a primeira postagem na Sala de Aula do Google (Classroom) da turma foi uma apresentação do professor ministrando à turma e do trabalho que iria ser realizado. O trabalho entrou no trimestre como recuperação, já que notoriamente os estudantes participavam mais em atividades avaliativas, e uma atividade avaliativa regular ministrada por outro professor que não o regente da turma talvez não agradasse a todos. Após a postagem do vídeo e solicitação da primeira atividade (lista de conceitos) apenas um retorno no período regular. Cabe destacar que dos 35 estudantes da turma, apenas 8 entregaram as atividades avaliativas anteriores (do professor regente). Ainda que se tratava de uma turma do noturno. Para buscar mais ativamente os estudantes, foi lançado um vídeo com o seguinte conteúdo sendo dito por mim:

“Olá pessoal! Primeiramente gostaria de agradecer às novas visualizações do vídeo e novamente pedir que postem as listas, pois a avaliação de vocês e o meu mestrado dependem dessa participação.

Em segundo lugar, gostaria de convidá-los para uma aula integrada, que ocorrerá amanhã no horário das duas turmas, 305 e 310, das 6 e trinta as 8 e 10 da noite. Todos são bem-vindos mesmo que consigam apenas no horário de sua turma. Então venham fazer esse aulão comigo. Muito obrigado e até amanhã.” (11 de julho de 2021.)

Uma estudante compareceu a aula *online*, realizada no *meet*, no fim da aula. Tive tempo para ensaiar para essa aula e tudo ocorreu bem. Na segunda aula nenhuma presença síncrona. Meu vô havia ganhado um AVC no fim de semana anterior a aplicação. Na manhã do dia dessa aula, fui informado que ele estava prestes a “fazer a passagem”. Assim não consegui ensaiar a e a aula não ficou tão bem explorada. No entanto, houve 33 visualizações do vídeo nesse período, mais 2 postagens de listas e 8 respostas dos formulários (os 8 que entregaram outras atividades). Por conta da baixa entrega de listas, não foi realizado o trabalho com o “*post*”.

55 <https://novo.qedu.org.br/escola/31007901-ee-juscelino-kubitschek-de-oliveira>

4.3.2 A segunda aplicação: Emancipa Cachoeirinha

Na segunda aplicação, mandei a videoaula no grupo da turma no whats. Recebi uma lista antes da aula seguinte – uma semana de intervalo (são 8 estudantes, 2 que comparecem aos encontros *online* e os demais que estudam assincronamente). A aula seguinte foi com o vídeo da primeira aula com a escola de MG e conversa sobre as dúvidas no final. A seguinte aula da sequência foi ministrada com os slides da segunda aula de Minas, mas não o vídeo da própria aula como foi com a primeira, pela já citada qualidade comprometida dessa aula naquele primeiro momento. Então, realização do questionário. Duas resoluções. Também não foi realizado o trabalho com o “*post*”.

4.3.3 A terceira aplicação

A aplicação no Caic começou de forma completamente remota. Isso decorreu do fato de que, por não ter professor de Física na escola no primeiro semestre do ano, não havia períodos para essa matéria no quadro de horários das turmas. Portanto as minhas duas primeiras semanas, enquanto os horários eram adaptados, foram de aulas online, assíncronas. De modo que, os estudantes assistiram a videoaula do produto, tiveram as listas solicitadas e assistiram a aula a da sequência didática em suas casas. Apenas a partir da aula b é que a aula começou a ser também presencial (o retorno presencial não era opcional para os estudantes) - enquanto que as *meets* continuaram simultaneamente. O formulário foi solicitado que fosse realizado online também. O *post* foi postado e apresentado de forma híbrida. E as demais aulas, revisão e reforço também.

4.4 Resultados

Os primeiros resultados importantes dizem respeito a videoaula.

4.4.1 Videoaula

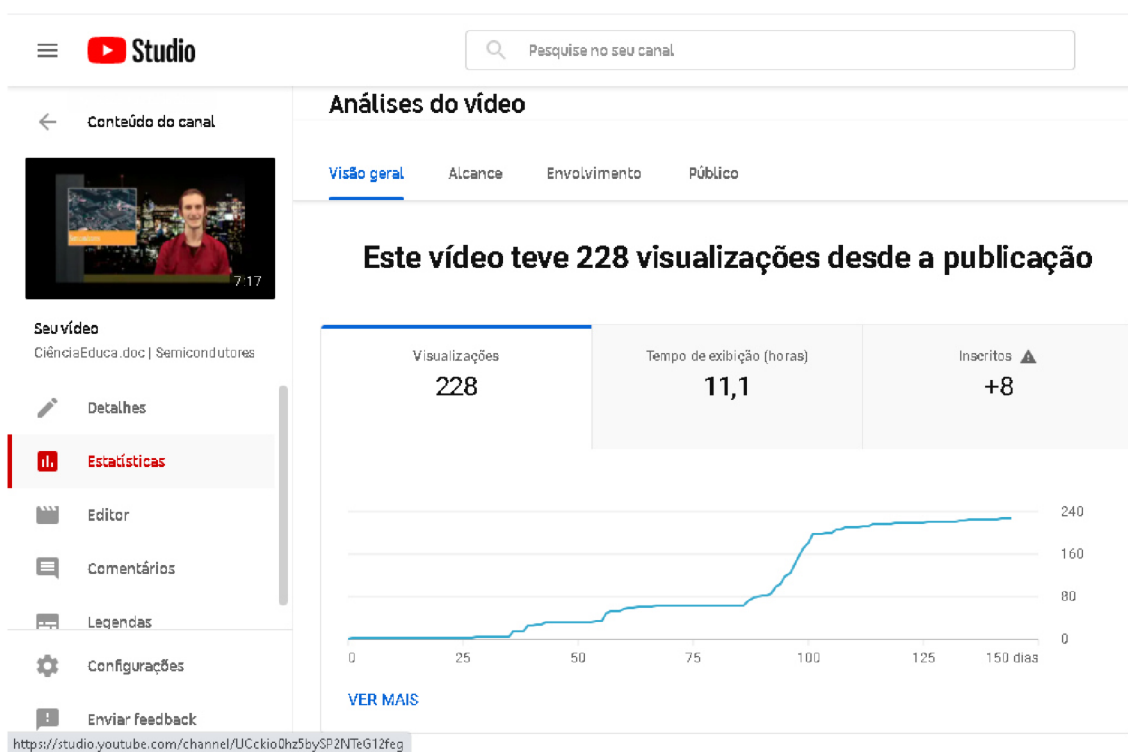


Figura 14: Visualizações da videoaula. O dia “0” é 11 de maio.

Foram 228 visualizações da videoaula (Figura 14). A primeira inclinação positiva da curva significativa ocorre entre os 25 e os 50 dias depois da postagem do vídeo, que condizem com a primeira aplicação, na escola de MG. A segunda inclinação ocorre depois entre os 50 e os 70 dias, e condizem a aplicação no Emancipa. A última inclinação, entre 75 e 100 dias, a aplicação no CAIC.

4.4.2 Listas

Sobre as listas recebidas, cabe destacar a grande presença de termos mais secundários usados no vídeo, como “temperatura” e “Silício”. Exibindo que os estudantes prestaram atenção a diversos elementos, e não só ao eixo central do vídeo. Entretanto, o termo de maior presença foi “condutividade”, o que mostra que os estudantes parecem ter entendido o foco central do texto.

4.4.3 Formulários

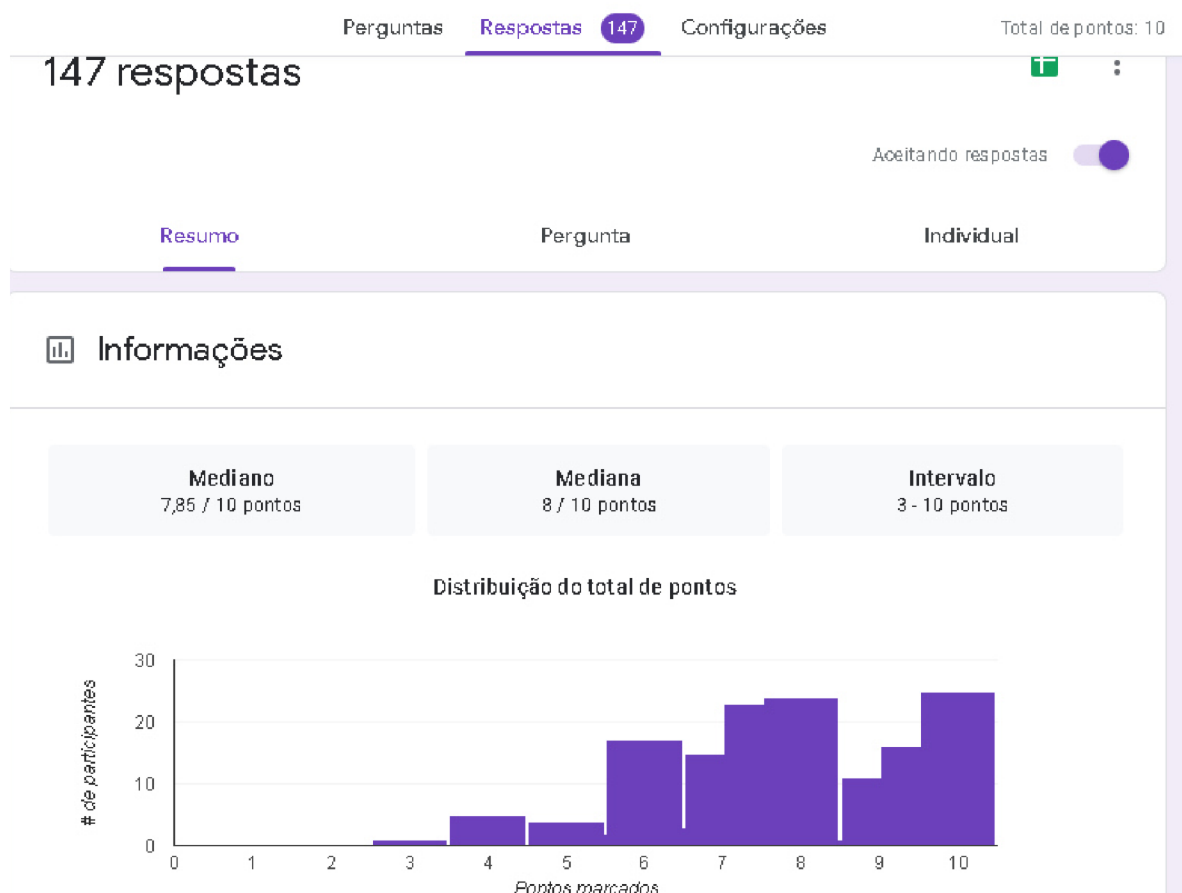


Figura 15: Respostas do formulário.

Já quanto aos formulários, foram 147 respostas (Figura 15), somando as três aplicações. A média de acertos foi de 7,85. A menor pontuação foi 3 (1 estudante). 25 estudantes tiraram a nota máxima. Apenas 10 dos 147 estudantes (6,8%) tiveram nota abaixo da média exigida para aprovação pela escola (Caic, nota 6).

4.4.3.1 Questão 1

A questão 1, extraída do vestibular da UFRGS do ano de 2019, com o tópico da transição eletrônica, foi a questão que obteve o maior índice de acertos (Figura 16), sendo 145 certas de 147 respostas (98,6%).

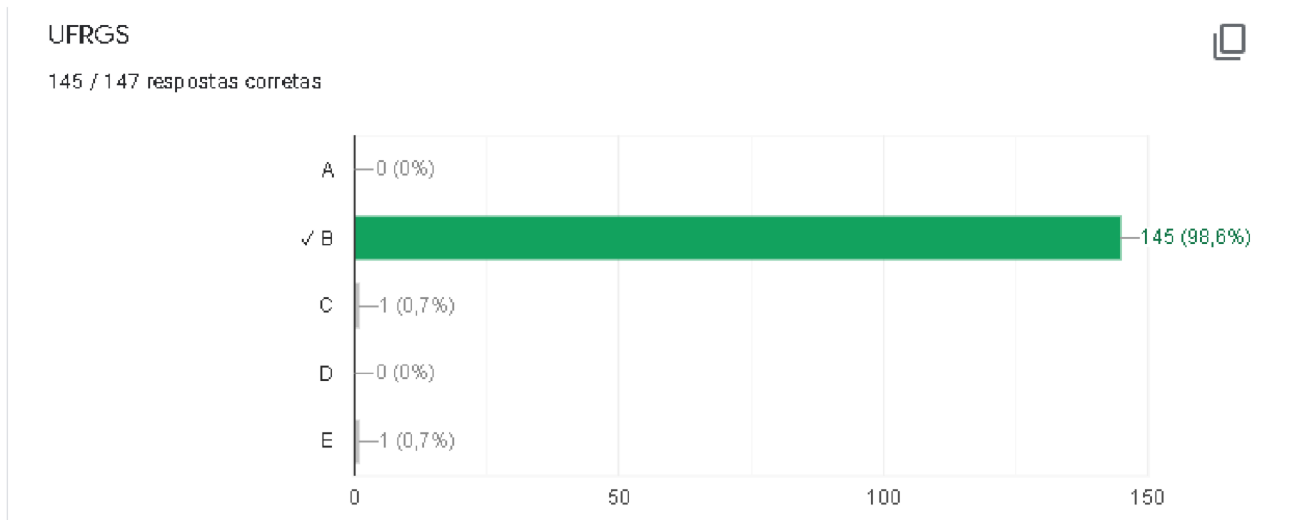


Figura 16: Índice de acertos da questão 1 do formulário do produto, extraída do vestibular da UFRGS de 2019.

4.4.3.2 Questão 3

A questão 3 do formulário, extraída do ENEM de 2017, foi a questão com o menor índice de acertos (Figura 17), sendo 83 respostas corretas das 147 (56,5%).

Enem II

83 / 147 respostas corretas

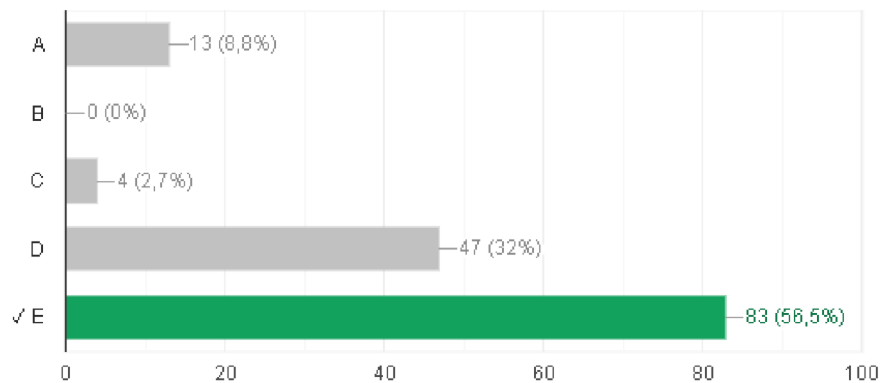


Figura 17: Índice de acertos da questão 3 do formulário do produto, ENEM 2017, gráfico da resistência elétrica.

4.4.3.3 Questão 2, 4 e 5

Entre as duas questões de múltipla escolha restantes, 2 e 4, a questão 2, outra questão do ENEM, essa do de 2018, com comparação de gráficos da resistência elétrica, obteve 93,9% de

acertos. A questão 4, autoral, teve 76,2% de acertos. A questão 5, dissertativa, foi avaliada utilizando os preceitos da Escala Likert⁵⁶.

4.5 O post

Essa etapa da sequência didática que se seguiu (disponibilização do vídeo, solicitação da lista, aula clássica, aula quântica, solicitação dos formulários, solicitação do post), merece destaque pelos retornos obtidos. Demonstrem mais do que operação direta, aplicação de conceito e equações dentro de situações-problema tradicionais; demonstra a criatividade através da criação do estudante, a sua subjetividade e assimilação do conteúdo através da demonstração da sua apropriação na produção textual.

4.5.1 Chuveiros

Dois *posts* bem desenvolvidos tiveram o mesmo tema, os chuveiros elétricos (Figuras 18). A descrição de como a resistência elétrica aquece a água foi bem feita nos dois casos. No caso exposto, a estudante produziu um *post*, para o qual não haviam exigências específicas. Poderia ser só o texto, ser só um desenho, ser um vídeo sem edição ou até mesmo um áudio. A ideia foi deixar bem livre mesmo, para que as exigências não deixassem algum estudante inibido de entregar seu trabalho, sendo que qualquer produção por parte dele, a partir do conteúdo trabalhado, já nos permite deduzir um pouco da forma do seu entendimento, sendo útil para a avaliação de seu aprendizado e ainda apontando o caminho para o seu próximo desenvolvimento. E a estudante, apenas com o exemplo dado pela produção do vídeo por parte do professor (produção de divulgação científica) e as aulas sobre o assunto, que foram todas as aulas da Física do eletromagnetismo que a estudante teve, já que antes estavam sem professor de Física (desde o início do ano), produziu esse *post*.

56 FREITAS, Frederico Campos; OLIVEIRA, Adilson Jesus Aparecido de. O uso de vídeos curtos para ensinar tópicos de semicondutores. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 37, p. 3502-1-3502-7, 2015. p. 4.



Figura 18: Um dos posts sobre chuveiro elétrico.

Quanto a “diagrama”: sim, o correto é diafragma, e, na hora da apresentação, a estudante utilizou em sua fala o termo correto, mostrando que se tratou apenas de um erro de digitação. Quanto ao final com os semicondutores, foi a conexão que ela tentou estabelecer entre os conceitos principais do texto que escreveu, com base nas palavras de sua lista inicial, partindo então da correlação termodinâmica. E na apresentação ela ainda utilizou um esquema mais completo da estrutura, e conseguiu explicar de forma bem nítida, ficando bem fácil a visualização do fenômeno. No entanto, essa apresentação ela não mandou. Fez dois trabalhos, o que não havia nem sido solicitado, ela poderia apenas apresentar o próprio *post*, mas quis fazer uma apresentação de slides, e aí o que enviou foi o *post* conforme inicialmente solicitado. Então o papel do professor ao fim da apresentação foi complementar com uma introdução a uma explicação mais microscópica do efeito Joule que ela descreveu, pois a explicação clássica que ela forneceu estava bastante adequada.

4.5.2 Fonte do notebook

Uma boa explicação foi feita sobre a fonte de um notebook:

“Normalmente chamado de carregador, a fonte do notebook tem duas funções: Carregar a bateria do próprio, e manter o notebook em alimentação contínua caso não haja bateria. Esta fonte

padrão de notebook tem tudo a ver com nossos conceitos agora estudados: A corrente elétrica que passa por ela, material condutor usado em sua composição para conduzir a eletricidade... e eu mesmo iria chutar que ela faz a transformação de uma voltagem para outra menor, que alimenta o notebook. Pesquisando, descobri que a verdade é que ela faz ainda mais que isso, ela transforma a corrente alternada recebida da tomada em corrente contínua para alimentar o notebook e seus componentes, o que também se relaciona com o vídeo recentemente trabalhado em aula. Com certeza na fonte há também um diodo semiconductor, da mesma forma que no carregador de celular, para garantir que a eletricidade siga apenas em uma direção: Para “dentro” do notebook.”

4.5.3 Computação

Um *post* bem trabalhado artisticamente envolveu computação (Figura 19). A explicação não foi longamente desenvolvida, mas cumpre com o objetivo do modelo de *post* escolhido (*tweet*), que é de uma plataforma cuja a ideia é exibir sínteses em suas postagens.



Figura 19: Post sobre computação.

4.5.4 Eletroimã

Um outro trabalho que merece destaque (Figura 20) envolve uma atividade experimental, confecção de um eletroímã. Também uma produção audiovisual, gravação de vídeo com experimento no formato do Tiktok®.



Figura 20: Captura de tela do vídeo do experimento do eletroímã.

4.6 Análises

A análise da aplicação do produto perpassa por cinco pontos considerados chave para o entendimento da significância didática do produto. Primeiro são as próprias transformações do produto entre suas aplicações (a incompletude pedagógica⁵⁷, ou inacabamento, que requer a formação continuada dos docentes e mais tempo de “planejamento” das aulas). Outros aprendizados das aplicações iniciais, as duas primeiras, culminaram no que seria a versão final (com apenas um ajuste – a criação do campo “turmas”) aplicada na última escola, o CAIC. A evolução da avaliação da questão 3 e o trabalho de recuperação. E por fim, a ajuda dos simuladores.

4.6.1 A evolução da sequência didática

Para a primeira e a segunda aplicação na Escola Juscelino Kubitschek – JK e no Emancipa, a sequência didática vídeo, lista, aula clássica, aula quântica, formulário, correção e *post*, estava organizada para ser toda remota, *online*, onde apenas as aulas eram síncronas e as demais atividades assíncronas. O baixo índice de presença nas aulas na primeira aplicação fez com que elas fossem disponibilizadas para serem assistidas de forma assíncrona também.

No Emancipa, a dificuldade foi a contrária. As estudantes, que trabalhavam nos outros momentos e frequentavam também o ensino regular, não tinham tanto tempo disponível para atividades assíncronas; mas estavam disponíveis nos horários síncronos da turma. Assim que todas as atividades foram realizadas de maneira síncrona. Exceto a correção do formulário, que foi solicitado que fosse feito por elas a partir de uma aula de reforço que tivemos nos seus horários de estudo extraclasse.

⁵⁷ FREIRE, Paulo. *Pedagogia da Autonomia*. SP: Paz e Terra, 1996. p. 19.

No Caic a sequência principal foi mantida. Exceto na correção da questão 3, que rendeu um trabalho a parte que será descrito na sequência do texto.

4.6.2 A evolução do *forms*

O formulário de avaliação também recebeu modificações, uma vez que a versão inicial não tinha campo de identificação, o que rendeu o trabalho extra de questionar os estudantes para descobrir os autores das três primeiras entregas na Escola JK. Os demais o fizeram quando o campo já estava presente.

Na aplicação do formulário no Caic a última modificação até o momento. Como as outras aplicações não envolviam um público muito grande, apenas um campo de identificação foi o suficiente. A partir da primeira turma no Caic, ficou evidente a necessidade de mais um campo – justamente para que identificassem a turma a que pertenciam.

Outra discussão fundamental dessa aplicação é quanto ao seu formato. A exibição do vídeo, a solicitação da lista e a primeira aula foram feitas de forma remota. Recém havia começado o contrato nessa escola, e o meu horário ainda não estava incluído na grade física. Portanto, deveria fazer postagens na sala de aula online das turmas nas duas primeiras semanas. Após esse período e essas etapas, ingressei no formato presencial da escola. No entanto, esse ocorria de forma “híbrida”; com os estudantes podendo optar entre assistir às aulas de forma presencial ou remota; as duas ocorrendo de forma simultânea; a aula sendo gravada e transmitida ao vivo pela *webcam* de um notebook na mesa do professor. E foi assim que ocorreram as outras etapas da aplicação do produto.

4.6.3 A questão 3

A questão 3 do formulário foi a que mais trouxe elementos para análise. Primeiramente o baixo índice de acerto foi associado uma dificuldade considerada à priori como provável. A questão envolvia o estudo dos gráficos, e poderia ser aí que estava a dificuldade. No entanto, conforme as entregas de formulários foram chegando e as conversas sobre ele foram sendo feitas na turma, alguns estudantes ao exporem seus argumentos para chegar na resposta – foi o caso de uma estudante do Emancipa e dois estudantes de turmas diferentes no Caic – mostraram uma nova possibilidade para a dificuldade.

A questão, Figura 11, p. 32, envolve escolher um valor para a variável x , a ddp (V), e seu correspondente par ordenado em y , a corrente (i). No entanto, o modo como explicaram que solucionaram a questão, envolveria a razão entre a corrente e a tensão, sendo a primeira o numerador e a segunda o denominador. Do modo como mostraram que estavam fazendo, a equação da resistência se tornaria:

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

Figura 21: Equação da resistência na concepção dos estudantes.

Foi entendido então que o problema estava na construção da equação da resistência. Para desenvolver esse conceito se recorreu a 3 simuladores do PhET, portal da universidade do Colorado inicialmente dedicado ao estudo da Física com simuladores, agora atendendo também às outras áreas das Ciências da Natureza. O primeiro mostrava a equação da resistência, no formato pela relação linear entre tensão e corrente, da lei de Ohm frente as mudanças de temperatura que garante a linearidade, exibindo o comportamento de um resistor frente a variação dessas grandezas⁵⁸. O segundo, a equação da resistência a partir da resistividade, para diferenciar as duas⁵⁹. O terceiro, um kit de montagem de circuitos para mostrar as consequências da variação da resistência em um circuito digital que simula um circuito real⁶⁰.

Então, os estudantes resolveram algumas questões, envolvendo uma pilha, um resistor e uma lâmpada, de um circuito montado no terceiro simulador (Figura 22), inspirado em uma dissertação de um egresso do nosso polo⁶¹. Ao passo que os estudantes responderam bem as questões. Acreditou-se que os estudantes estavam prontos para resolver a questão 3. No entanto, ao conversar com alguns estudantes, a verdadeira dúvida foi revelada: “o que fazer com aquela potência de base dez que aparecia na legenda do eixo y?”

Aqui se revela a importância de não deixar considerações à priori afetarem a avaliação das avaliações; isto é, achar que a dificuldade seria o gráfico, prolongou a descoberta da verdadeira dificuldade, uma vez que, ao invés, de realmente consultar os estudantes, como já era algo para o qual já se esperava, a dificuldade numa questão envolvendo gráfico, achou-se que a dificuldade era o próprio gráfico; como era algo já esperado, foi se desenvolvendo recursos que já estavam como planos bês ou cartas na manga, envolvendo estudo com gráficos de questões do ENEM e construções de situações sociais. Ao obter os primeiros retornos sobre a avaliação, já se imaginou outra dificuldade conceitual, se preparou outra atividade para o reforço daquele conceito em específico (a lei de Ohm). Ao já se ter trabalhado com a atividade desenvolvida a posteriori, foi quando se percebeu a verdadeira dificuldade, que era de cunho matemático. Assim, foi feita uma revisão sobre as operações envolvendo potências de base 10.

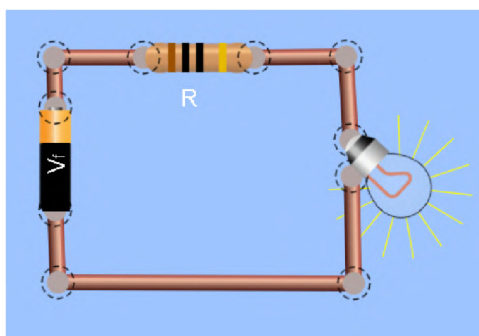


Figura 22: Circuito para reforço conceitual.

58 https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/ohms-law. Acesso em 22 de nov. de 2021 às 18h30.

59 https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/resistance-in-a-wire. Acesso em 22 de nov. de 2021 às 18h30.

60 https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab. Acesso em 22 de nov. de 2021 às 18h31.

61 TORMA, Edilson da Silva. Sequência investigativa em circuitos elétricos no ensino médio. 2015. Dissertação de Mestrado.

4.6.4 A recuperação

Para a recuperação então, após toda a sequência foi ofertado as turmas essa possibilidade. Da primeira turma a maioria quis, então foi solicitado que refizessem a questão 3 agora me enviando também o cálculo. A maioria acertou. E apesar de ser válido o argumento de que por poderem fazer isso de forma remota, já que o ensino estava “híbrido”, poderiam colar. No entanto, em diversas respostas o “caminho” da resolução era diferente, mostrando que uma parcela significativa das respostas eram originais. A grande maioria acertou a questão. Os que erraram, acertaram a primeira parte dela, onde deveriam calcular a resistência através do gráfico e da equação. No entanto, o restante do enunciado dizia que aquele resultado deveria ser multiplicado por quatro devido as condições da amostra utilizada pela questão. Alguns não deram atenção para esse ponto.

Em outra turma, apenas uma estudante demonstrou interesse na recuperação. Pelo baixo número de interessados, diminuindo a quantidade de correções, e pelo primeiro mau resultado que a estudante obteve – contrastando com sua participação em aula, sempre presente, interagindo e questionando –, foi disponibilizado que refizesse o formulário inteiro. Obtendo o número máximo de acertos, com a última resposta, descritiva, original – assim se desviando da possível acusação de cópia, pelo menos de maneira integral, demonstrando, no mínimo, alguma apropriação significativa do conteúdo.

Nas demais 3 turmas dessa aplicação, não houve interessados em fazer recuperação. O que pode ser explicado pelo fato de que, dentre os que fizeram dessas turmas, a grande maioria foi bem; embora essas turmas fossem as de menor índice de participação, entre 50% e dois terços da turma – nas outras duas turmas a participação foi de cerca de dois terços e de 75%. Dos estudantes que não participaram das atividades, pode-se constatar que era um comportamento geral entre as demais disciplinas, e a grande maioria destes ingressou, ou já estava, em *busca ativa*.

4.7 Busca ativa

No conselho de classe, a principal preocupação dos professores foi com a ausência constante de uma parcela significativa dos estudantes. Foram esses, os que não compareciam às aulas presenciais, tampouco acessavam à aula de forma online, ou ainda uma minoria dentre esses que assistiam às aulas mas não entregavam as atividades, que entraram em busca ativa. Esses estudantes foram chamados pela escola a retornarem as aulas presencialmente e seus pais contatados para que ficassem cientes da nova condição de seus filhos.

Muito dessa infrequência por parte dos estudantes foi atribuída ao resultado do ano passado. Tendo em vista as condições pandêmicas, o estado achou razoável que ninguém fosse reprovado ao final do ano. A justificativa para tal decisão deu-se em conta que não poderia ser distinguido entre os estudantes que não fizeram as atividades por falta de condição ou por *falta de vontade*. Oras, esses estudantes deveriam ter sido buscados pelo estado e consultados sobre sua condição. E se não tivessem, essa deveria ser oferecida. Essa grande operação *tapa-buracos* pode ser considerada como precedente por parte de alguns estudantes: “não fiz nada ano passado e passei; não vou fazer nada de novo.” E naqueles que fizeram as atividades e viram seus colegas que não fizeram também serem *recompensados* (já que é nisso que se baseia nosso sistema, e aqui não necessariamente uma crítica, mas uma constatação), o desgosto por fazer a atividade e receber a mesma recompensa, resolvendo assim também não o fazer.

4.8 O ensino híbrido

Ao pesquisar-se sobre os modelos de ensino híbrido, conhecemos quatro modelos, como definido por Bacich, com base na categorização de Horn e Staker (2015)⁶². Modelo de rotação, *flex*, *à la carte* e virtual enriquecido. Todos envolvem uma estruturação complexa e uma grande carga de preparação. Mas o que tem de comum é que não significam a fusão do digital e do presencial ao mesmo tempo, pelo mesmo professor. Essa dinâmica aplicada pelo estado de um mesmo professor ser responsável por aulas presenciais e online na verdade configura jornada dupla; um mesmo professor atendendo duas turmas ao mesmo, já que estas estão em diferentes modalidades simultaneamente; também requer duplo planejamento.

O ensino híbrido aplicado a uma turma requer que a turma inteira esteja na mesma modalidade naquele mesmo período, e alternem em conjunto entre as duas modalidades. Só assim para poderem ter a integração necessária para ser considerados uma turma. Só assim para o professor poder dar a devida atenção e poder planejar uma atividade significativa; já que a presença das duas modalidades concomitantemente culmina em limitações inviáveis ao professor, que deve, por exemplo, planejar uma atividade desafiadora o suficiente para estudantes que estão em casa com acesso à internet, e portanto a fácil pesquisa, e simples o suficiente para estudantes que estão em sala de aula, sem esse recurso – que torna contrastante a diferença de possibilidades. Um meio termo assim será possível? Não há referências.

Sabe-se que qualquer experimentação em sala de aula envolve um grande número de seres humanos, em fase de desenvolvimento, protegidos pelo ECA (Estatuto da Criança e do Adolescente)⁶³, e portanto sérias questões éticas devem ser estritamente consideradas. Confusões conceituais como essa do ensino híbrido deveriam ser evitadas. Para além disso, outros fatores que deveriam ser considerados pelo estado não estão sendo, e podem estar contribuindo para essa defasagem nos números (frequentadores/matriculados). Em uma live⁶⁴ realizada no dia 11 de agosto de 2021, das 10 h às 12 h, pelo canal do Youtube da Secretaria de Educação do Estado do Rio Grande do Sul – SEDUC/RS, a secretaria de educação e convidadas falaram sobre como se daria “o retorno presencial” (grande parte das escolas já havia retornado, inclusive a nossa). Houve comparações com retornos na Europa; ao que os professores, convocados a assistirem, responderam pelo chat, questionando se as condições de retorno nos países citados também seriam atendidas aqui (sanitárias, como testagem em massa e de CO₂ nas salas de aula; remuneração dos professores; auxílio recursos digitais para as aulas híbridas). Chamou atenção o fato de que para a live da Secretaria, haviam técnicos auxiliando os falantes – condição nunca ofertada aos professores do ensino híbrido. Um argumento que também chamou atenção é de que se poderia e deveria voltar as aulas presenciais, mesmo com a crise sanitária, pois as famílias já não se cuidavam no fim de semana, indo a espaços públicos e aglomerando-se; portanto, também poderiam descuidar-se para levar seus filhos a escola e deixando estes a frequentarem.

4.9 Considerações finais

Além de tudo o que já foi dito, algumas considerações ainda podem ser feitas no sentido de sugestão do que se poderia melhorar no ensino escolar. As escolas apresentaram boas estruturas. A preparação dos estudantes, vinda do ensino fundamental, ainda que não a ideal, mostrou-se suficiente. A preparação dos professores, colegas, mostrou-se bastante completa. O que falta parecem ser as condições para o trabalho do professor. Salário sem reajuste há 7 anos. Sem concurso há 8 anos. Corte de auxílio difícil acesso. Sem auxílio digital.

62 HORN, Michael B.; STAKER, Heather; CHRISTENSEN, Clayton. *Blended: usando a inovação disruptiva para aprimorar a educação*. Penso Editora, 2015. *apud* BACICH, L. AR - Aprender e relacionar: 1º ano. SP: Moderna, 2017. p. XI.

63 FEDERAL, Governo. Estatuto da Criança e do Adolescente. Lei federal, v. 8, 1990.

64 <https://www.youtube.com/watch?v=0Waezwtr01I>. Acesso em 22 de nov. de 2021 às 18h40.

Um fator ainda muito importante que deve ser considerado na função do professor é o tempo de “planejamento”. É o tempo de *preparação* do professor para as aulas. Também o tempo de avaliação destas. E tempo de reunião com as demais instâncias que formam a escola além da sala de aula. E de comunicação com as outras esferas que compõe a comunidade escolar⁶⁵. E para formação continuada. Sendo que a preparação se divide em pesquisa e estudo, retornando a constante formação a que o professor está submetido por sua condição de “ponte” de conhecimento; de intermediador entre o saber científico e o saber escolar; para isso é necessário que se atualize, porque *o conhecimento se atualiza*, a todo momento, nos laboratórios e centros de pesquisas espalhados pelo mundo, e comunicados na literatura científica. O professor precisa de tempo para ler essa literatura. Precisa de tempo para a transposição didática para levar tal conteúdo a sala de aula. Precisa de tempo para avaliar, analisar e avaliar continuamente.

“Use de sequências didáticas prontas. Feitas por acadêmicos.” Alguém poderia dizer. Mas assim não se atinge a devida significância da aula nem para o estudante nem para o professor. Isso pois, para uma aula ter significado, ela deve estar preparada para as condições sociais da turma em que é ministrada, como apontado por Freire e já citado. Assim, todo o material utilizado deve ser adaptado. E como a própria teoria da Transposição Didática aponta, “a adaptação não é somente um corte das partes mais difíceis; toda simplificação deve ter significado em si.” Um trabalho desse tipo leva tempo. Também para que o conteúdo tenha significado para o professor, ele deve aprofundar seus estudos do tema, o que adiciona mais tempo a equação.

A avaliação também. A avaliação deve ser continuada, isso já é consenso na literatura. O estudante deve ter a oportunidade de refazer constantemente suas avaliações para assim desenvolver o seu discurso, assimilar, construir e reconstruir os conceitos, através da interação com o conteúdo em diversos momentos, com diversas abordagens, e se apropriar de fato daquele conteúdo histórico, daquele conhecimento científico, daquele saber antigo, e utilizar em suas vidas, nas participações nos debates científicos e tecnológicos, nas escolhas e decisões sociais e no cotidiano mesmo, sabendo utilizar desses conceitos para trocar uma resistência de um chuveiro, por exemplo, sabendo que primeiro se deve desligar o disjuntor, para que não haja corrente no circuito; ou que se um circuito simples – de um brinquedo, de um carregador, de um controle – “quebrar”, pode-se abri-lo, testar com o multímetro os contatos e terminais verificando a presença de corrente elétrica, substituir um componente eventualmente queimado; ou ainda, confeccionar o próprio circuito com base em um *datasheet* encontrado na internet. Entre outros importantes resultados que se pode atingir, como a produção cultural, utilizando de elementos e conhecimentos adquiridos nas aulas de Física e Ciências de um modo geral.

As reuniões com a comunidade, com a equipe diretiva e pedagógica da escola, com os membros das coordenadorias regionais e da secretaria de educação também. No entanto, esse é mais um tempo de trabalho do professor que deve ser considerado. E tudo isso acaba virando carga extra para os professores. Planejar aulas para 16 turmas. Avaliar 570 estudantes. Participar de todas as reuniões. E ainda fazer aulas legais, prazerosas e significativas para os estudantes, com todos os pré-requisitos já mencionados e as condições discutidas?

Sobre a sequência didática: o formulário foi importante, pois avaliou a capacidade dos estudantes de assimilar conceitos e equações relacionadas; entender em qual área e a qual tema da Física se refere cada questão, associar a equação certa, substituir as grandezas pelos seus valores em cada questão, manipular algebricamente, efetuar os cálculos e obter os resultados. No entanto, o *post* avaliou a capacidade de aplicar em um discurso o conteúdo compreendido. E isso abre uma nova oportunidade de avaliação, que é a da criação de material por parte do estudante a partir do que ele aprendeu. É nessa criação que os limites da apropriação ficam evidentes. A partir dela que se pode construir mais conhecimento. Mas isso requer tempo, são centenas de textos a serem

65 BROCKINGTON, G.; PIETROCOLA, M. Serão as regras da Transposição Didática de Chevallard aplicáveis a Mecânica Quântica? *Revista Brasileira de Ensino de Física*. 2005.

avaliados, frase por frase, palavra por palavra, para que a avaliação tenha significado e a construção além seja possível.

4.10 Perspectivas futuras

Dentre o que se espera fazer com os resultados desse trabalho para a sequência da prática docente, está a análise aprofundada da última avaliação da sequência, o post. Aquele material é uma verdadeira “mina de ouro”, demonstrando de forma bastante completa a apropriação do conteúdo por parte do estudante.

Também entre as concepções futuras estão a ideia de continuação para as videoaulas. Outros temas da FMC, como Física Nuclear e de Partículas, comporiam os demais episódios de uma primeira temporada. Uma segunda temporada seria sobre a Relatividade – que pela grandiosidade e peculiaridades requer essa sequência própria de vídeos.

Um último patamar a ser alcançado a partir desse trabalho seria o da produção de jogos didáticos com a temática dos Semicondutores e das Ciências dos Materiais, para ensinar Física. Essa possibilidade ficou evidente no trabalho de Bexiga⁶⁶, que trabalha com a produção de jogos a partir da plataforma Unity. Essa intenção se justifica pela “ajuda” recebida dos simuladores durante as aulas, e do saber de como o lúdico acrescentado às metodologias, como foi com a videoaula do produto, tem o potencial de aprimorar o alcance dos resultados.

66 BEXIGA, Victor Sardinha. Ensinando física com foguetes de água e utilizando TIC através de uma proposta multidisciplinar. 2015. Dissertação de Mestrado.

REFERÊNCIAS

- ACSELRAD, Henri. Justiça ambiental e construção social do risco. *Desenvolvimento e Meio ambiente*, v. 5, 2002.
- AMARAL, Gabriela M. et al. “Fantasmas” na Mecânica Quântica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 38, 2016.
- AULER, D. Enfoque ciência-tecnologia-sociedade: pressupostos para o contexto brasileiro. *Revista Ciência & Ensino*, vol. 1, número especial.
- BACKES DE OLIVEIRA, P.G.; PIMENTEL JR., J.L.; HECKLER, V. Anais do II EREC. Porto Alegre: UFRGS, 2018. p. 133.
- BEXIGA, Victor Sardinha. Ensinando física com foguetes de água e utilizando TIC através de uma proposta multidisciplinar. 2015. Dissertação de Mestrado.
- BODÊ, Tiago. Games científicos: bases epistemológicas e princípios de design didático. 2017. Dissertação (Mestrado em Educação) - Faculdade de Educação, University of São Paulo, São Paulo, 2017. doi:10.11606/D.48.2018.tde-20032018-151424. Acesso em: 2021-11-20.
- BOUDINOV, H.I. Do silício até os semicondutores orgânicos. VII EEEFís-RS. UFRGS, 2017.
- BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. 1988.
- BROCKINGTON, G.; PIETROCOLA, M. Serão as regras da Transposição Didática de Chevallard aplicáveis a Mecânica Quântica? *Revista Brasileira de Ensino de Física*. 2005.
- DE SOUZA, Aguinaldo Robinson; DOS SANTOS NEVES, Laura Aparecida. O livro paradidático no ensino de Física: uma análise fabular, científica e metafórica da obra *Alice no País do Quantum: A Física Quântica ao alcance de todos*. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 33, n. 3, p. 1145-1160, 2016.
- FEDERAL, Governo. Estatuto da Criança e do Adolescente. Lei federal, v. 8, 1990.
- FREIRE, Paulo. *Pedagogia da Autonomia*. SP: Paz e Terra, 1996. 144 p.
- FREITAS, Frederico Campos; OLIVEIRA, Adilson Jesus Aparecido de. O uso de vídeos curtos para ensinar tópicos de semicondutores. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 37, p. 3502-1-3502-7, 2015.
- GARCÍA CARMONA, Antonio. Construcción de significados de física de semicondutores en educación secundaria: fundamentos y resultados de una investigación. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 28, p. 507-519, 2006.
- GEHLEN, Simoni Tormöhlen; MALDANER, Otavio Aloisio; DELIZOICOV, Demétrio. Momentos pedagógicos e as etapas da situação de estudo: complementaridades e contribuições para a educação em ciências. *Ciência & Educação (Bauru)*, v. 18, n. 1, p. 1-22, 2012.

GRIFFITHS, David Jeffrey. Eletrodinâmica. Brasil: Pearson Addison Wesley, 2011.

HORN, Michael B.; STAKER, Heather; CHRISTENSEN, Clayton. Blended: usando a inovação disruptiva para aprimorar a educação. Penso Editora, 2015. apud BACICH, L. AR - Aprender e relacionar: 1º ano. SP: Moderna, 2017.

MEADEN, George Terence Electrical. Springer US, 1965.

MIGNOT, Ana Chrystina Venancio. Escolas na vitrine: centros integrados de educação pública (1983-1987). Estudos avançados, v. 15, p. 153-168, 2001.

MOREIRA, Marco.Antônio. Teorias da aprendizagem. Porto Alegre: E.P.U. – UFRGS, 2011. 248 p.

OSTERMANN, Fernanda; CAVALCANTI, CJ de H. Teorias de aprendizagem. Porto Alegre: Evangraf, 2011.

PENA, Fábio Luís Alves. A influência dos PCN sobre a pesquisa em ensino de física: um estudo a partir de artigos publicados em periódicos nacionais especializados na área. VII ENPEC Encontro Nacional De Pesquisa Em Educação Em Ciência Florianópolis-2009. ABRAPEC, 2009.

PIETROCOLA, Maurício. Física em contextos. SP: FTD, 2010. 528 p.

PUREUR, Paulo. Estado sólido. Porto Alegre: IF – UFRGS, 2001.

RITTER, J.; TAVARES, L.S, BACKES DE OLIVEIRA, P.G.; MALDANER, O.A. Situação de Estudo TELEVISÃO: possíveis inserções de enfoque CTS/CTSA. Indagatio Didactica, vol. 11 (2), agosto 2019.

SANTOS, W. L. P. (2011). Significados da educação científica com enfoque CTS. In SANTOS, W. L. P. & AULER. D. (Org.). CTS e educação científica: desafios, tendências e resultados de pesquisa (pp. 21-47). Brasília, DF: Editora Universidade de Brasília.

SAVIANI, Dermeval. A lei da educação: LDB: trajetória, limites e perspectivas. Autores associados, 2019. 368 p.

TORMA, Edilson da Silva. Sequência investigativa em circuitos elétricos no ensino médio. 2015. Dissertação de Mestrado.

VON LINSINGEN, I. Perspectiva educacional CTS: aspectos de um campo em consolidação na América Latina. Ciência & Ensino, 1(especial), 2007.

Apêndice I – O produto educacional: A sequência didática

Universidade Federal do Rio Grande – FURG

Instituto de Matemática, Estatística e Física – IMEF

Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF

Pedro G. Backes de Oliveira

Prof. Dr. Jorge L. Pimentel Jr. (orientador)



Produto educacional: Sequência didática sobre os semicondutores



Ilustração: Anael Macedo

Sumário

Introdução.....	55
A primeira aula.....	56
A segunda aula.....	58
A terceira aula.....	60
O pós-aulas.....	61
O roteiro.....	62

Introdução

O texto a seguir trata-se de uma sequência didática integrante do produto educacional para a obtenção do título de mestre em ensino de Física pelo Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física. Juntamente à videoaula que deve ser utilizada, também de produção autoral e parte do produto, cujo *link* é: <https://www.youtube.com/watch?v=TOCarH77uaI>.

Antes da sequência das aulas propriamente dita, existe uma etapa inicial que consiste em uma preparação para a execução da sequência didática. Essa etapa é descrita como “A pré-aula”.

Após a sequência didática, encontra-se o roteiro original da gravação da videoaula como consulta ao professor que desejar escrever o seu roteiro para uma videoaula própria.

A pré-aula (ou aula 0):

O professor regente da turma na escola anunciará ao término de sua aula que para a próxima aula, para o seu melhor desenvolvimento, o professor solicita que os estudantes assistam a um vídeo sobre os semicondutores – cujo *link* do vídeo, disponível na plataforma Youtube, deve ser fornecido pelo professor regente. Durante ou após o vídeo, o estudante deve elaborar uma lista contendo 5 termos apresentados no vídeo que o estudante acredite que estejam diretamente ligados a um conceito da física (primeira avaliação: reconhecimento de conceitos), a ser enviada por e-mail ao professor regente.

A primeira aula:

Um seminário organizado conforme a sequência de temas dos dois primeiros capítulos do livro didático Física em contextos, vol. III, de Maurício Pietrocola, aprovado e recomendado para o 3º ano do ensino médio, que versam sobre as propriedades elétricas da matéria (diferenciação em condutores e isolantes, conceito e exemplos), a lei de Ohm (conceito e equações aplicáveis, com exemplos) e os circuitos elétricos (componentes e exemplos). Correlacionando e explorando mais os termos elencados pelos estudantes em suas listas. Enquanto são trabalhados esses temas, serão feitas associações com momentos do vídeo em que foram abordados, que estarão como as imagens do seminário. Ao final da aula, aos estudantes será solicitado que façam seus questionamentos que por ventura não tiverem sido respondidos durante a aula ou que surgiram no pós-aula, sobre o vídeo ou sobre a aula, na seção de comentários do vídeo em sua plataforma, propiciando uma forma de interação assíncrona (segunda avaliação: elaboração de uma boa pergunta).

Plano de aula: “Física Clássica do Eletromagnetismo”

Tempo: 3 horas-aula.

Objetivos:

- Trabalhar os conceitos e as equações da eletricidade clássica (a lei de Ohm, o seu significado e as expressões matemáticas aplicáveis nesse regime – para a Resistência, R , a tensão, V , e a corrente, i);
- Significar a lei de Ohm como uma região do domínio dos fenômenos elétricos, que abrange materiais em cuja resistividade se comporta de maneira linear mediante a variação da temperatura;
- Aplicar o domínio conceitual culminado na expressão matemática da Resistência, onde para dispositivos ôhmicos $V \times i$ é linear, para análise de circuitos elétricos diferenciado suas montagens.

Conteúdos:

- Leis de Ohm;
- Circuitos;
- Semicondutores.

Recursos: Notebook, slides e internet.

Metodologia:

- 1º momento: Questionamentos e debate, realizados em reunião no aplicativo *meet*, a cerca do conteúdo do vídeo, direcionando as propriedades elétricas (condutores e isolantes);
- 2º momento: Slides sintetizando a discussão das propriedades e relacionando com a lei de Ohm, abordando não só a equação da resistência que relaciona as variáveis que a lei de Ohm diz serem constantes em sua variação (gráfico linear), mas também o conceito da linearidade frente a temperatura da relação entre sua resistividade intrínseca, seus parâmetros geométricos, e da resistência como a razão de uma diferença de potencial aplicado e a corrente exibida;
- 3º momento: Elaboração de questionamentos acerca do conteúdo estudado.

Referências:

PIETROCOLA, Maurício; POGIBIN, Alexander; ANDRADE, Renata de; ROMERO, Talita Raquel. Física em contextos: *Eletricidade, Ondas eletromagnética e Radiação e Matéria*. V. 3. 1. ed. São Paulo: FTD, 2010.

A segunda aula:

Serão solicitadas e abordadas dúvidas restantes da parte Clássica, apresentadas pelos estudantes, e dificuldades conceituais exibidas nos questionamentos no vídeo serão trabalhadas. Física Quântica do Eletromagnetismo: Semicondutores. Serão elencados os termos das listas dos estudantes que se relacionem com a Física Quântica (os clássicos foram trabalhados na primeira aula). Gráfico da temperatura do Semicondutor x Metal; abordando a questão do acentuamento da curva permitindo aplicações práticas com pequenas variações de temperatura, e como a ideia da parábola no gráfico dos dados experimentais remete a uma lei quadrática, diferente da lei para o comportamento ôhmico, que por ser uma reta preconiza a utilização de uma equação linear. Conceito básico do efeito fotoelétrico (seção 6 do capítulo 12, pp. 376-381, do referido livro) e um exemplo (mesma seção) de aplicação (CCD). E por fim, a descrição do led com o átomo de Bohr (capítulo 13, seção 2, subíndice 2.2, pág. 413) e o conceito de transição eletrônica. Será feita uma solicitação de respostas aos questionamentos do vídeo; os estudantes com o que aprenderam responderão os questionamentos dos colegas (terceira avaliação: resolução de questões).

Plano de aula: “Física Quântica do Eletromagnetismo”

Tempo: 3 horas-aula.

Objetivos:

- Trabalhar os conceitos relacionados à resistividade no semicondutor;
- Estender a relação das especificidades da resistividade do semicondutor ao fenômeno do efeito fotoelétrico;
- Saber esquematizar uma transição eletrônica.

Conteúdos:

- Semicondutores (comportamento gráfico da resistividade dependente da temperatura);
- Efeito fotoelétrico;
- Transição eletrônica.

Recursos: Notebook, slides e internet.

Metodologia:

1º momento: Questionamentos e debate, realizados em reunião no aplicativo *meet*, revisando a discussão da última aula (se restaram dúvidas e progressão a partir delas);

2º momento: Slides exibindo o comportamento específico do semicondutor, a variação da temperatura influenciando nos valores de sua resistividade e a variação da corrente imposta pela variação do potencial no regime não-ôhmico; discussão a cerca de como esses comportamentos culminam em fenômenos como o efeito fotoelétrico; relação do led e o esquema de uma transição;

3º momento: Respostas aos questionamentos dos colegas na plataforma.

Referências:

PIETROCOLA, Maurício; POGIBIN, Alexander; ANDRADE, Renata de; ROMERO, Talita Raquel. Física em contextos: *Eletricidade, Ondas eletromagnética e Radiação e Matéria*. V. 3. 1. ed. São Paulo: FTD, 2010.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. Física III Eletromagnetismo. São Paulo: Pearson, 2011.

A terceira aula:

Resolução das dúvidas e dificuldades conceituais ainda exibidas. Teste avaliativo (disponibilizado no *google forms*) com questões de múltipla escolha elaborado a partir de uma questão do vestibular da UFRGS, duas questões do ENEM e duas de elaboração própria (uma com texto de referência da revista de divulgação científica Superinteressante e outra com design gráfico e texto próprio). Como o resultado é obtido instantaneamente, evitando o tempo de correção, o teste será corrigido coletivamente em seguida e as dúvidas exibidas trabalhadas. Será feita nova solicitação de resposta aos questionamentos dos colegas no vídeo; reelaborando a resposta original em caso de discrepância com a realidade física (ou confusão conceitual) ou respondendo as que ainda estavam carentes de resposta (terceira avaliação).

Plano de aula: “Resolução de dúvidas e teste.”

Tempo: 3 horas-aula.

Objetivos:

- Avaliar o desenvolvimento da aprendizagem na área do Eletromagnetismo, nos temas da eletricidade e dos semicondutores;
- Consolidar saberes adquiridos.

Conteúdos:

- Leis de Ohm;
- Circuitos;
- Efeito fotoelétrico;
- Semicondutores;
- Transição eletrônica.

Recursos: Notebook e internet.

Metodologia:

- 1º momento: Questionamentos e debate, realizados em reunião no aplicativo *meet*, solucionando possíveis dúvidas ainda presentes sobre os temas da sequência;
- 2º momento: Aplicação do teste por meio de formulário do *google forms*;
- 3º momento: Resolução e revisão das questões do teste. Resolução e revisão dos questionamentos.

Referências:

- ENEM-2017-CR. q. 108.
- ENEM-2018-CA. q. 118.
- SUPERINTERESSANTE. Ed. 420. Out., 2020. p. 21-33.
- UFRGS-CV/2019-FÍS. p. 13.

O pós-aula:

Última avaliação. Ao fim dessa sequência de aulas será solicitado a elaboração de um “post” simples sobre o assunto trabalhado, em que o estudante insira ao menos três das palavras de sua lista. O *post* pode abordar algum tema em específico ou o conteúdo de forma geral, podendo ou não ser postado em uma rede social, e o *link* da postagem ou arquivo produzido enviado ao e-mail do professor – que analisará e comentará o referido registro, seja imagem com descrição, desenho esquematizado, texto apenas, vídeo ou áudio (estilo *podcast*). Aqui pode aparecer a foto de um circuito de algum aparelho eletrônico quebrado e uma descrição de seus componentes e funcionamento, por exemplo.

Minhas expectativas de aprendizagem são a utilização das leis de Ohm como ferramentas (compreensão da equação da resistência no regime linear e do gráfico de um exemplo) e o seu domínio conceitual básico; a compreensão da relação entre resistividade e condutividade; o reconhecimento de circuitos elétricos; a diferenciação de gráficos linear e exponencial, com a exemplificação através do de um dispositivo ôhmico e da temperatura X resistividade no semicondutor; e o mecanismo da transição eletrônica.

Referências:

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de ciências: fundamentos e métodos.** São Paulo: Cortez, 2002.

PIETROCOLA, Maurício; POGIBIN, Alexander; ANDRADE, Renata de; ROMERO, Talita Raquel. Física em contextos: *Eletricidade, Ondas eletromagnética e Radiação e Matéria.* V. 3. 1. ed. São Paulo: FTD, 2010.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. Física III: Eletromagnetismo. São Paulo: Pearson, 2011.

BOUDINOV, H.I. Do silício até os semicondutores orgânicos. VII EEEFís - RS. UFRGS, 2017.

ENEM-2017-CR. q. 108.

ENEM-2018-CA. q. 118.

SUPERINTERESSANTE. Ed. 420. Out., 2020. p. 21-33.

UFRGS-CV/2019-FÍS. p. 13.

<https://www.youtube.com/watch?v=TOCarH77uaI> (produção autoral.)

Roteiro Original: Os Semicondutores

1ª parte: O contexto, a Tecnologia

Quando falamos em Semicondutores talvez o mais interessante que se possa dizer é que esses elementos são a base da eletrônica e, portanto, da computação moderna. E o mais relevante, do ponto de vista tecnológico, é que esses materiais precisam ser *dopados* – para serem produzidos (os semicondutores extrínsecos) ou para aumentar o seu rendimento (intrínsecos).

- Em sua maioria, os elementos que constituem os componentes eletrônicos a base de semicondutores são o Silício e o Germânio.

Não confundir a mineração desses elementos com a de nióbio, queridinha daquele grande nome relacionado a presidência # recorte do Jair promovendo pulseirinha no Japão # *Não, to falando do outro # recorte do Enéas falando entusiasticamente # *O primeiro vídeo tava fora de contexto, mas também vale de gancho para dar o aviso para que se evite outra confusão como a dele, que achou que o Vale do Silício, fosse um grande minério [Imagem do VS verdadeiro]

- Mas de fato, a mineração do Silício tem grande importância no setor estratégico nacional [slide porcentagem; VII EEEFís 2017 UFRGS]

- Porém, nem tanto pela quantidade, mas pela qualidade.

- Quanto a dopagem, afinal, o que significa? O *dopping* de atletas como o Guerrerro [imagem camisa], de outros jogadores ou de atletas olímpicos? Também, nesse caso, são usadas substâncias químicas com a intenção de melhorar seu desempenho/rendimento. Pois bem, na Ciência & Tecnologia, no caso da dopagem de materiais, mais especificamente de semicondutores, são produzidas ligações como a GaAs, que apresentam propriedades interessantes do ponto de vista tecnológico e industrial relativas a sua condutividade. Porém, às vezes a semicondutividade já é um fenômeno presente no próprio elemento (os semicondutores intrínsecos) e a dopagem tem o intuito apenas de aprimorar seu rendimento, como no caso do Silício e do Germânio. Esse fenômeno torna possível a existência de

chipes e materiais do gênero. Mas, para que tamanha tecnologia seja aproveitável, a substância semicondutora precisa apresentar um grau de pureza quase que perfeito, de mais de 99,999%. O Brasil, como já demonstrado, possui as reservas do Silício mais puro, no entanto, mesmo esse ainda precisa ser purificado.

2ª parte: A Ciência, interdisciplinaridade

Mas como chegar no conceito de semicondutor a partir da Física Clássica, trabalhada por vocês desde o primeiro ano do Ensino Médio até o terceiro?

- Esse estudo se dá no campo do eletromagnetismo (que vocês começaram a abordar nas aulas de eletricidade). Em relação as suas propriedades elétricas, os materiais dividem-se em: condutores (os metais) [Quadro: Tabela Periódica; minérios; ferramentas], que possuem como característica uma boa condução de corrente elétrica (ou seja, de elétrons); isolantes (ametais) [TP; borracha], que *não* conduzem corrente elétrica – e caso fosse aplicada corrente suficientemente grande para que esse material conduzisse, ele é destruído em vez disso (no caso do ar ele é ionizado, produzindo plasma [o raio]). A grandeza que descreve essa propriedade é a *condutividade*. Os materiais que apresentam altos valores para essa propriedade são os condutores, e a ordem de grandeza é de entre 10^4 e 10^6 $(\Omega.m)^{-1}$; já os isolantes, apresentam valores baixíssimos, da ordem de entre 10^{-10} e 10^{-20} $(\Omega.m)^{-1}$, e por isso não conduzem corrente elétrica – ou seja, se os elétrons fossem ovelhas, os isolantes seriam algo como péssimos pastores. A condutividade não pode ser medida diretamente. No entanto, pode ser obtida através da sua equivalência com o inverso da *resistividade*, isto é, a condutividade tem o “mesmo valor” [img. Palavra “equivalente” dividida em seus radicais com os significados] que o inverso da resistividade – ou seja, o número 1 dividido pelo valor dela [equação condutividade no quadro]. Por sua vez, a resistividade *também* não é medida diretamente, e, sim, obtida através da sua proporção com o valor da *resistência* e dos fatores geométricos (largura e comprimento) do material em questão [equação resistividade no quadro] – e, essa, sim, a resistência, pode ser medida através da contagem dos dias que as escolas ficaram ocupadas na greve contra... brincadeira, através da utilização de um *multímetro* mesmo. Mas existem materiais que não estão nem tanto em um extremo nem em outro, são, como o próprio nome já diz, os Semicondutores (o próprio nome já diz, pois

semi é um prefixo grego que significa meio [quadro]), que possuem condutividade da ordem de entre 10^{-7} e $10^3 \text{ } (\Omega.m)^{-1}$. Eles são tipo os indianos meditando da Tabela Periódica – sabe aquela história de caminho do meio [img. Dhalsim]? Quem não souber pesquisa aí no google “meditação” que é um conceito importante. Mas fato é que eles são assim. Meio-termo. Para explicar um pouco melhor, são tipo o Ciro Gomes ou a Marina Silva dos materiais [vídeo do Ciro falando do Centrão]. E aproveitando a analogia, o Bolsonaro seria tipo os isolantes {imitação: Não quero saber dessa história de elétron-livre não, isso é coisa de va-ga-bun-do. Elétron no meu governo vai ficar é preso!}; já os condutores seriam mais tipo o Lula {Que isso companheiro. Elétron tem que ficar livre. Aqui é elétron-livre pô!}. E o mais interessante da condutividade e, portanto, da resistividade dos semicondutores, é que ela pode variar de acordo com a luminosidade, a temperatura e a própria dopagem – o que é a causa de seu uso ser tão interessante em diversas áreas, como no *touchscreen* do seu celular, que reconhece a escuridão do local onde você colocou seu dedo (mudança na luminosidade) e entende onde você está clicando. Mas falando um pouco mais sobre o fenômeno da *semicondutividade*; não confundir com o fenômeno Ronaldo, o primeiro é um fenômeno dos materiais, ou outro era dos gramados; a semicondutividade é muito interessante para o uso na eletrônica, primeiramente, porque um material deste tipo, é capaz de conduzir corrente em um só sentido, nunca no outro. A corrente vem de um lado e é tipo assim “Segue o fluxo, ei, segue o fluxo”. Já do outro é mais como: “Aqui não violão” {música e meme famosos}. Esta propriedade é de extrema utilidade para eletrônica; afinal, você não quer que o carregador do seu celular carregue o seu celular ao mesmo tempo que o “rouba” carga elétrica, por exemplo; você quer que a carga apenas *entre*, em outras palavras, que a corrente *flua em apenas um sentido*; para isso que serve um *diodo* que é colocado na ponta do circuito carregador, logo antes do fio. Diodo [componente e símbolo] é um componente eletrônico a base de material semicondutor que é colocado nos circuitos justamente com a finalidade supracitada (ou então para *retificar* uma corrente, mas isso é apenas uma extrapolação da propriedade já citada que pode ser abordada em sala de aula). Outro componente eletrônico semicondutor é o Led, que é nada mais nada menos que um Diodo emissor de luz (da sigla em inglês [Light emitting diode]). Mas os componentes eletrônicos semicondutores mais importantes para a computação talvez sejam os transistores e os Cis [palavras no quadro]. E aqui eu não estou falando da questão do trans e do cis-

gênero, apesar da discussão sobre a importância de se respeitar as pessoas de todas as formas, inclusive nos seus gêneros, ser muito relevante [imagem livro gêneros textuais e do discurso]. Não esses não, os biológicos e sociais mesmo. Enfim, são os transistores e os CIs que fornecem as portas lógicas que transformam o comando dado ao computador na operação que ele realizará. E isso foi fundamental para a revolução da computação, já que a semicondutividade acontece no nível dos átomos, que são microscópicos, possibilitando que daqueles computadores que ocupavam uma sala inteira no início da informática surgissem os *notes* de hoje. Os semicondutores também são importantes para a geração de energia, já que são o material base das Placas Solares Fotovoltaicas. E isso tem a ver com a sensibilidade do semicondutor a luz, já citada, mas essa é uma questão pra outro momento.

3ª parte: Sociedade

E, para finalizar, talvez alguns achem estranho tantos presidentes e candidatos em um vídeo sobre Ciência. Mas isso é para passar um recado: Não importa qual seja o próximo presidente da República Federativa do Brasil, mas ele deve ter planos bem traçados para a Ciência, a Tecnologia, as Minas e Energias e a Educação – e esses planos devem ser coesos entre si. Obrigado!

4ª parte: A avaliação

Então agora, começa a parte de vocês. Que será a avaliação do que vocês aprenderam. “Mas professor, foi um vídeo tão curtinho, será que eu aprendi alguma coisa?”. Dois pontos a respeito disso: o primeiro, é que se você se interessou e prestou atenção, muita informação você obteve [Yoda]. E para além disso, trabalhar as competências em relação ao conteúdo, analisando um pouco mais, vemos que também foram trabalhadas competências de metodologia, postura, comportamento e até valores. Metodologia porque se vocês repararam bem o vídeo, e se não o fizeram, aproveitem a *recursividade*, voltem o vídeo e vejam, as informações importantes estavam todas referenciadas; foram apresentados dados estatísticos e suas fontes (respeitáveis); dados foram relacionados, informações de várias áreas da

ciência – desde a geografia com as áreas de minerações e nossa disponibilidade de recursos, passando pela química com os elementos, substâncias e materiais, a linguística com os radicais das palavras, até a física com as propriedades da matéria, conceitos, equações e valores, e gráficos que perpassam as diversas disciplinas – foram cruzadas; e, somente a partir daí, de um embasamento científico, que se fez alguma interpretação. E esse o método científico. Ter uma hipótese – pode ser a partir da leitura de diversas referências – testá-la com dados (podendo ser seus próprios ou pesquisados), cruzar os resultados com o de pares, outros pesquisadores, de mesma área ou outra, interpretar o que surgiu e comunicar. Claro que o nosso roteiro não seguiu exatamente essa ordem como visto. No entanto, todos os elementos estiveram presentes: hipótese, teste, comparação, interdisciplinaridade, muita referência e interpretação – e é isso o que *mais* importa segundo o consenso. Não seguir a “ordem” é até defendido na literatura atual, a partir da linha epistemológica (uma espécie de filosofia da filosofia, ou *o estudo do estudo* do conhecimento) do professor Feyerabend. Então guardem muito bem essa questão do *método científico* e vamos pro segundo ponto. O segundo ponto é que nosso processo de avaliação *faz parte* do processo de aprendizagem. Vocês vão ter que pesquisar, utilizando o método científico, para ver o quanto as informações e as técnicas apresentadas pelo vídeo foram assimiladas. Vão aparecer agora 10 *links* em que vocês poderão escolher por qual maneira vocês querem ser avaliados: 1 - uma pesquisa histórica conectando os estudos iniciais sobre eletricidade pelos árabes, a descoberta da onda elétrica por Maxwell e o primeiro computador de Turing (base, Livro Pietrocola e Strathern: Turing); 2 - uma pesquisa tecnológica sobre as placas solares fotovoltaicas (Projeto nanofios de prata); 3 - um questionário sobre os conceitos abordados; 4 - uma questão numérica envolvendo a ciência dos semicondutores (Young: Efeito Hall); 5 – um jogo sobre a invenção do computador (Strathern: Turing); 6 – um vídeo debate sobre energia renovável (vídeo no canal Poisé); 7 – uma pesquisa tecnológica sobre os semicondutores orgânicos (Conferência VII EEEFís 2017 UFRGS); 8 – uma pesquisa sobre o porquê dos semicondutores e a dopagem (Vídeos Freitas & Oliveira); 9 – montagem eletrônica (*Datasheet* circuito carregador); 10 – pesquisa artística: os dispositivos “mais possíveis” do Batman e do Homem de Ferro (Filmes). Em todas essas opções você poderá ser avaliado por meio de desenhos, vídeos, áudios e escritas. Também será acompanhado em todo o processo de estudo e criação por meio de fóruns e um período definido para uma

conversa individual. Mais ou menos como uma cadeira de TCC – trabalho de conclusão de curso – onde tem uma turma que aprende sobre a metodologia geral da confecção de seu trabalho, e cada estudante (nesse caso grupo) tem o seu orientador individual em seu projeto. Nos *links* está descrito como se deve proceder mediante a escolha daquela opção. Cada opção poderá ser escolhida por x^{67} estudantes, que configurarão grupos, para que possamos ter números iguais em cada tema. Um bom trabalho, boa sorte e obrigado!

67 $x=1/10$ da turma.

Referências

1. BRASIL. MEC. Base Nacional Comum Curricular. 2017. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/wp-content/uploads/2018/11/7. Orienta%C3%A7%C3%B5es_aos_Conselhos.pdf , acesso em 22/06/2020 às 15h.
2. BRASIL. MEC. Parâmetros Curriculares Nacionais. 2000. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/livro01.pdf> , acesso em 22/06/2020 às 15h.

Artigos e anais:

3. CARMONA, A.G. Construcción de significados de física de semicondutores en educación secundaria: Fundamentos y resultados de una investigación. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 28, n. 4, p. 507-519, 2006.
4. FREITAS, F.C.; OLIVEIRA, A.J.A. O uso de vídeos curtos para ensinar tópicos de semicondutores. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 37, n. 3, 3502, 2015.
5. BRONCKINGTON, G.; PIETROCOLA, M. Serão as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de física moderna? Investigações em Ensino de Ciências, v. 10(3), p. 387-404, 2005.
6. AULER, D. Enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade: Pressupostos para o contexto brasileiro. Ciência & Ensino, v. 1, n. especial. Novembro, 2007.
7. BACKES DE OLIVEIRA, P; PIMENTEL JR., J. L.; HECKLER, V. Física Quântica no Ensino Médio: uma proposta de inserção contextualizada. Anais da XVI MPU, 2017.

Livros (Física):

8. PIETROCOLA, M. Maurício Pietrocola; POGIBIN, A.; ANDRADE, R.; RAQUEL, T. Física em contextos. SP: FTD, v.3, 2000. 496 p.
9. YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. Física III Eletromagnetismo. São Paulo: Pearson, 2011. 448 p.
10. GRIFFITHS, D.J. Eletrodinâmica. Trad. Heloisa Coimbra de Souza. 3 ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2011. 424 p.
11. EISBERG, R.; RESNICK, R. *Física quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas*. 23ª tiragem. Rio de Janeiro: Editora Campus. 1979. 461 p.
12. PUREUR, P. Estado sólido. Porto Alegre: IF – UFRGS, 2001. 229p.

Livros (Didática):

13. FREIRE, P. Pedagogia da Autonomia - Necessários à Prática Educativa. 36ª Edição. RJ: Paz e Terra, 1996. 165 p. (Coleção Saberes).
14. VIGOTSKI, L. S. A construção do pensamento e da linguagem(2a ed., P. Bezerra, trad.). SP: Martins Fontes, 2001. 496 p.
15. LIBÂNEO, J.C. Organização e Gestão da Escola: teoria e prática. GO: Alternativa, 2001.
16. DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. Ensino de ciências: fundamentos e métodos. SP: Cortez, 2002.
17. BOURDIEU, Pierre. Classificação, desclassificação, reclassificação. Em NOGUEIRA, M. A. e CATANI, A. (orgs.) Escritos de Educação. Petrópolis, RJ : Vozes, 2002

Vídeos:

18. Freitas & Oliveira. Vídeo-aulas: Semicondutores no Ensino Médio. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=Zer4Yd1_JFw&list=PLnN6K9veRimDtpheMV9tvsLkYwnd1VqQW , acesso em: 22/06/2020 às 15h.
19. Henri Ivanov Boudinov. Conferência: Do silício até os semicondutores orgânicos. VII EEEFís. UFRGS. 2017. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=Wdm-bCIPbpw_360p , acesso em: 22/06/2020 às 15h.
20. Maurício Pietrocola. Maurício Pietrocola fala sobre estratégias de ensino. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=UFPGPsV8ZBU> , acesso em: 22/06/2020 às 15h.
21. José Abdalla Helayël-Neto. Conferência: A experiência do PVNC-Petrópolis e a Física como disciplina de recuperação da auto-estima. VII EEEFís. UFRGS. 2017. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=G8bt8WL2KtM> , acesso em: 22/06/2020 às 15h.

Imagens:

brasilecola.uol.com.br

infoescola.com

wikipedia.org

globoesporte.globo.com

fandoms

Anexo I: Imagens



chipe



dhalsin-dcheroes
rpg_fandon_com
-wiki



diodo



discurso bolso



empresas-do-val
e-do-silicio



enem grafico
gols



energia-solar



ferramentas-met
âlicas_ferpam_co
m



guerrero-globoes
porte_globo_co
m



isolante e semic



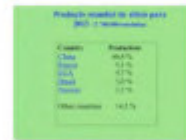
isolantes-brasil_e
scola_com_br



metais



niobio-brasil_esc
ola



produção
mundial de
silicio



ronaldo-lance_co
m_br



silicio-info_escol
a



tp completa



trans



vale do nióbio



yoda-starwars_fa
ndom_com_br