

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

JÚLIO CÉSAR MARQUES JÚNIOR

**O ENSINO DOS CIRCUITOS ELÉTRICOS NA EDUCAÇÃO BÁSICA EM UMA
ABORDAGEM INVESTIGATIVA USANDO DE ANALOGIAS**

VIÇOSA – MINAS GERAIS

2020

JÚLIO CÉSAR MARQUES JÚNIOR

**O ENSINO DOS CIRCUITOS ELÉTRICOS NA EDUCAÇÃO BÁSICA EM UMA
ABORDAGEM INVESTIGATIVA USANDO DE ANALOGIAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Alexandre Tadeu Gomes de Carvalho

Coorientadora: Regina Simplicio Carvalho

VIÇOSA – MINAS GERAIS

2020

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

M357o
2020 Marques Júnior, Júlio César, 1987-
O ensino dos circuitos elétricos na educação básica em uma
abordagem investigativa usando de analogias / Júlio César
Marques Júnior. – Viçosa, MG, 2020.
93 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexo.

Orientador: Alexandre Tadeu Gomes de Carvalho.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.70-74.

1. Física (Ensino médio) - Estudo e ensino. 2. Circuitos
elétricos. 3. Analogia. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Física. Programa de Pós-Graduação de Física.
II. Título.

CDD 22. ed. 530.7

JÚLIO CÉSAR MARQUES JÚNIOR

**O ENSINO DOS CIRCUITOS ELÉTRICOS NA EDUCAÇÃO BÁSICA EM UMA
ABORDAGEM INVESTIGATIVA USANDO DE ANALOGIAS**

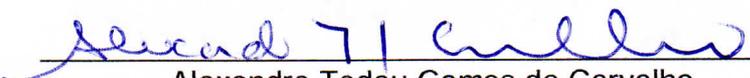
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 28 de fevereiro de 2020.

Assentimento:



Júlio César Marques Júnior
Autor



Alexandre Tadeu Gomes de Carvalho
Orientador

**A Deus e toda minha família por
representarem tudo pra mim.**

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Alexandre Tadeu e minha coorientadora Regina Simplício, pelas estadias, pelo incentivo e motivação durante o trabalho, pelas horas de conversas sempre muito produtivas e pelas ótimas ideias.

Aos meus tios Cleonir e Senhorinha Adriana, por me cederem sua casa no decorrer de todo o trabalho, pela ajuda, pelo carinho e pela confiança depositada em mim.

A minha esposa Laís e ao meu filho Francisco, pelo tempo que estive ausente dedicando a esse trabalho, pela paciência e companheirismo que me fizeram chegar até aqui.

A Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

Aos meus pais e minha irmã pelo amor, confiança e por sempre acreditarem em mim.

A toda minha família por representarem o alicerce da minha vida.

A todos os professores do mestrado profissional pelos ensinamentos.

Aos meus amigos pelas horas de bate-papo e diversão.

A todos os colegas e amigos da escola Senador Francisco.

A todos os meus alunos que fizeram parte dessa pesquisa.

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

**“A mente que se abre a uma nova ideia
jamais voltará ao seu tamanho
original”. (Albert Einstein)**

RESUMO

MARQUES, Júlio César Júnior, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2020. **O ensino dos circuitos elétricos na educação básica em uma abordagem investigativa usando de analogias.** Orientador: Alexandre Tadeu Gomes de Carvalho. Coorientadora: Regina Simplicio Carvalho.

O ensino por investigação é uma abordagem didática que conduz os alunos a se alfabetizarem cientificamente, envolvendo-os na resolução de problemas reais e no exercício da investigação. Para alguns conceitos da física, como o de resistividade, não há experimentos capazes de revelarem direta e explicitamente os aspectos microscópicos associados a este conceito. Neste trabalho investigamos a utilização de uma situação problema análoga para a resistividade e resistência, o análogo mecânico, cuja experimentação é mais facilmente acessível, e que apresenta os elementos essenciais para a compreensão dos fenômenos. Para tanto elaboramos uma sequência didática que introduz o modo analógico de pensar por meio do uso da analogia hidráulica para os circuitos elétricos. As aulas são dirigidas no sentido de mostrar a aplicação e as limitações das analogias, inclusive a limitação da analogia hidráulica em atribuir materialidade ao conceito de resistividade e resistência elétricas. Diferente do que ocorre com o análogo mecânico, que explicita os fenômenos-chaves associados à resistividade e a resistência. A sequência didática foi aplicada a duas turmas do ensino médio de uma escola pública, entretanto é nossa avaliação que o avanço na aprendizagem dos alunos foi discreto.

Palavras-chave: Física (Ensino médio) – Estudo e ensino, Circuitos elétricos, Analogia.

ABSTRACT

MARQUES, Júlio César Júnior, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2020. **The electrical circuits teaching in basic education by inquiry based teaching approach using analogies.** Advisor: Alexandre Tadeu Gomes de Carvalho. Co-advisor: Regina Simplicio Carvalho.

Inquiry based teaching is a didactic approach that leads students to become scientifically literate, involving them in solving real problems and carrying out research. For some physics concepts, such as resistivity, there are no experiments capable of directly and explicitly revealing the microscopic aspects associated with this concept. In this work we investigate the use of analogue scenery for resistivity and resistance, the mechanical analog, whose experimentation is more easily accessible, and which presents the essential elements for the understanding of the phenomena. For this purpose, we elaborated a didactic sequence that introduces an analogue way of thinking through the use of hydraulic analogy for electrical circuits. The classes are aimed at showing the application and limitations of analogies, including the limitation of the hydraulic analogy in attributing materiality to the concept of electrical resistivity and resistance, differently from what happens with the mechanical analog, which explains the key phenomena associated with resistivity and resistance. The didactic sequence was applied to two high school classes in a public school, however it is our assessment that the progress in students' learning was discreet.

Keywords: Physics (High School) - Study and teaching, Electric circuits, Analogy.

SUMÁRIO

Capítulo 1 – Introdução.....	9
Capítulo 2 – Introdução.....	14
2.1 – Ensino por analogias.....	16
2.2 – Métodos de ensino por analogias.....	18
2.3 – A abordagem de Ensino por Investigação.....	21
2.4 – Um método para o ensino por investigação.....	26
Capítulo 3 – A Física do Estado Sólido.....	32
3.1 – A estrutura cristalina.....	32
3.2 – Modelo dos “elétrons livres”.....	34
3.3 – Teoria das bandas e os “elétrons de Bloch”.....	37
3.4 – Analogias para a resistividade e lei de Ohm.....	44
Capítulo 4 – Metodologia.....	49
Capítulo 5 – Resultados da Aplicações.....	58
5.1 – Descrição das turmas e Resultados.....	58
5.2 – Resultados Gerais.....	61
5.3 – Melhorias na sequência didática.....	62
5.4 – Melhorias no análogo mecânico.....	64
Capítulo 6 – Conclusões.....	68
Referencias Bibliográficas.....	70
ANEXOS.....	75

Capítulo 1

Fundamentação Teórica

O ensino de física nas escolas públicas do estado de Minas Gerais começa no 9^a ano do ensino fundamental II. Durante o ano letivo, o aluno divide sua atenção entre a física e a química, sendo ambos conteúdos ministrados por professores com formação em biologia/ciências (Milaré, 2010). O documento CBC de CIÊNCIAS¹, emitido pela Secretaria de Estado da Educação de Minas Gerais (SEE-MG) dispõem sobre conteúdos a ser ensinados que, em uma abordagem transdisciplinar e introdutória, abrangem toda a Física Clássica e a Atomística.

É no 1^a ano do ensino médio que os discentes passam a cursar a Física como disciplina específica. Os conteúdos do ensino médio são também estabelecidos pela SEE-MG por meio do documento CBC de FÍSICA² e abrangem, de maneira holística e contextualizada, toda a física Clássica e uma brevíssima apresentação da Física Moderna. É a partir daí, também, que parcela significativa dos alunos passam a cultivar aversão à disciplina (Santos et al. 2015).

Efetivamente, a física que se aprende durante todo o ensino médio praticamente se restringe à Mecânica Clássica e o ensino ainda é aquele tradicional, o professor é o detentor do conhecimento que é transmitido por meio do discurso e da escrita na lousa, e os alunos, passivamente, ouvem e copiam a matéria (Moreira 2018). Além disso, a física é usualmente apresentada de forma matematizada, valorizando-se somente a resolução de cálculos através de fórmulas e equações matemáticas. Os conceitos de física são esquecidos e as perguntas conceituais e que não necessitam de números praticamente não existem. O resultado disso é que os alunos não veem sentido em aprender algo que está completamente fora do seu cotidiano e que, segundo eles, é igual a matemática e “em vez de desenvolverem uma predisposição para aprender Física, como seria esperado para uma

¹ Conteúdo Básico Comum (CBC) de CIÊNCIAS do Ensino Fundamental do 6^o ao 9^o ano – Exames Supletivos/2018.

² Conteúdo Básico Comum (CBC) de FÍSICA do Ensino Médio – Exames Supletivos/2018.

aprendizagem significativa, geram uma indisposição tão forte que chegam a dizer, metaforicamente, que “odeiam” a Física” (Moreira 2018 p.73).

Moreira (2018) atribui esta situação a vários fatores como os que seguem: carreira docente desvalorizada, baixos salários, salas cheias, carga horária extensa, professores despreparados, falta de formação continuada para os educadores, alunos sendo preparados somente para testagem, conteúdos que não passam de listas a serem cumpridas, defasagem dos estudantes em português e matemática, matéria considerada difícil e abstrata, etc.

Na tentativa de contribuir para mudar esse cenário no qual a física é “odiada” pelos alunos, propomos ensinar a Física de modo investigativo a fim de tornar o conteúdo tangível e interessante para os alunos, reduzindo o caráter abstrato, inclusive por meio do uso de analogias, facilitando a aprendizagem e fomentando que os alunos assumam algum protagonismo no processo. Temas como a relatividade restrita, física quântica e o próprio conceito de resistividade, para os quais é difícil a apresentação de uma situação problema, apresentam um alto grau de abstração e são considerados extremamente difíceis. É então necessário desenvolver métodos para os quais os alunos se sintam mais a vontade para estudar e aprender física, como por exemplo, o uso de problemas análogos, ou analogias.

Desenvolvemos então uma sequência didática, composta por três etapas, em uma abordagem de ensino por investigação e com o uso de analogias. A sequência didática foi produzida em slides PowerPoint, uma vez que esse tipo de tecnologia possibilita a utilização de várias formas de comunicação como textos, sons, imagens, vídeos, experimentos virtuais, entre outras. Além disso, esse tipo de tecnologia se faz presente na vida dos alunos, pois os mesmos fazem usos de smartphones e computadores.

Esta metodologia, desenvolvida com alunos do 3^a ano de uma escola pública da cidade de Guanhães/MG, tem como objetivo a inserção do estudante na prática investigativa e o desenvolvimento de habilidades cognitivas capazes de compreender a natureza ao seu redor através do conhecimento de conteúdos de física.

Este trabalho desenvolveu-se no âmbito do programa de Mestrado Profissional Nacional em Ensino de Física (MPNEF) na Universidade Federal de

Viçosa (MG) – Polo UFV. O propósito do programa reside em possibilitar que professores no efetivo exercício do magistério possam conhecer, vivenciar e aplicar práticas de ensino inovadoras e experiências metodológicas a fim de melhorar o ensino/aprendizagem de física no Brasil.

A nossa sequência didática incorpora vídeos de curta duração, sendo que dois deles são de nossa produção, o primeiro trata da lei de Ohm e o segundo versa sobre o reostato. O primeiro vídeo conduz a equação da lei de Ohm através da construção de um gráfico de tensão versus corrente. O segundo vídeo tem a função de mostrar que a resistência elétrica é um limitador de corrente, e isso pode ser feito de maneira qualitativa, observando o brilho de uma lâmpada ou, de maneira quantitativa, fazendo medidas diretas da corrente elétrica e da tensão. Os dois experimentos apresentados nos vídeos são bastante acessíveis e de fácil montagem, podendo ser replicados pelo professor ou mesmo pelos alunos de maneira segura.

Montamos também um análogo mecânico para o circuito elétrico que se tornou elemento central do nosso trabalho. Através dele é possível relacionar vários conceitos do circuito elétrico bem como compreender o conceito bastante abstrato sobre resistividade. A montagem deste análogo, assim como os vídeos citados anteriormente, também é simples e pode ser realizada com materiais de baixo custo.

Os dois vídeos são utilizados como o problema a ser resolvido durante o ensino por investigação. Após a exibição dos experimentos que se constituem nas situações problema, o professor fomenta a discussão de modo que os alunos possam levantar hipóteses, tirar suas próprias conclusões e apresentar os resultados de maneira autônoma.

Também fizemos uso, durante a aplicação da metodologia, de simulações computacionais Phet³ referente ao tema. As simulações do Phet podem ser aproveitadas como complemento, uma vez que elas possibilitam a experimentação virtual, favorecendo a discussão, o levantamento de hipóteses e sintetizando as conclusões.

A aplicação do conhecimento ocorre através da feitura, pelos alunos, de testes conceituais bem como de avaliações bimestrais. É importante que durante a aplicação do conhecimento as questões propostas sejam contextualizadas de

³ Simulações computacionais disponibilizadas pela Universidade do Colorado EUA. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/category/physics

maneira que o discente se sinta motivado a resolvê-las. Pozo (2002 apud Zômpero e Laburú, 2010 p.14) “salienta que compreender requer um esforço e o aluno deve ter algum motivo para esforçar-se”.

Ao dar início ao desenvolvimento da sequência didática, percebemos que era necessário ministrar uma pré-aula sobre a estrutura da matéria devido ao grande número de alunos que não tinha qualquer conhecimento sobre o assunto. Essa pré-aula não se encontra presente nesta dissertação, mas dependendo do público essa aula pode ser de extrema importância.

Neste capítulo 1, tentamos situar o leitor sobre o âmbito do nosso trabalho, nossa metodologia e nossa motivação. No capítulo 2, primeiro apresentamos uma discussão a respeito da metodologia de ensino por analogias e sobre o ensino por investigação. No capítulo 3, expomos a teoria física do nosso trabalho, composto pela apresentação do conceito de condutor cristalino, dos modelos de “elétron livre”, de Drude e Sommerfeld, do modelo bandas de energia de Kronig-Penney e do modelo do “elétron de Bloch”. Essa discussão não é encontrada nos livros de ensino médio, mas a nosso ver, ela é extremamente importante para apresentar aos estudantes a origem física real da resistência elétrica, dando materialidade a este conceito. Discutimos ainda a correlação dos conceitos de resistividade e resistência elétrica sob a perspectiva das analogias hidráulica, mecânica e de multidão. No capítulo 4, exibimos a metodologia seguida durante o desenvolvimento da sequência didática. No capítulo 5, apresentamos nossos resultados, bem como propomos mudanças na própria sequência didática de modo a torná-la mais eficiente. Também discutimos maneiras de melhorar o análogo mecânico. Já no último capítulo, o capítulo 6, evidenciamos a nossa conclusão a respeito de todo o trabalho.

Toda a sequência didática assim como os vídeos produzidos por nós durante esse trabalho encontra-se no site <https://juliocesarjunior87.wixsite.com/produtoedc> e pode ser acessado por qualquer pessoa.

Parte do trabalho no qual relatamos nessa dissertação foi apresentado por nós, nas formas de pôster e oral, no evento abaixo referenciado:

“O ENSINO DOS CIRCUITOS ELÉTRICOS NA EDUCAÇÃO BÁSICA EM UMA ABORDAGEM INVESTIGATIVA USANDO DE ANALOGIAS”, resumo de autoria de Júlio César Marques Júnior e Alexandre Tadeu Gomes de Carvalho, apresentado no

Encontro Regional Sudeste do MNPEF realizado nos dias 5 e 6 de julho de 2019 na Universidade Feral de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Minas Gerais.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

Acredita-se que a cognição humana possui mecanismos de associação analógica que estão presentes nos seres humanos desde os primeiros anos de vida (French, 2002). É comum o uso de analogias nas mais variadas situações do cotidiano, elas estão presentes em ditos populares, na retórica política, na pregação religiosa e no discurso científico ao longo da história da ciência, sendo há muito reconhecidas como recurso de grande importância para a cognição humana, inclusive no ensino de ciências. Os professores utilizam da linguagem analógica para simplificar e dar concretude a conceitos abstratos, comparando sistemas menos familiares, conceitos ou mesmo objetos, com outros mais familiares, permitindo que os estudantes estabeleçam ligações entre o seu mundo e o mundo das teorias e abstrações.

Quando encontra um novo tópico de aprendizagem o estudante procura interpretá-lo em termos de esquemas existentes (subsunções de Ausubel et al 1980). Se for bem-sucedido, ele compreenderá o tópico e não será necessário criar novos esquemas mentais. Eventualmente, não existindo previamente esquemas mentais que possam oferecer uma explicação satisfatória para a compreensão desse novo tópico um “esquema analógico” poderá ser utilizado, o qual deve ter atributos semelhantes e irrelevantes com este tópico. Presumivelmente, o “esquema analógico” funcionará como um modelo para gerar um novo esquema mental para o tópico. Os atributos semelhantes (atributos análogos) serão transmitidos do “esquema analógico” para o novo esquema, “o esquema do tópico” (Zeitoun, 1984)

A linguagem analógica mapeia correspondências entre um domínio familiar, ou análogo, com outro desconhecido por meio de alguma relação estrutural existente num domínio que possa também ser aplicada no outro domínio. Tal relação induz um modo de raciocínio para compreensão dos fenômenos desconhecidos, análogo ao utilizado nos domínios conhecidos, propiciando que

novos conhecimentos sejam assimilados com base em informações anteriormente armazenadas. É a habilidade de ver um determinado objeto ou situação em um contexto semelhante à de outro objeto ou situação posto em outro contexto (Gentner, 2001). As analogias podem desempenhar um papel relevante no processo de tomada de decisões, na obtenção de conhecimento e na modelagem da cognição, podendo ajudar os alunos a construir seu próprio conhecimento, em um processo consistente com a visão do ensino por investigação. À medida que os alunos se desenvolvem cognitivamente e aprendem mais ciência, eles evoluem além dessas analogias, desenvolvendo modelos mentais mais sofisticados e abrangentes.

O ensino por investigação é uma estratégia educacional na qual são usadas práticas científicas como questionamentos, coleta de dados, raciocínios lógicos e de comparação, elaboração de hipóteses e sua testagem, trocas de informações e sua sistematização, elaboração de conclusões e sua socialização. A investigação envolve os alunos em um processo de aprendizado autodirigido, parcialmente indutivo e parcialmente dedutivo. Ela capacita os alunos ao trabalho em grupo, fomenta o desenvolvimento de uma postura reflexiva, bem como da capacidade argumentativa e, a partir de uma análise crítica dos fenômenos em estudo, oportuniza os discentes a construir seu próprio conhecimento, situando-os no centro do processo de aprendizagem (Windschitl et al, 2008; Carvalho, 2014).

Quando o professor leva uma situação problema para a sala de aula, ele coloca em xeque tudo aquilo que o aluno já internalizou em relação a conhecimentos anteriormente adquiridos. A situação problema envolve a apresentação de um problema a ser investigado pelo aluno e que, portanto, não tem solução previamente conhecida. Na busca de uma solução para esse problema, diferentes estratégias se colocam, e é esse processo de busca e de tomada de consciência, que é caracterizada pela passagem da ação manipulativa para a ação intelectual, é o que Piaget chama de acomodação (Carvalho, 2014).

Há campos do conhecimento da Física nos quais a experimentação é sofisticada ou inacessível, tornando difícil a oferta para os alunos de uma situação problema tangível. Esta é uma situação encontrada, por exemplo no estudo da teoria da relatividade de Einstein e da física de partículas, entre outros. É também encontrada no estudo dos circuitos elétricos, onde o conceito de resistividade envolve compreender os mecanismos de espalhamento a que ficam sujeitos os

elétrons que se propagam na rede cristalina de um sólido submetido a um campo elétrico. Não há experimentos capazes de revelarem direta e explicitamente os aspectos microscópicos associados a este conceito, assim é oportuno elaborar uma situação problema análoga, que seja mais facilmente acessível. O uso de analogias pode oferecer uma forma de problematização para os casos acima mencionados e alguns trabalhos envolvendo analogias e ensino por investigação são reportados (Nworgu e Otum, 2013.; Yerrick et al, 2003.; Korganci, et al, 2015; Ukoh e Adejimi, 2018).

2.1 - Ensino por analogias

A minha labuta diária no Ensino de Física, enquanto professor, tem mostrado que ensinar temas complexos e abstratos nos confronta com uma enorme dificuldade para ministrar o conhecimento ao aluno e conduzi-lo a plena compreensão do assunto. Na tentativa de mudar esse quadro, muitas vezes buscamos algo já conhecido pelo aluno para tentar comparar com esse novo conhecimento, a fim de que eles possam nos entender.

É nessa perspectiva que muitos docentes e materiais didáticos recorrem ao uso de analogias. Segundo o dicionário da língua portuguesa, analogia significa de modo geral “relação de semelhança entre coisa ou fatos distintos” ou, naquilo que tange a física, “correspondência que pode ser estabelecida entre fenômenos cuja conceituação física é distinta, mas cujas grandezas são descritas por funções matemáticas com propriedades semelhantes ou idênticas”. Na perspectiva de Aubusson, Treagust e Harrison (2009, p. 199) “Uma analogia é um processo de identificação de semelhanças entre dois conceitos. O conceito familiar é chamado de analógico e o conceito de ciência não familiar é chamado de alvo.” Assim, ao se fazer uso de analogias o professor quer correlacionar o novo conhecimento com algo já enraizado no cotidiano do aluno.

No ensino de física, ou de ciências de modo geral, o uso de analogias pode ser uma ferramenta muito importante quando se pretende ensinar algo difícil e

impalpável aos seus alunos. Segundo Dagher (2000 apud Teixeira 2010, p.34), “os professores usam analogias para simplificar os conceitos difíceis e tornar concretas as noções abstratas, comparando sistemas menos familiares, conceitos ou mesmo objetos, com outros mais familiares”.

Existem muitos benefícios quanto ao uso de analogias no ensino de ciências. Fonseca (2011) enfatiza as seguintes:

a) abrem novas perspectivas e, como tal, são ferramentas valiosas na aprendizagem sob mudança conceitual; b) podem facilitar a compreensão dos conceitos mais abstratos, valorizando as semelhanças; c) podem facilitar a visualização de conceitos abstratos; d) podem estimular um maior interesse dos alunos e, assim, motivar a sua participação; e) permitem levar em consideração os conhecimentos prévios dos alunos, para além de revelar concepções “alternativas” nas áreas já ensinadas (Duit 1991 apud Fonseca 2011, p.1).

No entanto a aplicação de analogias a fim de melhorar o ensino de física não pode ser feita de maneira impensada. Escolher uma analogia ao acaso e aplicar para ensinar determinado conceito pode não retornar um resultado satisfatório. Para Aubusson, Treagust e Harrison (2009, p. 199) “ao usar uma analogia no ensino de ciências, o ideal é que os professores selecionem uma analogia apropriada para o mundo dos estudantes para ajudar na explicação do conceito de ciências.” Ainda segundo (Duch, 1996) é consenso entre educadores que a aprendizagem de novos conceitos, desprendidos do cotidiano do aluno, faz com que o conhecimento seja meramente acadêmico e dificulta a interpretação de situações do mundo real associadas ao que foi aprendido na escola.

Usar uma analogia separada do contexto do aluno poderá resultar em não entendimento dos novos conceitos abordados.

“O aluno só identificará uma analogia se esta relacionar um assunto sobejamente de seu conhecido, do seu dia-a-dia, do seu meio sociocultural. Por isso a Educação deve centrar-se não em leis e postulados, mas sim em problemas de contexto real, vivenciados pelos alunos” (Rosa 2010, p. 7).

Um fato importante presente nos estudos sobre analogias é que elas são consideradas como “espadas de dois gumes” (Harrison & Treagust, 2006). Quando são usadas de maneira correta, são capazes de melhorar o entendimento dos

alunos e desenvolver noções científicas sólidas (Aubusson, Treagust e Harrison 2009). Porém, quando utilizadas de maneira equivocada, podem levar o aluno ao aprendizado incorreto ou prejudicado fazendo com que o estudante desenvolva concepções científicas erradas (Bachelard, 1996).

Em alguns casos, os efeitos produzidos pelas analogias acabam se tornando o oposto do pretendido como afirma Aubusson, Treagust e Harrison (2009).

O uso de analogias no ensino de ciências nem sempre produz os efeitos pretendidos, especialmente quando os alunos levam uma analogia longe demais e são incapazes de diferenciá-la do conteúdo que está sendo aprendido. Alguns alunos se lembram apenas da analogia e não do conteúdo em estudo; outros alunos se concentram em aspectos estranhos da analogia e tiram conclusões espúrias sobre o conceito de alvo (Aubusson, Treagust e Harrison 2009, p.200).

Muitos livros didáticos do ensino médio apresentam analogias para tentar facilitar o entendimento de conceitos complexos de ciências. No entanto, estudos mostram que, apesar das analogias serem frequentes, os livros textos não mostram se quer quais são as limitações dessas analogias, fazendo com que mesmo as analogias mais simples, acabam por produzir juízos errados na cabeça dos estudantes (Stockmayer & Treagust, 1994). Ocorre também, que alguns materiais didáticos apresentam as analogias somente nas margens dos textos, substituindo algum componente sem importância (Aubusson, Treagust e Harrison 2009).

2.2 - Métodos de ensino por analogias

Algumas metodologias de ensino das ciências com analogias foram desenvolvidas considerando suas potencialidades (favorece a compreensão de conteúdos abstratos, a solução de problemas, a identificação de novos problemas e a generalização de hipóteses) e suas limitações (pode de produzir concepções alternativas e obstáculos epistemológicos capazes de bloquear a aprendizagem). Dentre eles estão a metodologia de Ensino com Analogias (TWA), de Glynn (2007), e o Guia FAR, de Treagust, Harrison e Venville (1998). Tanto a TWA quanto a FAR

são modelos instrucionais que pressupõem o mapeamento da estrutura como um modelo de aprendizado. Neste trabalho vamos nos ater ao Guia (FAR) Foco - Ação - Reflexão.

O *foco* consiste na decisão de quando usar a analogia considerando as dificuldades do tema a ser ensinado, se os alunos já conhecem algo sobre o novo conceito a ser aprendido e se o analógico faz parte do seu cotidiano.

A *Ação* concerne na aplicação direta da analogia em sala de aula quando o professor consegue perceber a proximidade do aluno com o analógico e detecta os pontos semelhantes entre o analógico e o alvo e as limitações da própria analogia. Segundo Aubusson, Treagust e Harrison (2009),

Para conseguir isso, os recursos do analógico e do alvo são negociados socialmente com os alunos, as semelhanças são traçadas entre eles e as maneiras pelas quais o analógico e o alvo não são semelhantes são explicitamente identificadas. A fase de ação do ensino analógico geralmente envolve não mais do que três etapas cognitivas: (a) familiaridade com o analógico, (b) mapeamento dos atributos compartilhados e (c) negociação com os alunos onde a analogia se quebra (Aubusson, Treagust e Harrison 2009, p.205).

A *Reflexão* acontece no final das aulas após a analogia ter sido implementada. Nessa etapa o professor necessita pensar na nitidez da analogia, nos resultados alcançados por ela e de que maneira essa analogia pode ser melhorada. A fase de reflexão também pode ocorrer durante a aplicação da analogia, dependendo de como foi realizada a sua preparação. Na verdade, as fases não são diferentes podendo se cruzar durante o processo ensino aprendizagem. A reflexão é uma parte importante de todo ensino de qualidade, logo é natural que os professores realizem esse estágio de forma espontânea (Aubusson, Treagust e Harrison 2009).

Guia FAR

Antes das aulas (Foco, direcionar)

CONCEITO:	O conceito é difícil, desconhecido ou abstrato?
ALUNOS:	Que ideias os alunos já têm sobre o conceito?
VERIFICAR:	Os alunos têm familiaridade com o raciocínio analógico?

Durante as aulas (Ação, intervenções)

SEMELHANÇAS (relacionais entre domínios):	Discuta semelhanças entre as características do domínio analógico e do alvo. Trace similaridades entre os domínios.
	As características são superficiais ou relações profundas?
DISSEMELHANÇAS: (relacionais entre domínios):	Discuta características dissemelhantes entre os domínios analógico e alvo (conceito científico estabelecido).

Pós-aulas (Reflexões)

CONCLUSÕES:	A analogia foi clara e útil, ou confusa?
MELHORIAS:	À luz dos resultados, que mudanças são necessárias para tornar mais eficaz o uso dessa analogia?

O objetivo do Guia FAR é auxiliar os professores durante a utilização de analogias em salas de aula ou quando estas surgem em livros didáticos, potencializando os pontos positivos da analogia e minimizando as restrições ou as limitações do analógico. “Como as três fases - foco, ação, reflexão - são bastante auto-explicativas e resumem o bom ensino, a maioria dos professores assimila o Guia FAR com facilidade e seus alunos se beneficiam e desfrutam de analogias ao ensinar e aprender ciências” (Aubusson, Treagust e Harrison 2009, p.205).

Ao fazer a escolha da analogia que será usada para ensinar determinados conceitos científicos, não é necessário escolher o analógico que tem o maior grau de semelhança com o alvo, nem mesmo o analógico mais sofisticado. Mesmo as analogias mais simples e com grandes limitações em relação ao alvo, podem ser valiosas quando se pretende ensinar ciências se “o professor exigir que os alunos expliquem e discutam as analogias em profundidade para identificar as razões pelas quais a analogia não representa com precisão sua visão dos fenômenos em discussão” (Aubusson, Treagust e Harrison 2009, p.208).

Como podemos perceber o ensino de ciências, mais precisamente de física, através do uso de analogias quando utilizadas de maneira eficaz, pode representar uma excelente alternativa pedagógica capaz de melhorar o ensino aprendizagem nas salas de aula. Foi pensando nisso e na dificuldade em ensinar conceitos

relacionados ao circuito elétrico que resolvemos fazer o uso de analogias em nosso trabalho.

Pesquisa recente (2018) realizada com 202 alunos (115 homes e 87 mulheres) de escolas públicas situadas na Nigéria mostra a eficácia do ensino por analogias. A pesquisa tinha como base comparar o resultado da aplicação de três tipos diferentes de metodologia de ensino: método baseado em analogias, método baseado na experimentação e método baseado no ensino tradicional. O número total de alunos foi dividido em três turmas e cada turma foi submetida a uma metodologia diferente. Antes de iniciar a aplicação das metodologias, foram aplicadas um pré-teste para verificar se os alunos se encontravam no mesmo nível de ensino e ao final das aplicações um pós-teste para comparar qual metodologia gerou uma melhor aprendizagem significativa.

O resultado da pesquisa mostra que o ensino através de analogias tem “um efeito significativo sobre o desempenho dos alunos em Ciências Básicas” (Edidiong e Saheed 2018 p. 6) comparado ao método baseado na experimentação. Ainda de acordo com Edidiong e Saheed (2018), praticamente não verificou-se diferença nos níveis de aprendizagem apresentados pelos alunos que participaram do método tradicional e do método baseado na experimentação. Assim podemos perceber que o uso de analogias pode representar em um excelente aliado para melhorar a qualidade do ensino no Brasil.

Para Edidiong e Saheed (2018 p. 9) o ensino por analogias “foi encontrado para melhorar o conhecimento dos alunos, que por sua vez melhora o desempenho, e isso pode ser devido a mudança no modo da instrução que é o centrado no professor (método convencional) para o centrado no aluno (ensino por analogia)”.

2.3 - A abordagem de Ensino por Investigação

A um consenso comum entre toda a população que a educação brasileira precisa de mudanças. Segundo dados do Ministério da Educação (MEC) divulgados em 2017, 55% dos estudantes de 8 anos do 3º ano do ensino fundamental 1 das

escolas públicas tinham conhecimento insuficiente em matemática e leitura (G1). Em relação ao fundamental 2, o IBGE relatou que 24,2% dos jovens de 16 anos ainda não concluíram esta etapa de estudo. Entre eles, 23% não estão mais na escola (G1). Já para o ensino médio, considerado como o grande gargalo da educação básica brasileira o IBGE revelou que, “quase quatro (36,5%) em cada dez brasileiros de 19 anos não concluíram o ensino médio em 2018, idade considerada ideal para esta etapa de ensino” (G1). Além disso, “sete de cada dez alunos do 3º ano do ensino médio têm nível insuficiente em português e matemática. Entre os estudantes desta etapa de ensino, menos de 4% têm conhecimento adequado nestas disciplinas” (G1) é o que aponta a Avaliação da Educação Básica (Saeb) de 2017 divulgados pelo Ministério da Educação (MEC).

Na expectativa de mudar esse cenário o governo brasileiro homologou em 14 de dezembro de 2018 a BNCC (Base Nacional Comum Curricular), contendo uma base de tudo que se julga ser essencial que o aluno se aproprie durante sua vida escolar considerando toda a educação básica. De acordo com a (BNCC 2018, p.462) e em relação ao ensino médio, foco dessa dissertação:

Com a perspectiva de um imenso contingente de adolescentes, jovens e adultos que se diferenciam por condições de existência e perspectivas de futuro desiguais, é que o Ensino Médio deve trabalhar. Está em jogo a recriação da escola que, embora não possa por si só resolver as desigualdades sociais, pode ampliar as condições de inclusão social, ao possibilitar o acesso à ciência, à tecnologia, à cultura e ao trabalho (Parecer CNE/ CEB nº 5/201152; ênfases adicionadas).

Assim, podemos perceber que o ensino tradicional no qual o conhecimento é transmitido de maneira direta pelo professor e os alunos o consideram como único e imutável não é mais o foco da educação brasileira. Nesse tipo de ensino, os alunos aprendem conceitos abstratos e sem nexos com o cotidiano, fazendo com que ocorra uma separação entre o que foi aprendido e a sua real aplicação no dia a dia. Conforme a BNCC, aprender ciências não significa decorar formulas, leis e conceitos. O novo documento define:

Competências e habilidades que permitem a ampliação e a sistematização das aprendizagens essenciais desenvolvidas no Ensino Fundamental no que se refere: aos conhecimentos conceituais da área; à contextualização social, cultural, ambiental e

histórica desses conhecimentos; aos processos e práticas de investigação e às linguagens das Ciências da Natureza (BNCC 2018, p.547).

Se a ideia é inovar e a própria BNCC sugere a utilização de práticas investigativas no ensino de ciências, resolvemos então fazer uso nesse trabalho do ensino por investigação.

Conforme a BNCC (2018) a investigação científica:

Supõe o aprofundamento de conceitos fundantes das ciências para a interpretação de ideias, fenômenos e processos para serem utilizados em procedimentos de investigação voltados ao enfrentamento de situações cotidianas e demandas locais e coletivas, e a proposição de intervenções que considerem o desenvolvimento local e a melhoria da qualidade de vida da comunidade (BNCC 2018, p.478).

No Brasil a utilização do ensino por investigação já não é uma novidade. A inserção de práticas educativas voltadas para a investigação é encontrada nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN – 1997), mas grande maioria dos professores que atuam nos ensinos fundamental e médio, não conhece ou nunca ouviu falar sobre ensino por investigação. O interesse pelo tema vem aumentando e alguns pesquisadores e educadores brasileiros possuem vários anos de pesquisas e estudos sobre o assunto (Borges & Rodrigues, 1998; Azevedo, 2004; Carvalho, Praia & Vilches, 2005; Lima e Munford, 2007; Carvalho, 2013).

Na metodologia do ensino por investigação, o professor não mais é visto como o único e detentor de todo saber, mas torna-se um mediador no processo ensino/aprendizagem. O aluno deixa de ser um receptáculo e passa a construir seu próprio conhecimento e cabe ao professor a tarefa de mediar a aprendizagem científica e motivar o aluno na busca pelo aprendizado. Segundo Carvalho (2013) a ideia central do ensino por investigação é criar aulas de ciências voltadas para a investigação, onde o professor possa atuar como um condutor levando os alunos de maneira simplificada ao trabalho científico, de modo que aos poucos estes alunos possam ampliar passo a passo a sua cultura e linguagem científica. Ainda, de acordo com Carvalho (2013) o método investigativo proporciona aos alunos:

condições de trazer seus conhecimentos prévios para iniciar os novos, terem ideias próprias e poder discuti-las com seus colegas e

com o professor passando do conhecimento espontâneo ao científico e adquirindo condições de entenderem conhecimentos já estruturados por gerações anteriores (Carvalho 2013, p.9).

A atividade investigativa baseia-se na resolução de uma situação problema no qual, os alunos são postos a investigarem o problema, emitir hipóteses, perceber evidências e relacionar a solução com situações que envolvam seu cotidiano, promovendo no aluno um significado para aquilo que ele está aprendendo na escola. Ao propor um problema e relaciona-lo com o cotidiano do aluno, o professor potencializa um maior interesse do aluno, fazendo com que ele se torne mais predisposto a aprender determinado assunto e desenvolva a aprendizagem significativa. Para Zômpero e Laburú (2011) as características que devem estar presentes nas atividades investigativas são:

o engajamento dos alunos para realizar as atividades; a emissão de hipóteses, nas quais é possível a identificação dos conhecimentos prévios dos mesmos; a busca por informações, tanto por meio dos experimentos, como na bibliografia que possa ser consultada pelos alunos para ajudá-los na resolução do problema proposto na atividade; a comunicação dos estudos feitos pelos alunos para os de mais colegas de sala, refletindo, assim, um momento de grande importância na comunicação do conhecimento, tal como ocorre na Ciência, para que o aluno possa compreender, além do conteúdo, também a natureza do conhecimento científico que está sendo desenvolvido por meio desta metodologia de ensino (Zômpero e Laburú 2011, p.79).

As características do ensino por investigação mencionadas acima também estão presentes na BNCC, na qual considera ser de extrema importância os processos e práticas investigativas. Segundo a BNCC (2018, p.550) “a dimensão investigativa das Ciências da Natureza deve ser enfatizada no Ensino Médio, aproximando os estudantes dos procedimentos e instrumentos de investigação” fazendo com que os discentes tenham maior proximidade da prática da ciência e se aproprie da linguagem científica.

A BNCC (2018) considera que as práticas investigativas deve propiciar o protagonismo do educando favorecendo a sua inserção nos processos e práticas aplicadas na ciência e tecnologia. Durante o ensino/aprendizagem o aluno deve ser desafiado e resolver problemas que tenha relação com seu cotidiano no intuito de promover a sua curiosidade e criatividade na resolução de dilemas teóricos e/ou

experimental. Por conseguinte aumenta-se a relação entre o que foi aprendido na sala de aula e a realidade do aluno, possibilitando a interpretação de contextos complexos e mais amplos do mundo atual. “Vale a pena ressaltar que, mais importante do que adquirir as informações em si, é aprender como obtê-las, como produzi-las e como analisá-las criticamente” BNCC (2018, p.551).

Apesar de a BNCC propor que a investigação científica seja um dos temas mais importantes da nova proposta curricular, “percebemos claramente a ênfase pouco efetiva na promoção da investigação”, é o que afirma Sasseron (2018 p.1083). A BNCC apesar de citar que é necessário criar materiais didáticos voltados para a prática investigativa e que também é preciso fornecer aos professores cursos de formação continuada, não especifica quando nem como isso vai acontecer. Ou seja, ela diz como o ensino deve ser, mas não oferece subsídios necessários aos professores para que a investigação científica possa realmente ocorrer.

Sasseron (2018) assegura que para que se possa colocar em prática o que pede a BNCC é urgente e necessário a formação continuada dos professores. Neste trabalho, não podemos fornecer a formação dos professores, mas como um dos temas principais é o ensino por investigação, podemos ofertar ao menos uma maneira de ensinar circuito elétrico através da metodologia do ensino por investigação.

Não podemos confundir o ensino por investigação com uma aula de laboratório no qual o aluno segue um roteiro e responde perguntas diretas sobre o assunto. Nesse tipo de aula, o estudante tem pouca autonomia e as atividades desenvolvidas são baseadas em leis e princípios físicos utilizados para resolver questões precisas, fazendo parecer que a ciência possui conceitos fixos e imutáveis. Já no ensino por investigação, o discente é mais independente de modo que ele próprio deve agir para produzir o novo conhecimento. Conforme Azevedo (2006 apud Zômpero e Laburú 2011, p.76) “uma atividade investigativa, para que assim possa ser considerada, deve levar o aluno a refletir, discutir, explicar, relatar e não apenas se limitar a favorecer a manipulação de objetos e observação dos fenômenos”.

A investigação não precisa ocorrer somente através da manipulação de um experimento pelo estudante, de acordo com Carvalho (2013) os docentes podem usar para a prática investigativa demonstrações experimentais, figuras, gravuras,

notícias, vídeos e até mesmo textos de História da Ciências. Um item importante do ensino por investigação é a necessidade de que o problema proposto seja interessante para os alunos, a fim de que eles se sintam motivados a resolvê-lo Rodrigues (1995 apud Zômpero e Laburú 2011).

2.4 - Um método para o ensino por investigação

Carvalho (2013) propõe a SEI (Sequência de Ensino Investigativo), ou seja, uma sequência de atividades com o intuito de criar aulas que realmente contenham um caráter investigativo. Para Carvalho (2013) a SEI deve possibilitar aos alunos: oportunidades para que possam usar seus subsunçores como base para o novo conhecimento, expor as próprias ideias e poder discuti-las com os colegas e com o professor migrando do saber puro para o saber científico e obtendo requisitos que sirvam de base para compreenderem saberes já constituídos por gerações anteriores.

A SEI é dividida da seguinte maneira: inicia-se por um problema contextualizado, logo após deve-se usar uma atividade para a sistematização do conhecimento, depois, uma segunda atividade contextualizada com o cotidiano do aluno e por fim uma avaliação/aplicação no intuito de avaliar o aprendizado.

Carvalho (2013) sugere vários tipos de problemas, o mais comum é o experimental que pode ser manuseado pelo próprio aluno ou demonstrativo realizado pelo professor. No entanto, figuras, vídeos ou mesmo textos podem se tornar ótimos problemas para aplicação de uma SEI. Independentemente do tipo de problema utilizado, o material didático que servirá como apoio para a aplicação deve estar bem organizado, ser de fácil manejo e intrigante.

A SEI apresentada por Carvalho (2013) sugere que a aplicação do problema experimental manuseado pelo aluno seja dividida em etapas, como representado abaixo:

Etapa 1 – Distribuição do material e proposição do problema.

Nesta etapa os alunos devem ser divididos em grupos pequenos, o material experimental deve ser entregue e o problema apresentado à turma. O professor deve ficar atento e observar se todos entenderam qual é o problema a ser resolvido, no entanto, deve tomar cuidado para não dar a resposta do problema.

Etapa 2 – Resolução do problema.

“Nessa etapa, o importante não é o conceito que se quer ensinar, mas as ações manipulativas que dão condições aos alunos de levantar as hipóteses” (Carvalho, 2013 p. 11). São as hipóteses responsáveis por produzir ideias e chegar ao novo conhecimento. As hipóteses erradas também devem ser valorizadas, pois a partir delas os alunos diminuem as variáveis do problema facilitando a resolução. O erro também ensina. Além disso, a parte afetiva acaba sobressaindo uma vez que é muito mais fácil para o aluno discutir e trocar ideias com o próprio colega do que com o professor.

Durante a etapa é importante que o professor verifique se os alunos realmente entenderam o problema e deixem eles trabalhem por conta própria.

Etapa 3 – Sistematização do conhecimento.

O professor deve recolher o material, separar os pequenos grupos e criar um grande grupo envolvendo todos da sala, de preferência em círculo, para que os alunos possam expor e discutir suas ideias e hipóteses. Enquanto os alunos escutam uns aos outros e respondem ao professor, eles vão relembrando o que fizeram e construindo o novo conhecimento que está sendo sistematizado.

Nesta etapa o professor é extremamente importante e ao responderem as perguntas feitas pelo professor, os alunos estão passando da fase de manipulação para a fase intelectual e conseqüentemente produzindo práticas científicas.

O professor deve fazer perguntas do tipo: “Como vocês conseguiram resolver o problema, por que vocês acham que deu certo, ou como vocês explicam o porquê de ter dado certo”, Carvalho (2013 p. 12) de modo que os alunos ao responderem as perguntas sejam levados à discussão científica.

Se durante a sistematização, for necessária a construção de dados e tabelas, o professor se tornará ainda mais importante, pois é ele quem vai construir a ponte para ligar essa nova linguagem científica a linguagem oral conhecida pelos alunos.

Etapa 4 – Escrever e desenhar

Etapa na qual o aluno deve trabalhar sozinho. O professor deve solicitar que o aluno escreva e/ou desenhe sobre aquilo que ele aprendeu. Segundo Oliveira e Carvalho (2005),

o diálogo e a escrita são atividades complementares, mas fundamental nas aulas de ciências, pois, como o diálogo é importante para gerar, clarificar, compartilhar e distribuir ideias entre os alunos, o uso da escrita se apresenta como instrumento de aprendizagem que realça a construção pessoal do conhecimento (Oliveira e Carvalho 2005 apud Carvalho 2013 p. 13).

Para os outros tipos de problemas investigativos, Carvalho (2013) sugere que sejam seguidas as quatro etapas apresentadas anteriormente, no entanto, ela chama a atenção para algumas partes importantes.

Na aplicação da demonstração investigativa, no qual é o professor que realiza o experimento e os alunos observam, Carvalho (2013 p.13) recomenda que antes do professor iniciar a demonstração experimental, faça perguntas do tipo: “Como vocês acham que eu devo fazer”, de modo que os alunos possam começar a levantar suposições e indicar soluções. A resolução do problema não pode acabar juntamente com o termino do experimento, e perguntas como: “o que nós fizemos para resolver o problema e por que quando eu fiz essas ações o problema foi solucionado”, são muito importantes para que o aluno possa perceber o que o professor fez e de início a etapa discursiva.

No caso dos problemas não experimentais, compostos por textos, figuras, imagens ou vídeos, podem ser usados tanto no inicio de uma SEI, ou também como uma atividade complementar. Estes problemas devem seguir as mesmas etapas do problema experimental, no entanto, normalmente a principal função destes tipos de problemas é de inserir os alunos em outras linguagens científicas como leitura e interpretação de tabelas e gráficos, conhecimento e interação com termos científicos nunca vistos, etc.

Carvalho (2013) afirma que mesmo após cumprir todas as etapas de aplicação da SEI, é importante que o professor apresente um texto de sistematização de todo o conhecimento visto. “A sistematização dessa linguagem mais formal torna-se necessária, uma vez que, durante todo o debate em que se deu

a construção do conhecimento pelo aluno, a linguagem de sala de aula era mais informal que formal” (Carvalho 2013 p.15).

As atividades responsáveis pela contextualização do conhecimento também são consideradas de suma importância. Perguntas como: “no seu dia a dia onde vocês podem verificar esse fenômeno” (Carvalho 2013 p.16), apesar de simples, leva o aluno a perceber a real aplicação do novo conhecimento aprendido e faz com que esse conhecimento se torne mais valorizado. Ao aplicarmos o conteúdo aprendido em algo que esteja presente no cotidiano do aluno, fazemos com que a natureza do material a ser aprendido se torne “logicamente significativa, suficientemente não arbitrária e não aleatória em si, de modo que possa ser relacionada, de forma substantiva e não arbitrária, a ideias correspondentemente relevantes que se situem dentro do domínio da capacidade humana de aprender” (Moreira e Masini, 2006, p.23) favorecendo a aprendizagem significativa e inibindo a aprendizagem mecânica.

Ao finalizar um ciclo de aplicação de uma SEI é necessário que o professor aplique uma avaliação que tem como função observar se o aluno está ou não aprendendo o conteúdo. O teste deve estar pautado em verificar os seguintes termos: “avaliações dos conceitos, termos e noções científicas, avaliação das ações e processos da ciência e avaliações das atitudes exibidas durante as atividades de ensino” (Carvalho 2013 p.18). A fim de acompanhar o rendimento dos seus alunos é importante que o professor possa reparar e anotar dados referentes aos alunos durante toda a aplicação da SEI.

As avaliações das SEIs, por estarem mais voltadas para a aprendizagem conceitual, devem estar sistematizadas por questionamentos, construção de painéis, atividades de “pense e resolva” ou questionários sobre os pontos mais importantes que foram desenvolvidos durante a atividade (Carvalho 2013).

Em um estudo recente realizado pelo Laboratório de Pesquisa e Ensino de Física da Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo (LAPEF) e apresentado por Carvalho em um artigo de dezembro de 2018 indica que a aplicação das SEI se mostra muito mais eficiente no ensino fundamental I do que nas aulas de física do ensino médio.

Segundo Carvalho 2018, o que o professor deve mais se preocupar durante a aplicação de uma SEI é na elaboração do problema a ser resolvido e no grau de

liberdade intelectual dado ao aluno. O problema é o responsável por gerar as hipóteses e as ideias nos alunos e a liberdade intelectual é que fornece a determinação necessária para a argumentação, para o questionamento e para apresentar suas opiniões. Em outras palavras, Carvalho (2018 p. 767) define liberdade intelectual como sendo as “condições em sala de aula para os alunos poderem participar sem medo de errar”.

Uma das grandes diferenças encontradas durante a aplicação da SEI entre o ensino fundamental I e ensino médio foi justamente a liberdade intelectual. No ensino médio, normalmente o professor não dava o tempo necessário para o aluno pensar e responder as perguntas propostas, e então, ele mesmo acabava respondendo as questões e dando sequência ao conteúdo.

Outro ponto destacado por Carvalho (2018) refere-se à complexidade do problema. O problema apresentado ao ensino fundamental I é muito mais simples que aquele retratado no ensino médio, fazendo com que os professores do fundamental se sintam mais seguros e confiantes para a aplicação da SEI. Os problemas do ensino médio tornam-se complexos “pois são construídos para abranger o ensino e a aprendizagem das várias linguagens das ciências: escrita, oral, gráfica e a matemática” (Carvalho 2018 p. 788).

O tempo com a turma também parece ser um diferencial. Os professores do fundamental I passam muitas horas com a turma diariamente, o que facilita a relação entre professor/aluno e permite ao educador conhecer bem a sala. Já os professores do ensino médio, possuem muitas turmas cheias e poucas aulas por semana, o que dificulta sua interação com a classe.

O último fator, mas não menos importante, é “a possibilidade de discutir seus problemas de ensino com suas colegas que falam a mesma língua” (Carvalho 2018 p. 788), ou seja, o professor do fundamental I tem a possibilidade de conversar com seus colegas sobre a aplicação da SEI durante os intervalos ou nas reuniões pedagógicas, tendo então um apoio para a novidade. Já os professores de ciências do ensino médio (física, química e biologia) quase sempre são os únicos professores da escola e acabam não tendo o mesmo suporte que tem os docentes do fundamental I.

Nessas condições de trabalho, a maioria dos professores do nível médio, não podendo alcançar os dois conceitos básicos do ensino

por investigação – organização de problemas e liberdade intelectual para os alunos – têm grande dificuldade de trabalhar com as sequências de ensino investigativo, mesmo que sejam eles os próprios autores das sequências (Carvalho 2018 p. 789).

Entretanto, Carvalho (2018) afirma que o ensino por investigação continua sendo uma ótima metodologia e que podemos perceber isto através das várias pesquisas realizadas pelo (LAPEF), grupo da qual a autora faz parte.

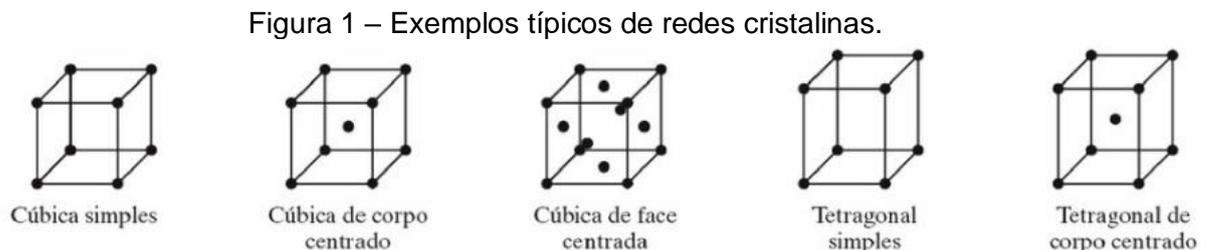
Capítulo 3

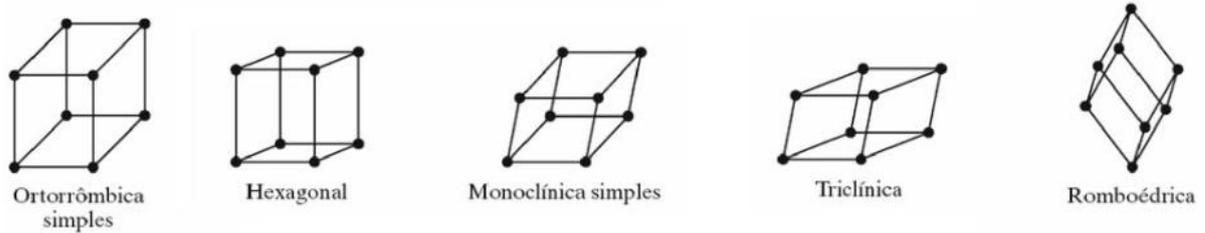
A Física do Estado Sólido

Nesse capítulo iremos abordar uma pequena parte da Física do Estado Sólido, que é à base da aplicação da nossa sequencia didática fundamentada no uso de analogias e no ensino por investigação em torno das leis de Ohm. A Física do Estado Sólido não está presente nos livros do ensino médio, mas a nosso ver, os conceitos relacionados a essa temática pode ser uma ferramenta importante na compreensão da lei de Ohm.

3.1 – A estrutura cristalina

No ensino médio o conceito de estados da matéria, sólido, líquido e gasoso, é abordado primeiramente na Termodinâmica em termos da composição atômica e molecular da matéria (Pietrocola et al, 2010 e Gaspar, 2004). Um sólido cristalino é caracterizado pela repetição periódica de um padrão básico, composto por átomos ou moléculas, que se estende por todo o volume (Amoreira e Jesus, 2001). Na figura 1 estão representados alguns exemplos de estruturas cristalinas puras (ideais) mostrando esse padrão de recorrência.





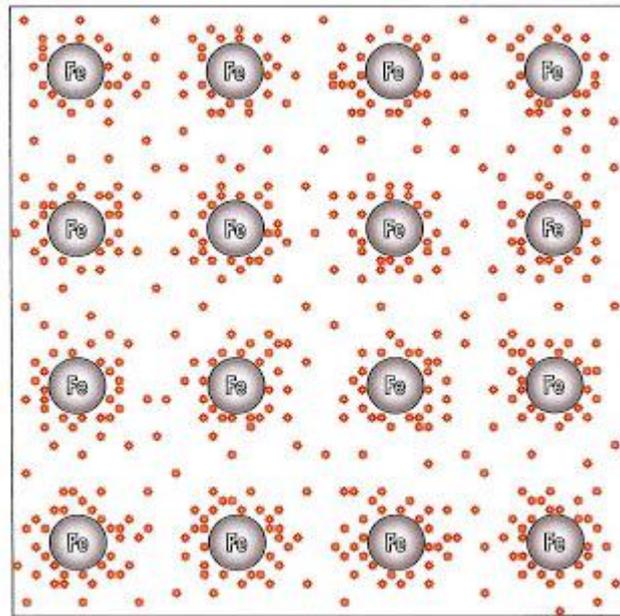
Fonte: Youg & Freedman, 2008, p.282.

O metal é um tipo de sólido cristalino e se caracteriza por possuir na sua estrutura, elétrons fracamente ligados às subcamadas atômicas mais externas, podendo esses elétrons serem liberados dos átomos e ficarem livres para circularem pelo cristal. Os “elétrons livres” não ficam em posições fixas ao redor dos íons e as funções de ondas que os caracterizam espalham-se por distâncias muito maiores que o tamanho do átomo.

Podemos descrever o cristal metálico como uma rede de íons positivos, periodicamente distribuídos no espaço e imersos em um gás de “elétrons livres”, os quais podem circular livremente em torno dos íons. A estrutura cristalina é mantida unida em razão da interação entre íons positivos e “elétrons livres”. São esses “elétrons livres” que fazem do cristal metálico um ótimo condutor de eletricidade e calor. Em razão de excitações térmicas os íons vibram em torno da posição de equilíbrio e os elétrons livres movem-se pelo cristal mesmo na ausência de um campo elétrico. O mar de elétrons se assemelha muito aos gases e podem ser tratados como modelo de gás de elétrons para o cristal metálico. Em um modelo mais simplificado os elétrons são considerados completamente livres (gás de elétrons livres) e suas interações com os íons positivos da rede são completamente desconsideradas (Youg & Freedman, 2008).

A figura 2 abaixo apresenta uma ilustração do cristal metálico.

Figura 2 – Exemplo de um cristal metálico.



Fonte: <https://aprendendoquimicaonline.blogspot.com/2012/01/ligacoes-metalicas.html>.

3.2 – Modelo dos “elétrons livres”

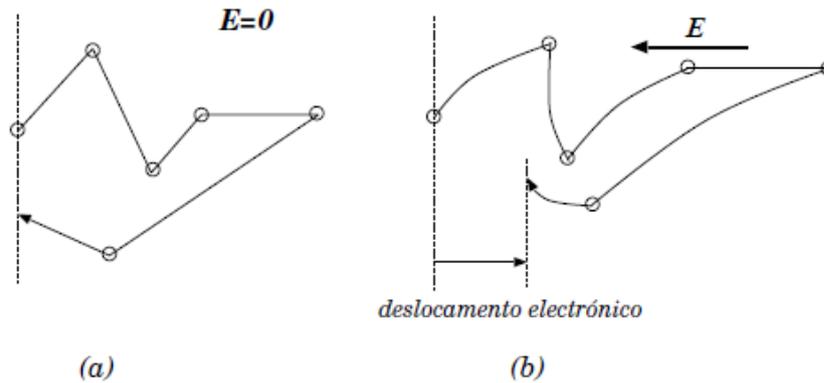
Como já vimos anteriormente, um cristal metálico, consiste em um arranjo periódico de íons positivos fixos imersos em uma “nuvem de elétrons”. A interpretação das propriedades elétricas e térmicas dos metais em termos do movimento dos “elétrons livres” foi proposta muito antes do advento da mecânica quântica, por Paul Karl Ludwig Drude, em 1900. O modelo de Drude baseia-se na física clássica, comparando o “gás de elétrons” com um gás ideal. Nesse modelo, os elétrons são considerados livres, não interagem uns com os outros, trocam energia com a rede através de colisões com a mesma.

Devido a agitação térmica da rede, os elétrons se movem ao acaso dentro do cristal e sua velocidade sofre variação tanto em módulo quanto em direção. A velocidade média dos elétrons para o movimento aleatório e $v_t \approx 10^6 \text{ m/s}$.

Quando um campo elétrico é aplicado ao metal, os elétrons modificam seu movimento aleatório e na média eles deslocam-se muito lentamente na direção oposta ao campo elétrico com uma velocidade conhecida por velocidade de arraste

na qual vale $v_d \approx 10^{-4} \text{ m/s}$. Na figura 3 está representado o movimento dos elétrons (a) na ausência de um campo elétrico externo (b) e na presença deste.

Figura 3 – Exemplo do movimento de um elétron. (a) movimento aleatório sem um campo aplicado. (b) sob ação de um campo elétrico.



Fonte: Amoreira e Jesus 2001, p. 76.

Considerando um elétron de massa m e carga elétrica $-e$, o efeito do espalhamento pode ser representado pela equação do momento linear dos elétrons através da inserção de um tempo de relaxação $-p/\tau$ conforme está apresentado na equação abaixo:

$$\frac{d\mathbf{p}}{dt} = -\frac{\mathbf{p}}{\tau} + \mathbf{F} \quad (1)$$

Mas $\mathbf{F} = -e\mathbf{E}$, então a equação acima se torna:

$$\frac{d\mathbf{p}}{dt} = -\frac{\mathbf{p}}{\tau} - e\mathbf{E} \quad (2)$$

Já que $\mathbf{j} = -nev_d = -ne\mathbf{p}/m$ a equação do movimento pode ser escrita como:

$$\frac{d\mathbf{j}}{dt} = -\frac{\mathbf{j}}{\tau} - \frac{ne^2}{m}\mathbf{E} \quad (3)$$

A solução dessa equação diferencial nos conduz a:

$$\mathbf{j} = \frac{ne^2\tau}{m} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \mathbf{E} \quad (4)$$

Quando t tende ao infinito a expressão leva a lei de Ohm,

$$\mathbf{j} = \frac{ne^2\tau}{m} \mathbf{E} \quad (5)$$

Onde σ é a condutividade elétrica expressa por,

$$\sigma = \frac{ne^2\tau}{m} \quad (6)$$

A equação acima relaciona a condutividade elétrica σ , uma grandeza macroscópica que pode ser determinada experimentalmente, com três grandezas microscópicas e , m e τ .

O modelo de Drude consegue explicar qualitativamente a lei de Ohm e é capaz de demonstrar a relação existente entre a temperatura e a condutividade elétrica para alguns metais. No entanto o modelo falha ao explicar a dependência da temperatura com a condutividade para os semicondutores, não é capaz de prever o efeito Hall positivo, mostra que a condutividade não depende da orientação do campo o que não é válido para todos os condutores e não consegue elucidar a pergunta mais importante: por que alguns sólidos são condutores e outros não (Amoreira e Jesus, 2001). Experimentos demonstraram que um elétron livre em um cristal metálico pode mover-se sem choques por percursos correspondentes a muitas distâncias interatômicas, em desacordo com o modelo de Drude.

Em 1927, Arnold Johannes Wilhelm Sommerfeld foi o primeiro a aplicar os conceitos da mecânica quântica e da estatística quântica ao gás de elétrons livres. Com isso, várias propriedades do gás de elétrons, não descritas pelo modelo de Drude, puderam ser explicadas. Sommerfeld considerou gás de elétrons livres no estado de equilíbrio térmico e aplicou o princípio da exclusão de Pauli e a função distribuição de Fermi-Dirac. Entretanto, este modelo ainda não explica porque os metais cristalinos são tão transparentes aos elétrons livres e nem porque alguns sólidos são condutores e outros não.

O pressuposto de que os elétrons nos sólidos são livres é equivocada e para responder a estes e outros questionamentos deve-se considerar as interações entre os elétrons de condução e a rede cristalina (Ashcroft, 2011).

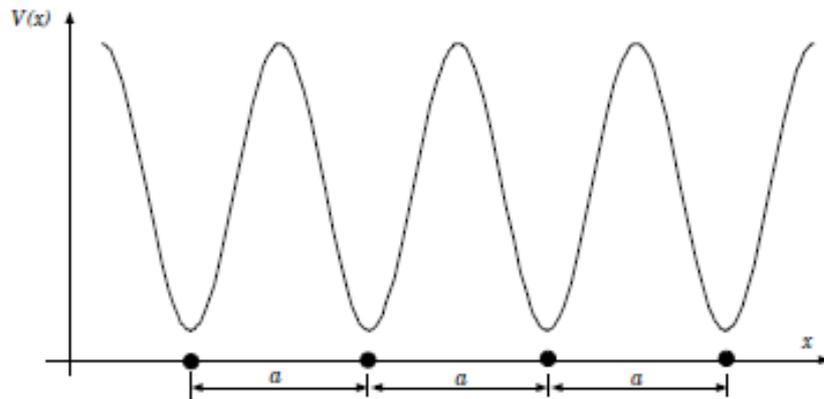
A aplicação da teoria quântica do sólido cristalino deu origem ao que conhecemos como teoria de bandas de energia e ao modelo dos “elétrons de Bloch”, o qual considera a interação dos elétrons com o potencial periódico da rede e com os centros espalhadores (Ashcroft, 2011 e Amoreira e Jesus, 2001).

3.3 – Teoria das bandas e os “elétrons de Bloch”

A aplicação da teoria quântica ao sólido cristalino deu origem ao que conhecemos como teoria de bandas de energia e ao modelo dos elétrons de Bloch, no qual se considera a interação dos elétrons com o potencial periódico da rede e com os centros espalhadores.

Considerando a rede cristalina como um arranjo tridimensional e periódico é razoável concluir que o potencial elétrico da rede também seja periódico e com a mesma periodicidade da rede. Como o elétron é negativo e os íons da rede são positivos, o potencial elétrico deve conter mínimos nas posições ocupadas pelos íons como representado na figura 4 (Amoreira e Jesus, 2001).

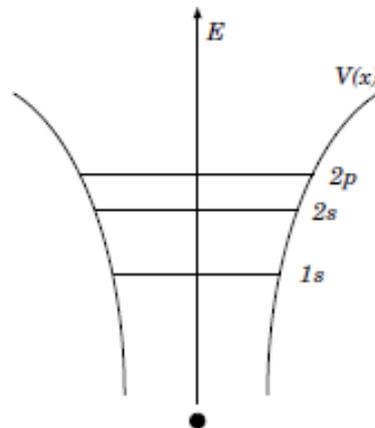
Figura 4 – Exemplo de um potencial periódico em uma dimensão



Fonte: Amoreira e Jesus 2001, p. 98.

Quando os átomos estão longe uns dos outros os elétrons praticamente não sofrem interação dos átomos vizinhos, ficando ele confinado somente aos orbitais (1s, 2s, 2p, etc.) permitidos pelo átomo no qual está ligado. Um exemplo desses orbitais (níveis energéticos) é apresentado na figura 5.

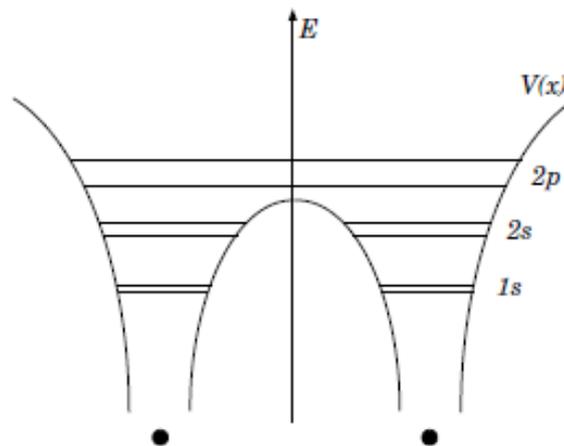
Figura 5 – Níveis de energia para um átomo.



Fonte: Amoreira e Jesus 2001, p. 98.

Já quando aproximamos dois átomos idênticos, os níveis de energia se sobrepõem criando dois subníveis, sendo a separação entre eles tanto maior quanto maior for a energia do nível que deu origem. Veja figura 6.

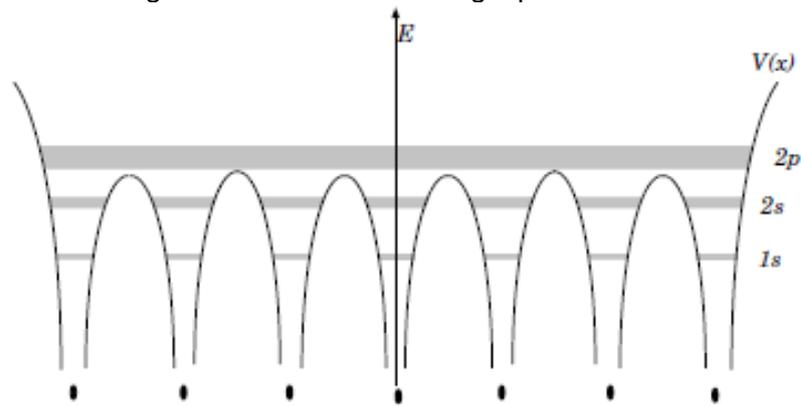
Figura 6 – Níveis de energia para dois átomos próximos.



Fonte: Amoreira e Jesus 2001, p. 99.

Agora, quando consideramos uma rede cristalina, onde o número de átomos é extremamente grande, na ordem de 10^{23} átomos/mol, a sobreposição resultante faz com que os subníveis fiquem tão próximos uns dos outros que formam um contínuo conhecido como *bandas* de energias, como representado na figura 7.

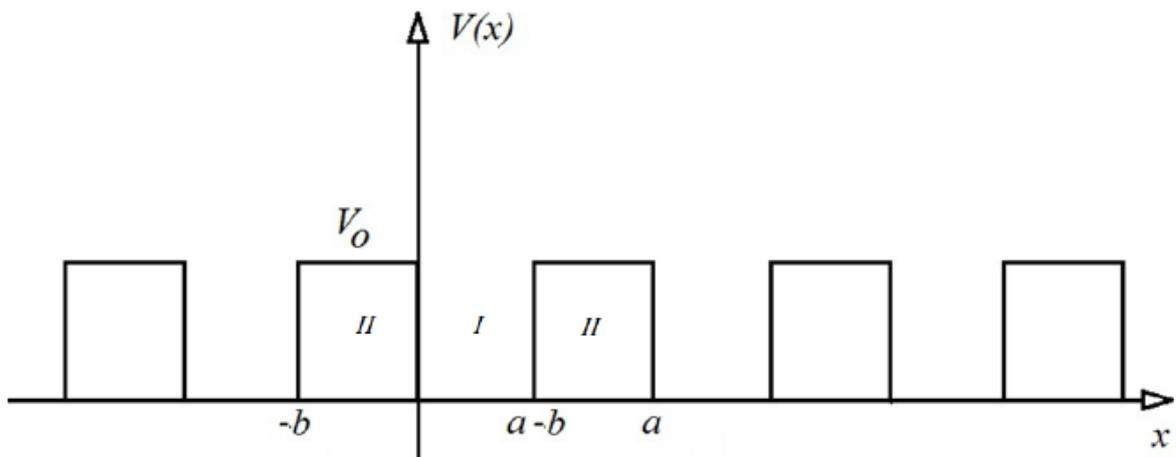
Figura 7 – Bandas de energia para um cristal.



Fonte: Amoreira e Jesus 2001, p. 99.

Uma representação mais simples para o potencial periódico é fornecida pelo modelo de Kronig-Penney, conforme mostra a figura 8, baseia-se em uma série de poços de potencial quadrados acoplados.

Figura 8 –Potencial de Kronig-Penney.



Fonte: Augusto. C., p.38.

Escrevendo a equação de Schrödinger unidimensional para um elétron de energia ϵ que se move através de um potencial $V(x)$:

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi(x)}{dx^2} + V(x)\psi(x) = \epsilon \psi(x) \quad (7)$$

Rearranjado a equação acima temos:

$$\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} [\epsilon - V(x)]\psi(x) = 0 \quad (8)$$

As funções de onda de elétrons sujeitos a um potencial periódico do tipo Kroning-Penney devem ter a forma da chamada função de Bloch. Em 1928 Felix Bloch demonstrou que a forma das funções de ondas $\psi(\vec{x})$ dos elétrons que se movem em um cristal periódico é a de ondas planas monocromáticas, $e^{i\vec{k}\cdot\vec{x}}$, multiplicada por uma função $u(\vec{x})$ que contém a periodicidade da rede.

$$\psi(\vec{x}) = u(\vec{x}) e^{i\vec{k}\cdot\vec{x}} \quad (9)$$

Tomando a primeira derivada da função de Bloch:

$$\frac{d\psi(x)}{dx} = \frac{du(x)}{dx} \cdot e^{ikx} + u(x)ike^{ikx} \quad (10)$$

Fazendo a segunda derivada da função acima:

$$\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} = \frac{d^2u(x)}{dx^2} \cdot e^{ikx} + \frac{du(x)}{dx} \cdot ike^{ikx} + \frac{du(x)}{dx} \cdot ike^{ikx} + u(x)ik \cdot ike^{ikx} \quad (11)$$

$$\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} = \frac{d^2u(x)}{dx^2} \cdot e^{ikx} + \frac{du(x)}{dx} 2ike^{ikx} + u(x)i^2k^2e^{ikx} \quad (12)$$

$$\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} = \frac{d^2u(x)}{dx^2} \cdot e^{ikx} + \frac{du(x)}{dx} 2ike^{ikx} - u(x)k^2e^{ikx} \quad (13)$$

Substituindo o resultado da segunda derivada na equação de Schrödinger e dividindo tudo por e^{ikx} temos:

$$\frac{d^2u(x)}{dx^2} + \frac{du(x)}{dx} 2ik + u(x) \left\{ \frac{2m}{\hbar^2} [\epsilon - V(x)] - k^2 \right\} \quad (14)$$

Mas $\hbar = \frac{h}{2\pi}$, então a equação acima se torna:

$$\frac{d^2u(x)}{dx^2} + \frac{du(x)}{dx} 2ik + u(x) \left\{ \frac{4\pi^2}{h^2} 2m [\epsilon - V(x)] - k^2 \right\} \quad (15)$$

Substituindo o resultado anterior na região I da figura 8 onde $V(x) = 0$:

$$\frac{d^2u_I(x)}{dx^2} + 2ik \frac{du_I(x)}{dx} + (\beta^2 - k^2)u_I(x) = 0 \text{ para } 0 < x < a - b \quad (16)$$

onde $\beta = \frac{2\pi}{h} \sqrt{2\epsilon m}$.

Para a região II da figura 8 onde $V(x) = V_0$

$$\frac{d^2 u_{II}(x)}{dx^2} + 2ik \frac{du_{II}(x)}{dx} - (k^2 + \alpha^2)u_{II}(x) = 0 \text{ para } a - b < x < a \quad (17)$$

onde $\alpha = \frac{2\pi}{h} \sqrt{2m(V_0 - \epsilon)}$

As soluções das duas equações acima são da forma:

$$u_I(x) = [A \cos(\beta x) + B \sin(\beta x)] e^{-ikx} \text{ para } 0 < x < a - b \quad (18)$$

$$u_{II}(x) = [C \cosh(\alpha x) + D \sinh(\alpha x)] e^{-ikx} \text{ para } a - b < x < a \quad (19)$$

Como o potencial $V(x)$ é finito em qualquer ponto, as soluções para $u_I(x)$ e $u_{II}(x)$ devem ser contínuas bem como suas derivadas. A continuidade em $x = 0$ impõe que:

$$u_I(0) = u_{II}(0) \rightarrow A = C \quad (20)$$

e a continuidade em $x = a - b$ combinada com a exigência de que $u(x)$ seja periódica resulta em:

$$u(a - b) = u(-b) \quad (21)$$

$$[A \cos \beta(a - b) + B \sin \beta(a - b)] e^{-ik(a-b)} = [C \cosh(\alpha b) - D \sinh(\alpha b)] e^{ikb} \quad (22)$$

Simplificando:

$$[A \cos \beta(a - b) + B \sin \beta(a - b)] = [C \cosh(\alpha b) - D \sinh(\alpha b)] e^{ika} \quad (23)$$

A continuidade da primeira derivada em $x = 0$ exige que:

$$\left. \frac{du_I(x)}{dx} \right|_{x=0} = \left. \frac{du_{II}(x)}{dx} \right|_{x=0} \quad (24)$$

$$\frac{du_I(x)}{dx} = [-A\beta \sin(\beta x) + B\beta \cos(\beta x)] e^{-ikx} - ik[A \cos(\beta x) + B \sin(\beta x)] e^{-ikx} \quad (25)$$

$$\frac{du_{II}(x)}{dx} = [C \alpha \sinh(\alpha x) + D \alpha \cosh(\alpha x)] e^{-ikx} \quad (26)$$

$$- ik[C \cosh(\alpha x) + D \sinh(\alpha x)] e^{-ikx}$$

Assim, $B\beta - ikA = D\alpha - ikC$, mas como $A = C$, $B\beta = D\alpha$.

A primeira derivada deve ser contínua em $x = a - b$. Combinando com o fato de que $u(x)$ deva ser periódica, temos que:

$$\left. \frac{du_I(x)}{dx} \right|_{x=a-b} = \left. \frac{du_{II}(x)}{dx} \right|_{x=-b} \quad (27)$$

$$\begin{aligned}
& \{-A\beta \text{sen}[\beta(a-b)] + B\beta \cos[\beta(a-b)]\}e^{-ik(a-b)} \\
& \quad - ik\{A\cos[\beta(a-b)] + B\text{sen}[\beta(a-b)]\}e^{-ik(a-b)} \quad (28) \\
& = [-C\alpha \text{senh}(\alpha b) + D\alpha \cosh(\alpha b)]e^{ikb} - ik[C\cosh(\alpha b) - D\text{senh}(\alpha b)]e^{ikb}
\end{aligned}$$

Levando em consideração os resultados anteriores, podemos simplificar esta última equação, tendo como resultado:

$$\{A\beta \text{sen}[\beta(a-b)] - B\beta \cos[\beta(a-b)]\} = [-C\alpha \text{senh}(\alpha b) + D\alpha \cosh(\alpha b)]e^{ika} \quad (29)$$

Logo, temos quatro equações homogêneas com quatro constantes desconhecidas, A, B, C, e D:

$$A - C = 0 \quad (30)$$

$$[A\cos\beta(a-b) + B\text{sen}\beta(a-b)] - [C\cosh(\alpha b) - D\text{senh}(\alpha b)]e^{ika} = 0 \quad (31)$$

$$B\beta - D\alpha = 0 \quad (32)$$

$$\begin{aligned}
& \{A\beta \text{sen}[\beta(a-b)] - B\beta \cos[\beta(a-b)]\} - \\
& \quad [-C\alpha \text{senh}(\alpha b) + D\alpha \cosh(\alpha b)]e^{ika} = 0 \quad (33)
\end{aligned}$$

Este conjunto de equações tem solução se:

$$\begin{vmatrix}
1 & 0 & -1 & 0 \\
0 & \beta & 0 & -\alpha \\
\cos\beta(a-b) & \text{sen}\beta(a-b) & -\cosh(\alpha b)e^{ika} & \text{senh}(\alpha b)e^{ika} \\
\beta \text{sen}[\beta(a-b)] & -\beta \cos[\beta(a-b)] & \alpha \text{senh}(\alpha b)e^{ika} & -\alpha \cosh(\alpha b)e^{ika}
\end{vmatrix} = 0 \quad (34)$$

O resultado da matriz acima é:

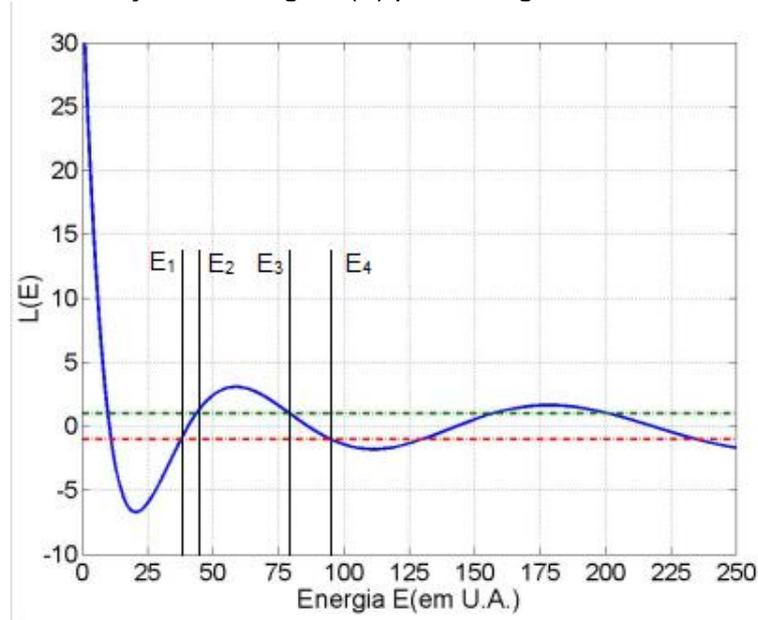
$$\cos(ka) = \frac{\alpha^2 - \beta^2}{2\alpha\beta} \text{senh}(\alpha b) \text{sen}[\beta(a-b)] + \cosh(\alpha b) \cos\beta(a-b) \quad (35)$$

Onde $e^{ika} + e^{-ika}$ foi substituído por $2\cos(ka)$. O lado esquerdo dessa equação está limitado entre o intervalo $-1 \leq \cos(ka) \leq 1$. Já o lado direito da equação, por conter funções hiperbólicas pode ultrapassar esses valores. Isso significa que nem todos os valores de energia ϵ no lado direito da equação, terão solução real de k , ou seja, estas serão energias proibidas (denominadas “gaps” de energia).

Definindo $L(\epsilon) = \frac{\alpha^2 - \beta^2}{2\alpha\beta} \sinh(\alpha b) \sin[\beta(a - b)] + \cosh(\alpha b) \cos\beta(a - b)$ e

considerando os valores de $\left(\frac{2\pi}{h}\right)^2 2mV_0 = 250$, $a = 1$ unidade de comprimento e $b = 0,9$ unidades de comprimento, podemos gerar o gráfico da figura 9.

Figura 9 – Gráfico da função da energia $L(E)$ pela energia E do modelo de Kronig-Penney.



Fonte: Adaptado de Augusto. C., p.43.

As bandas de energias permitidas se encontram entre os intervalos $\epsilon_1 \leq E \leq \epsilon_2$ e $\epsilon_3 \leq E \leq \epsilon_4$ assinalados na figura 9. Entre as bandas de energias permitidas encontramos os gaps de energia, ou seja, as energias proibidas. O conceito de bandas de energia oferece outro modo para classificar os materiais em condutores, semicondutores e isolantes e de compreender a diferença entre eles.

Nos modelos de “elétrons livres”, considera-se que os elétrons sofram colisões com os íons fixos da rede, no entanto, os valores obtidos para o livre caminho médio (distância entre duas colisões consecutivas) são muito maiores que as distâncias interatômicas, considerando temperaturas próximas à temperatura ambiente (Amoreira e Jesus, 2001).

O modelo de Kronig-Penney apresentado acima tem como base o teorema de Bloch e segundo este, um elétron que ocupa um estado de Bloch $\psi(\vec{x})$ em um cristal

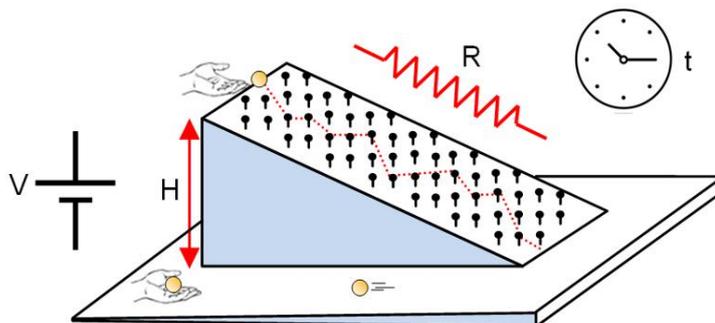
ideal, permanece nesse estado se não existir forças externas atuando no sistema uma vez que o próprio estado de Bloch já considera as interações dos elétrons com os íons fixos. Nessa perspectiva, os “elétrons de Bloch” não sofrem colisões com os íons da rede (Amoreira e Jesus, 2001).

Mas os “elétrons de Bloch” podem mudar seu estado, no entanto isso só ocorre quando os elétrons colidem com algum defeito da rede, qualquer que seja sua natureza. Assim, “os elétrons de Bloch não sofrem colisões com os átomos regularmente dispostos no cristal, mas apenas com os defeitos no cristal, que estão mais afastados entre si que os átomos que o constituem” Amoreira e Jesus, (2001 p.109). Isso explica o porquê dos valores previstos para o livre caminho médio serem muito maiores que as distâncias interatômicas, uma vez que os defeitos da rede encontram-se muito mais distantes uns dos outros do que os íons fixos do cristal.

3.4 – Analogias para a resistividade e lei de Ohm

O modelo do análogo mecânico para a lei de Ohm consiste em uma esfera que se desloca, devido ao campo gravitacional, por uma rampa inclinada cravejada de pregos igualmente espaçados (reproduzindo uma estrutura hexagonal) simulando uma rede cristalina. A esfera é liberada da parte superior da rampa e o seu movimento é o análogo ao movimento dos elétrons em uma rede cristalina, conforme representado na figura 10.

Figura 10 – Análogo mecânico para a lei de Ohm.

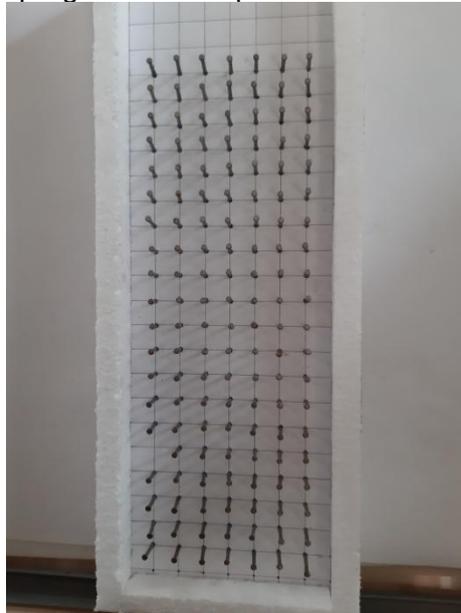


Fonte: Carvalho et al, 2019.

A altura H da rampa é análoga a diferença de potencial, V , a corrente elétrica, i , é análoga ao inverso do tempo de queda da esfera, $1/t$, e os pregos fixos de forma igualmente espaçadas é análogo aos íons fixos presentes na rede cristalina. O modelo assemelha-se ao modelo de Drude-Lorentz em que considera que os elétrons não interagem entre si (as esferas não se tocam) mas, que sofrem colisões com os íons da rede (a esfera colide com os pregos durante a queda) aparentando o modelo de elétrons livres.

No entanto o modelo de Drude-Lorentz considera que a rede cristalina é uma rede perfeita e sem impurezas. Então, se utilizássemos uma rede cúbica simples, como representada na figura 1, para montar um análogo mecânico, teríamos os pregos em fileiras de acordo com a figura 11. Para esse tipo de configuração, a esfera irá descer praticamente sem tocar nos pregos ou sofrendo somente um espalhamento, fazendo com que a resistência da rampa se torne praticamente nula.

Figura 11 – Análogo mecânico para a lei de Ohm considerando uma rede cúbica simples onde os pregos estão dispostos todos enfileirados.

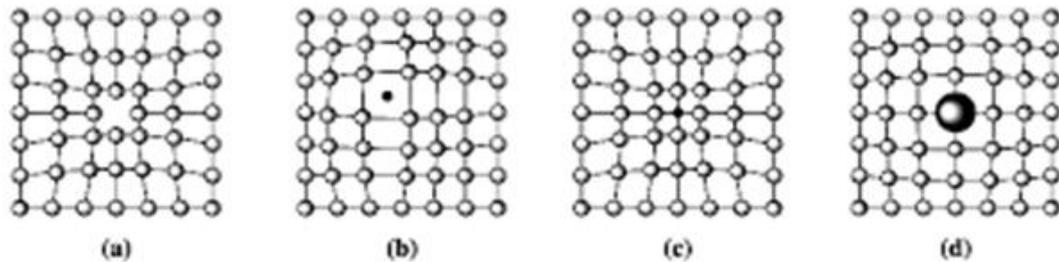


Fonte: O autor.

Já o teorema de Bloch considera que a rede cristalina possui inúmeras imperfeições e que na verdade é a interação entre os elétrons e estas imperfeições que é responsável pelo espalhamento dos elétrons e consequentemente pela

resistência do material. Abaixo apresentamos alguns possíveis defeitos presentes em uma rede cristalina.

Figura 12 – Defeitos presentes na rede cristalina, (a) vacância, (b) átomo intersticial, (c) e (d) átomo substitucional.



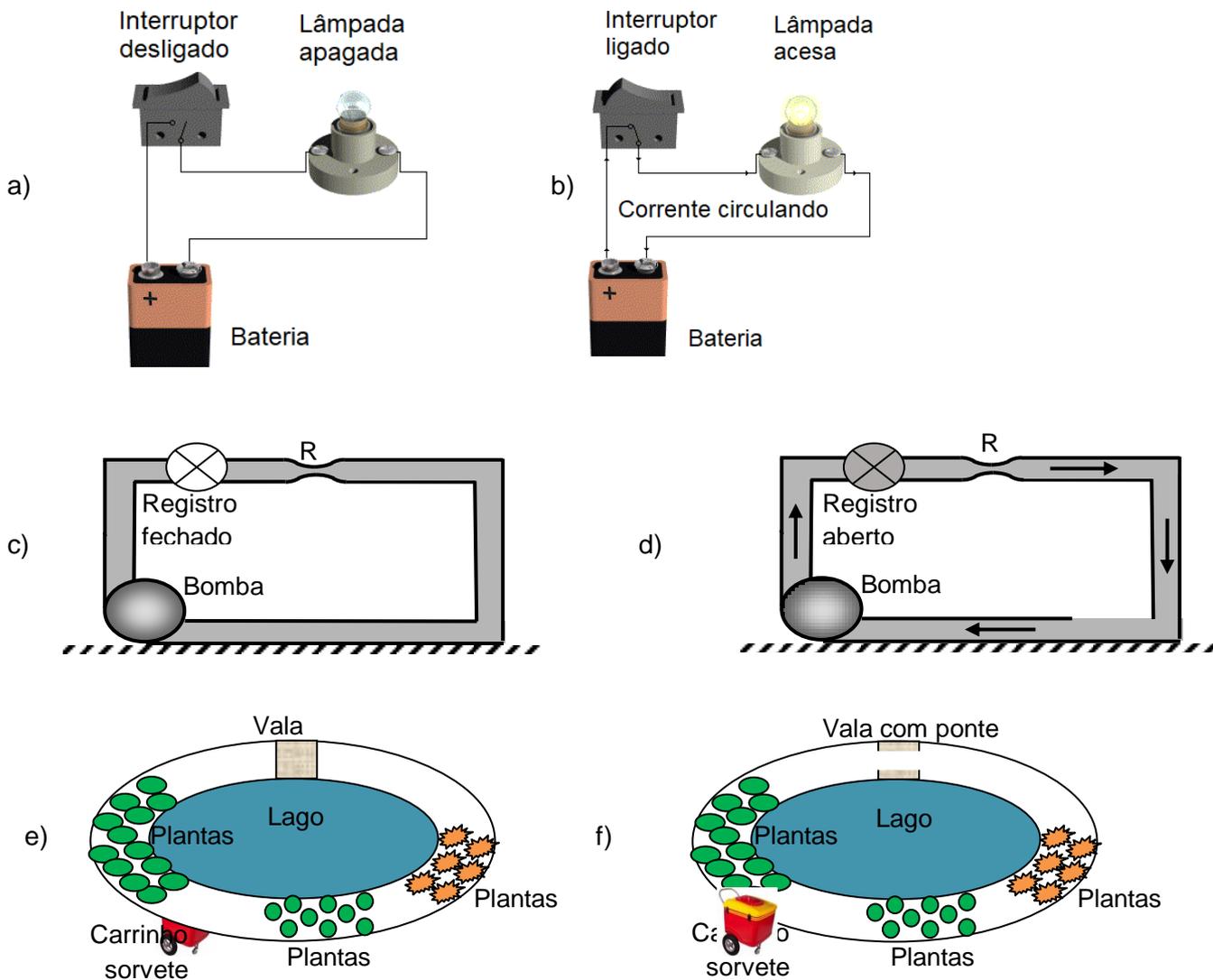
Fonte: Notas de aula do professor Alexandre Carvalho.

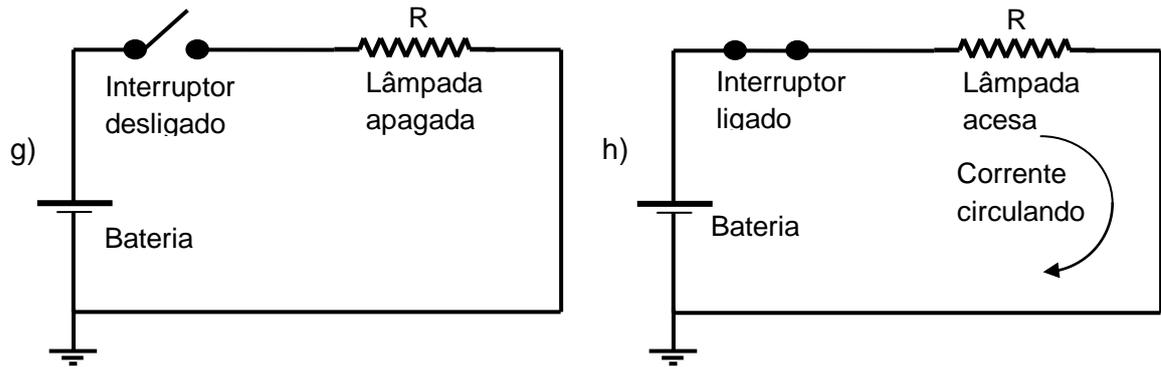
A literatura reporta, desde início do século vinte (Greenslade Jr., 2003), o emprego de analogias simples e diretas entre circuitos elétricos e circuitos hidráulicos. As analogias entre corrente elétrica e fluxo de fluido (vazão), diferença de potencial e diferença de pressão são intuitivas e podem ser aplicadas diretamente, entretanto a construção de analogias para o conceito de resistividade e resistência não apresenta sucesso equivalente uma vez que o único análogo mecânico disponível é o hexagonal perfeito que leva em consideração a interação dos elétrons com os íons fixos da rede. Na figura 13 estão representados artisticamente, (a) e (b), e esquematicamente, (g) e (h), uma bateria ligada a um interruptor e a uma lâmpada ou resistência. A analogia mais usada para explicar a eletricidade é a analogia com o fluxo de água em encanamentos, bombas, reservatórios e registros compondo circuitos hidráulicos (Gentner e Gentner, 1983), representada na figura 13, (c) e (d).

Além do análogo hidráulico, outra a analogia para a eletricidade reportada na literatura é da multidão de pessoas em movimento. Nessa analogia, a corrente elétrica é vista como uma multidão que está obrigada a passar por um portão (Gentner e Gentner, 1983). O portão é o análogo à resistência elétrica e a força com que as pessoas se empurram é o análogo à diferença de potencial aplicada. Esta analogia exhibe uma grave limitação por não apresentar análogo para a função do gerador, elemento de circuito fundamental à manutenção do movimento dirigido dos elétrons. A analogia denominada “Comportamento de crianças em um pátio escolar diante da possibilidade de ganhar um sorvete” (Almeida et al, 2014) é similar à

analogia da multidão de pessoas em movimento. O pátio tem um lago no meio, conforme representado na figura 13, (e) e (f), e as crianças tem sua movimentação sujeitas a diferentes condições, regras e estímulos. Um carrinho de sorvete é a fonte de estímulo para movimentação das crianças, análogo à bateria, a taxa com que as crianças se movem é o análogo à corrente. Sendo as crianças o análogo aos elétrons e as plantas o análogo aos centros espalhadores.

Figura 13: Representação artística de um circuito elétrico a) desligado e b) ligado; esquema de circuito hidráulico c) sem vazão e d) com vazão; modelo de circuito para movimento de crianças em um pátio escolar e) desligado e f) ligado; esquema de circuito elétrico g) desligado e h) ligado.





Fonte: Carvalho et al, 2019.

Capítulo 4

Metodologia

A sequência didática foi desenvolvida entre 20 de maio e 19 de junho do ano de 2019 em turmas da 3ª série do ensino médio da Escola Estadual Senador Francisco Nunes Coelho, situada na cidade de Guanhães – MG. Participaram da metodologia as duas turmas de terceiro ano presentes na escola, conhecidas como 3º 7 e 3º 8, sendo que cada turma tinha na época 40 alunos, totalizando 80 alunos. A escola funcionava em regime bimestral, os alunos estudavam no turno da manhã e a carga horária semanal era de duas aulas de 50 minutos cada.

A sequência didática foi dividida em 3 etapas, cada uma composta de aproximadamente duas aulas. No entanto, antes de iniciar a sequência didática, foi necessário ministrar uma aula sobre a estrutura da matéria, começando pela estrutura atômica até a formação dos condutores sólidos cristalinos, uma vez que os alunos disseram não conhecer nada sobre o assunto.

Na aula sobre a estrutura de condutores sólidos cristalinos foi apresentado o projeto aos alunos e logo após discorremos o assunto com ênfase nos cristais metálicos.

Na primeira etapa lecionamos duas aulas no modo investigativo onde os temas foram diferença de potencial elétrico (ddp) e corrente elétrica. Nestas aulas utilizamos PowerPoint, vídeos problematizadores que foram empregados para problematizar o ensino por investigação, simulações do Phet e introduzimos a analogia hidráulica para a ddp e a corrente elétrica.

A segunda etapa, que ocorreu durante a terceira e quarta aula, expomos a lei de Ohm e o conceito de resistência elétrica. Nesta etapa, também foram utilizados os mesmos recursos didáticos das duas primeiras aulas. A aula também foi baseada no ensino por investigação e continuamos a utilizar a analogia hidráulica.

Na terceira etapa, onde também foram necessárias mais duas aulas, apresentamos os conceitos de resistência e resistividade elétrica. Nas aulas cinco e seis trabalhamos de maneira similar as etapas um e dois, no entanto, introduzimos aqui o análogo mecânico para o movimento dos elétrons em um condutor e trabalhamos a relação entre resistência e resistividade elétrica.

Ao final da primeira etapa aplicamos um teste conceitual composto de cinco questões conceituais e ao final de toda a sequência didática novamente aplicamos um teste conceitual composto por sete questões.

No final do (segundo) bimestre, os alunos fizeram a avaliação “tradicional”, composta por 60% de questões fechadas e 40% de questões abertas e uma questão extra, aberta. Comparando o resultado desta avaliação com as avaliações do primeiro e segundo bimestre, podemos dizer que o resultado não foi o esperado. Ou seja, as notas das avaliações realizadas após o desenvolvimento da sequência didática se manteve praticamente igual às notas das avaliações que tiveram como base o ensino tradicional. Mas vale ressaltar que o conteúdo das avaliações também não era o mesmo, o que não favorece esse tipo de comparação.

É importante salientar que durante a aplicação da sequência didática, está, acabou sendo interrompida algumas vezes devido ao calendário de avaliações, aos projetos solicitados pela Secretaria de Educação de Minas Gerais e os próprios projetos produzidos pela escola. Assim, não foi possível aplicar a metodologia seguindo a sequência de uma aula após a outra.

Pré-aula

Esta pré-aula foi necessária para explicar aos alunos como é a estrutura de um sólido condutor cristalino. Não montamos uma sequência didática para a aula em questão, mas considerando a dificuldade que os alunos tinham em relação à estrutura da matéria (praticamente todos os alunos afirmaram não conhecer nada sobre o assunto), passamos a considerar que esta pré-aula é de suma importância para as outras três etapas deste trabalho.

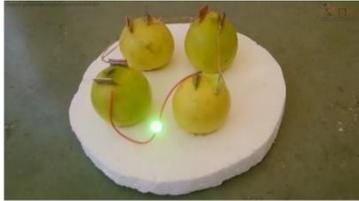
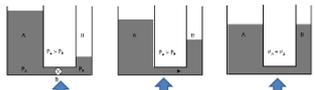
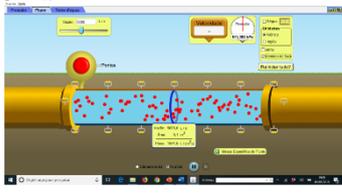
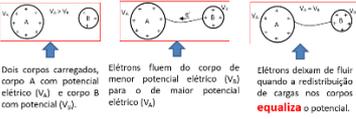
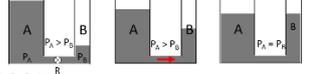
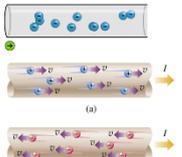
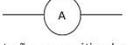
Apesar de não termos montado uma sequência didática para a aula, durante a sua apresentação utilizamos a figura 2 deste trabalho, outras figuras semelhantes

e animação⁴. A utilização das figuras citadas acima facilitou o melhor entendimento por parte dos alunos uma vez que o conteúdo é bastante abstrato.

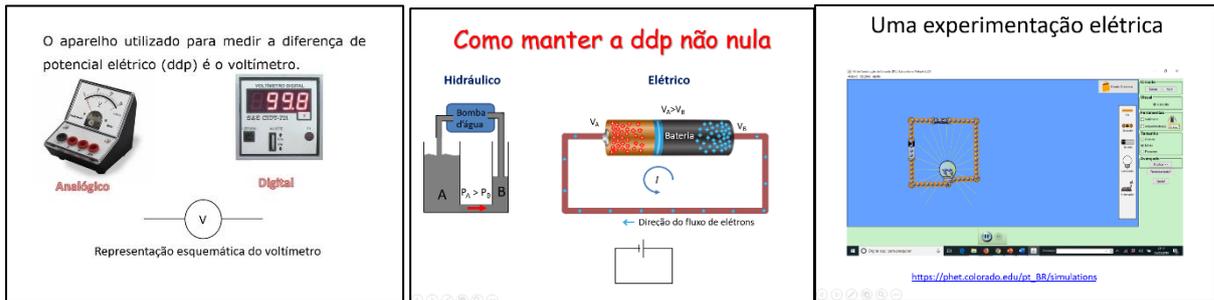
Etapa 1 – Aulas 1 e 2.

Na primeira etapa tratamos do tema Diferença de Potencial Elétrico (ddp) e Corrente Elétrica. A primeira aula foi baseada no ensino por investigação iniciando-se com um vídeo problematizador, “Pilha de Limão”, que estabelece e motiva a discussão. A sequência de slides da apresentação segue na figura 14.

Figura 14 – Slides que compõe a apresentação da primeira etapa da sequência didática. Da esquerda para a direita e de cima para baixo na página.

<p>Física</p> <p>Aula: Diferença De Potencial (ddp) Elétrico e Corrente Elétrica</p>	<p>Veja este experimento</p>  <p>https://www.youtube.com/watch?v=3Rior-naMEQ</p>	<ul style="list-style-type: none"> • É possível uma lâmpada acender sozinha? • O LED não acendeu sozinho? • Qual a função dos limões? • O que faz as lâmpadas acenderem e esquentarem? • Há transferência de energia? • Como energia é transferida para o LED? Como?
<p>Usando uma analogia hidráulica</p> <p>Diferença De Pressão (ddp) entre vasos comunicantes e vazão</p>  <p>Registro</p> <p>Água flui do vaso com maior pressão para o vaso de menor pressão.</p> <p>A água deixa de fluir quando a redistribuição de água nos vasos equaliza a pressão.</p>	<p>Uma experimentação hidráulica</p>  <p>https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations</p> <p>Para um fluido viscoso a vazão é proporcional à diferença de pressão</p>	<p>Diferença De Potencial (DDP) Elétrico e Corrente Elétrica</p>  <p>Dois corpos carregados, corpo A com potencial elétrico (V_A) e corpo B com potencial elétrico (V_B).</p> <p>Elétrons fluem do corpo de menor potencial elétrico (V_B) para o de maior potencial elétrico (V_A).</p> <p>Elétrons deixam de fluir quando a redistribuição de cargas nos corpos equaliza o potencial.</p> 
<p>Quantitativamente a corrente elétrica é:</p> <p>Quantidade de carga que atravessa uma seção do fio</p> <p>Corrente elétrica = $\frac{\text{Intervalo de tempo}}$</p> <p>Corrente elétrica é o movimento ordenado dos elétrons</p>  <p>$I = \frac{q}{\Delta t}$ [C/s]</p> <p>Coulomb segundo – Ampere [A]</p>	<p>O aparelho utilizado para medir a intensidade da corrente elétrica é</p>  <p>Analogico Digital</p>  <p>Representação esquemática do amperímetro</p>	<p>A ddp</p> <p>Conceitualmente, a ddp entre dois pontos A e B de um sistema eletrostático, $V_A - V_B$, está ligada à capacidade do sistema em realizar trabalho e é definida como a razão entre o trabalho realizado pelas forças elétricas para levar uma carga unitária de A até B.</p> $V_A - V_B = V_{AB} = \frac{\tau_{AB}}{q} \quad [J/C]$ $\frac{\text{Joule}}{\text{Coulomb}} = \text{Volt} \rightarrow \left[\frac{J}{C} \right] = [V]$

⁴Animações presente na página quatro do PowerPoint da etapa três.



Fonte: O autor.

Após apresentar o problema, os alunos são instigados a responder algumas perguntas desafiadoras de modo que os conhecimentos prévios dos alunos vêm à tona, eles passam a ter ideias próprias e as discutem com o professor e os colegas, analisam hipóteses e dados de experimentos e simulações computacionais, e no fim tentam estabelecer relações entre o conteúdo aprendido e o cotidiano. A partir de então começam a desenvolver o conhecimento científico.

Segundo Krulik e Rudnik (1980 apud Sasseron 2019 p. 119), “um problema é uma situação, quantitativa ou não, que pede uma solução para a qual os indivíduos implicados não conhecem meios ou caminhos evidentes para obtê-la”, fazendo com que o aluno saia de sua zona de conforto e busque meios para a resolução do problema. Em harmonia com os Três Momentos Pedagógicos (3MP) de Delizoicov e Angotti (1990a apud Delizoicov e Muenchen 2014) a problematização inicial deve conter uma ligação entre conteúdo e o que é conhecido pelo aluno, porém devido a não conhecer os conceitos corretos ou interpreta-los de forma errônea, ele não é capaz de elucidar ou mesmo resolver o problema. Igualmente, tal qual afirma Carvalho (2013) o problema deve ser escolhido de forma precisa e possuir relações com a cultura social do aluno, favorecendo o seu conhecimento prévio e possibilitando o levantamento de hipóteses para que possam ser discutidas entre os colegas e com o professor.

Ainda durante a primeira etapa, após as discussões iniciais, apresentamos aos alunos os conceitos de física que eram capazes de dar uma explicação científica correta ao problema proposto. De acordo com o segundo momento pedagógico “os conhecimentos de Física necessários para a compreensão do tema e da problematização inicial serão sistematicamente estudados sob orientação do professor” (Delizoicov e Muenchen 2014), assim o fizemos.

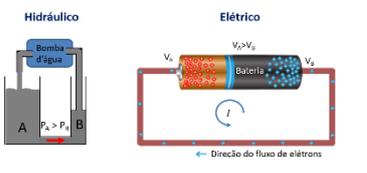
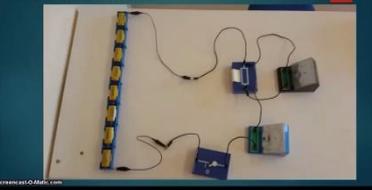
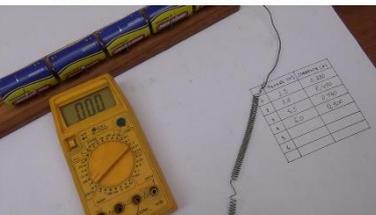
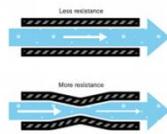
No entanto, durante a sistematização do conhecimento, apresentamos aos alunos uma analogia hidráulica para representar a ddp e a corrente elétrica. O uso da analogia se faz necessário no intuito de facilitar o entendimento de conceitos difíceis e abstratos, criando relações entre o novo conhecimento e o conhecimento já adquirido pelo estudante. Para Champagne, Gunstone e Klopfer (1985 apud, Aubusson, Harrison, Ritchie 2006) usar o análogo hidráulico favorece a concepção de que a corrente elétrica é semelhante a um fluido e de que a resistência elétrica deve-se ao atrito que existe entre o elétron e a capa que isola o cabo elétrico.

Durante o desenvolvimento da primeira etapa da sequência didática percebemos que os alunos foram capazes de relacionar o movimento do elétron com o movimento de uma molécula de água que flui em uma tubulação, mas não foram capazes de relacionar que o conceito de resistência elétrica se deve ao atrito do elétron com a capa que isola o cabo, como afirma os autores citados acima.

Etapa 2 – Aulas 3 e 4.

Na etapa 2, usamos o mesmo processo utilizado na etapa 1, o ensino por investigação e a problematização e posteriormente a organização do conhecimento.

Figura 15 – Slides que compõe a apresentação da segunda etapa da sequência didática. Da esquerda para a direita e de cima para baixo na página.

<p>Física</p> <p>Aula: Resistência Elétrica</p>	<p>Relembrando a analogia hidráulica da aula passada</p> 	<p>O que acontece quando aumentamos o número de pilhas no circuito</p> <p>How about cells?</p> 
<p>Observe o experimento de uma outra maneira</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Afinal o que a resistência elétrica? • A resistência elétrica é medida da dificuldade de se fazer circular uma corrente elétrica em um fio. 	<p>Melhorando a analogia hidráulica</p>  <p>Então, quanto mais estreito for o tubo, mais difícil vai ser para a água passar. Isso constitui uma "resistência" hidráulica.</p>

Aparência de alguns resistores

Quantitativamente a relação entre a corrente elétrica, a ddp e a resistência é:

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

Volt
Ampère = Ohm (Ω)

Representação Artística

Representação Analógica

Representação Esquemática

Melhorando a analogia hidráulica

Hidráulico
Bomba d'água
A B
 $P_A > P_B$
Construção hidráulica

Elétrico
 $V_A > V_B$
Bateria
I
Direção do fluxo de elétrons
Resistência Elétrica

**Eno circuito elétrico, como podemos controlar a corrente?
Observe o experimento**

Observe a simulação abaixo

$V = I R$

corrente = 20,6 mA

1,3V 60Ω

PHET

Fonte: O autor.

Durante as aulas 3 e 4 introduzimos o conceito de resistência elétrica e utilizamos um aparato experimental para demonstrar a lei de Ohm, quarta imagem da figura 15. O experimento foi apresentado aos alunos como a problematização inicial, primeiramente voltado para um caráter qualitativo, com o intuito de promover novos conceitos e posteriormente com um apelo mais quantitativo no qual foi possível colher dados do aparato experimental para chegarmos à lei de Ohm.

No decorrer da etapa continuamos a refinar o análogo hidráulico, que sofreu uma pequena modificação para incluir a representação de um análogo à “resistência elétrica”.

Etapa 3 – Aulas 5 e 6.

Etapa na qual caracterizamos fisicamente a resistência e a resistividade elétricas. Slides da terceira etapa da sequência didática estão representados na figura 16.

Figura 16 – Slides que compõem a apresentação da terceira etapa da sequência didática. Da esquerda para a direita e de cima para baixo na página.

Física

Aula: Resistividade Elétrica e Resistência Elétrica

Vimos a analogia hidráulica para a resistência elétrica

Microscópio

Existem alguns fatores que influenciam a resistência elétrica de um fio.

- A resistência elétrica depende do comprimento do fio.
- A resistência elétrica depende da área da seção transversal do fio.
- A resistência elétrica depende da natureza do material.

Vamos pensar!!!

- No fio os átomos se arranjam em uma rede cristalina.

A rede cristalina composta de íons, ligados uns aos outros, e permeada de elétrons livres.

Continuando a pensar!!!

- Mas são os defeitos na rede que dificultam o movimento dos elétrons!

- A energia térmica faz os íons da rede vibrar! Isto também dificulta o movimento dos elétrons

Afinal, o que é a resistência elétrica?

- A resistência elétrica é uma medida do número total de choques que os elétrons sofrem ao se mover pelo fio.

Um análogo mecânico para o movimento dos elétrons no fio

E se tivéssemos uma rede cúbica perfeita? Haveria resistência elétrica?

Qual é a melhor analogia para representar o circuito? Por que?

Efeito Joule

Resistividade elétrica

- A resistividade elétrica é uma medida do número de choques por unidade de volume, que os elétrons sofrem ao se mover pelo fio.
- A unidade de resistividade é o ohms.metro ($\Omega \cdot m$)
- É representada pela letra grega ρ (rô).

Veja a simulação computacional

resistência = 1.3 ohm

$R = \frac{\rho L}{A}$

ρ L A

Resumindo

$R = \rho \frac{L}{A}$

Fonte: O autor.

Empregamos a mesma metodologia aplicada nas duas etapas anteriores, porém, no final desta etapa aplicamos um teste conceitual para verificar se houve aprendizagem significativa, observar se em situações diferentes daquela

inicial o aprendizado foi capaz de apresentar as soluções corretas e verificar se questões que anteriormente não podiam ser respondidas já passaram a ser. Esta etapa é conhecida como o terceiro momento pedagógico e de acordo com Delizoicov e Angotti (1990)

Destina-se, sobretudo, a abordar sistematicamente o conhecimento que vem sendo incorporado pelo aluno, para analisar e interpretar tanto as situações iniciais que determinaram o seu estudo, como outras situações que não estejam diretamente ligadas ao motivo inicial, mas que são explicadas pelo mesmo conhecimento (Delizoicov e Angotti 1990a apud Delizoicov e Muenchen 2014 p.624).

Ainda nesta última etapa introduzimos uma nova analogia para o circuito elétrico, a análogo mecânico. Através da analogia mecânica foi possível explorar com um pouco mais de perfeição como é o movimento do elétron, e a diferença entre resistência e resistividade elétrica. Além disso, uma nova analogia pode proporcionar uma melhor compreensão aquele discente que não estava familiarizado com o análogo anterior.

Percebemos que essa analogia foi mais eficaz que o análogo hidráulico. A grande maioria dos alunos a acharam mais interessante, mais fácil de visualizar e relacionar o movimento do elétron com o movimento da bolinha e foram capazes de entender o real significado dos conceitos de resistência e resistividade elétrica. Provavelmente os alunos estavam mais familiarizados com o análogo mecânico comparado ao análogo hidráulico.

Não se deve ensinar todo um determinado conteúdo utilizando-se de somente uma analogia para explicar todos os conceitos. Qualquer analogia tem um ponto fraco, e este ponto fraco pode levar os estudantes a conceitos equivocados e até mesmo errados. Aubusson, Harrison, Ritchie (2006 p.14) afirmam que “múltiplas analogias são melhores com cada analogia selecionada para o conceito que ela explica melhor”. Ao se usar várias analogias em uma turma com muitos adolescentes eles vão se apropriar daquelas que mais fazem sentido para eles uma vez que os alunos possuem experiências, motivações e níveis de conhecimento diferentes (Aubusson, Harrison, Ritchie 2006).

A sequência didática, filmes e o manual de construção dos experimentos podem ser acessados em arquivos eletrônicos no endereço: <https://juliocesarjunior87.wixsite.com/produtoedc>

Capítulo 5

Resultados

Neste capítulo, apresentaremos nossa avaliação qualitativa dos resultados do desenvolvimento da sequência didática. Vamos apresentar também melhorias feitas na sequência didática decorrentes do andamento da mesma. Além disso vamos discutir os efeitos da analogia mecânica na materialização do conceito de resistência e resistividade. A sequência didática foi desenvolvida em uma escola pública estabelecida na cidade de Guanhães – MG, para um total de 80 alunos do terceiro ano do ensino médio.

De modo geral, os alunos da escola pertencem a estratos sociais de reduzido poder econômico, sujeitos a situações de vulnerabilidade financeira, afetiva e sociocultural. Vale também ressaltar que a escola fica ao lado do presídio da cidade de Guanhães e que, de uma forma ou de outra, essa proximidade acaba influenciando no clima escolar, como por exemplo, aumentando a insegurança e promovendo o medo na comunidade escolar, um nível de barulho um pouco mais alto devido a conversas entre os detentos ou a algum motim que possa ocorrer e até mesmo uma mudança na paisagem devido aos muros da penitenciária e aos veículos que fazem o transporte dos detentos.

5.1 – Descrição das turmas e Resultados

Turma 3^a7

O terceiro ano sete foi uma turma que deu bastante trabalho durante a aplicação da sequência didática. A turma mostrou-se inicialmente motivada devido as aulas estarem acontecendo na sala de vídeo, com a utilização de PowerPoint, simulações computacionais e experimentos. No entanto, o desenvolvimento da sequência didática não ocorreu da maneira que planejamos, uma vez que os alunos não respeitavam os colegas e acabavam atrapalhando a dinâmica da aula; um sempre queria falar mais alto que o outro.

A grande maioria dos alunos, quando eram por nós incentivados a responderem as questões propostas durante o ensino em modo investigativo, simplesmente não a faziam ou as vezes respondiam uma “besteira qualquer”. Essas “besteiras” tumultuavam a aula, ocasionado à dispersão dos demais alunos e, até que tudo volta-se ao ponto no qual tínhamos parado, a linha de raciocínio já havia se perdido. Os alunos já estavam tão acostumados com o ensino tradicional, no qual eles eram somente espectadores enquanto o professor ensina um conteúdo, que, ao serem conclamados a se tornarem protagonistas do próprio processo de ensino/aprendizagem mantinham-se apáticos; incapazes de abandonar a sua passividade e sua zona de conforto. Com isso a aplicação da sequência didática não estabelecia a dinâmica esperada.

Pensando a luz da teoria de Ausubel a aprendizagem só se torna significativa caso o aprendiz tenha os subsunçores necessários para ancorar o novo o conhecimento e esteja disposto a aprender novos conceitos (Moreira e Masini, 2006). Assim, nesta turma, a grande maioria não desenvolveu uma aprendizagem significativa pois um número muito grande de alunos, por algum motivo, não estavam interessadas ou dispostos a aprender sobre circuitos elétricos.

Durante a sequência didática aplicamos vários pequenos testes conceituais com no máximo duas questões, mas, os mesmos não foram levados muito a sério. Mesmo avisando para os alunos que respondessem de forma individual, eles consultavam o colega, ou as vezes copiavam diretamente da internet usando o celular. Logo os resultados destes testes não representaram de maneira fidedigna um desfecho real.

Analisando somente o resultado das avaliações aplicadas no primeiro bimestre, no qual foi utilizado o método convencional, e as avaliações do segundo bimestre, em que utilizamos o ensino por investigação e o uso de analogias,

podemos dizer que a aprendizagem conceitual não ocorreu como nós esperávamos. Mas vale ressaltar aqui que a matéria estudada no primeiro e no segundo bimestre não foi a mesma e que o grau de dificuldade do conteúdo também era diferente.

Apesar de não termos conseguido melhora no resultado das avaliações entre o primeiro e o segundo bimestre, podemos afirmar que o método investigativo utilizado por nós despertou o interesse de alguns alunos. O experimento apresentado no primeiro vídeo, durante a primeira aula, chamou tanto a atenção que dois alunos da turma sete montaram o experimento em casa e o levaram para sala de aula a fim de mostrar para turma que aquilo visualizado no vídeo era realmente verdade (o vídeo mostrava como acender um led usando apenas fios, placas metálicas e limão).

Turma 3ª8

No terceiro ano oito as coisas foram um pouco melhores. As aulas com características diferentes do ensino tradicional chamaram a atenção da grande maioria da turma, uma vez que elas se tornaram mais dinâmicas, promovendo uma maior interação entre o professor e os alunos, devido ao uso de experimentos, PowerPoint e simulações computacionais. Deste modo os alunos se sentiram mais motivados e se interessaram um pouco mais em participar da aula.

É claro que na turma oito também tivemos alguns problemas como conversas paralelas, respostas que não tinham nada a ver com a pergunta, alunos querendo falar mais alto que o outro, etc. No entanto, a frequência que isso aconteceu foi menor comparada com a turma sete.

Assim como ocorreu na turma sete, ao compararmos os resultados das avaliações bimestrais realizada no primeiro bimestre, no qual utilizamos o método de ensino tradicional, com as avaliações do segundo bimestre, em que inserimos o ensino por investigação e o uso de analogias, podemos afirmar que não houve ganho significativo na aprendizagem de conceitos. Mas essa comparação foi feita levando em consideração somente as notas das avaliações dos alunos.

Já ao observarmos os pequenos testes conceituais que aplicamos durante a sequência didática, percebemos que conceitos como corrente elétrica e resistência elétrica foi melhor assimilado pelos alunos desta turma. Durante a aplicação destes

testes os alunos também se mostraram mais engajados em responderem as perguntas com o que eles realmente tinham entendido do assunto, sem se preocuparem em copiar a resposta do colega e de algum site da internet.

5.2 – Resultados Gerais

De modo geral, ao compararmos somente a média das notas das avaliações do primeiro e segundo bimestre podemos certificar que não ocorre um avanço no processo de ensino/aprendizagem. No entanto, observando as respostas dos testes conceituais foi possível identificar que muitos alunos compreenderam de maneira correta alguns conceitos importantes, produzindo assim uma aprendizagem significativa.

Ainda examinando as respostas das provas, dos testes conceituais e avaliando a postura dos alunos durante as aulas, percebemos que o análogo mecânico para o circuito elétrico foi melhor aceito pelos alunos em comparação com o análogo hidráulico. Isso se deveu ao fato de que o análogo mecânico foi visto na prática e os materiais utilizados (bolinha, prego e rampa) eram mais comuns no contexto sociocultural dos alunos. Ausubel et al (1980)

define a essência da Aprendizagem Significativa como um processo no qual as ideias, que são expressas simbolicamente, possam ser relacionadas a aspectos relevantes já existentes na estrutura cognitiva dos alunos, como imagem, símbolo, conceito ou proposição, por meio de uma relação não arbitrária e substantiva (Ausubel et al 1980 apud Zômpero e Laburú 2010, p.14).

Procurando entender o porquê da sequência didática não ter alcançado o resultado por nós esperado, percebemos que os alunos tinham uma grande deficiência em linguagem, tanto na língua portuguesa (eles tinham muita dificuldade em ler e interpretar as questões) quanto na matemática (não conseguiam desenvolver operações básicas como dividir, tirar raiz quadrada e fazer cálculos usando potência de dez). Percebemos também que os alunos não tinham o hábito de estudar para as provas e que a grande maioria não fazia as atividades propostas,

apenas as copiava para mostrar para o professor e “ganhar os pontos necessários para passar de ano”. Estes dois últimos casos foram relatados pelos próprios alunos.

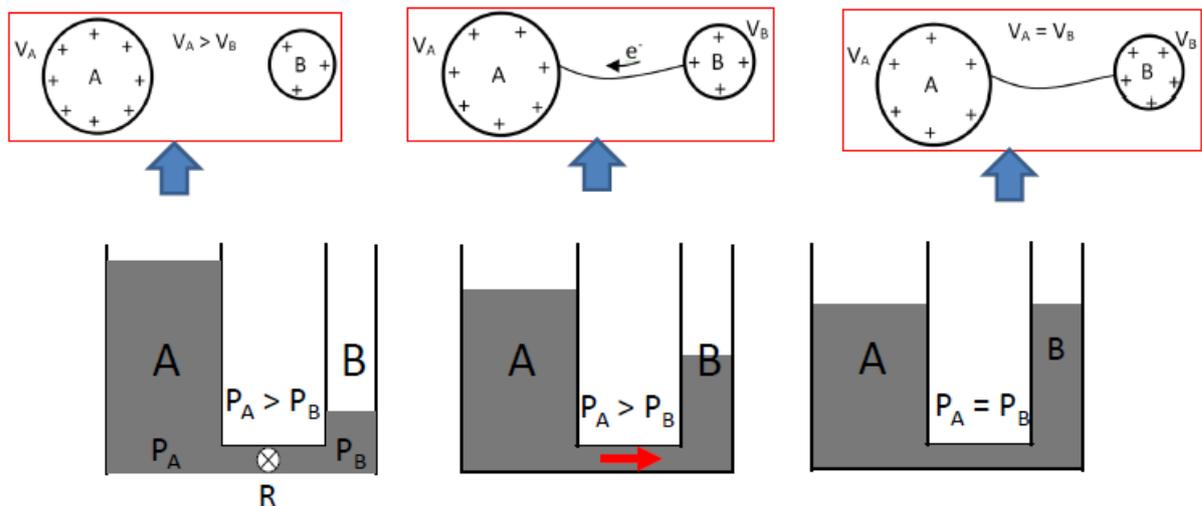
Assim, podemos perceber que todo o aprendizado do aluno ocorria na sala de aula, quando o mesmo prestava atenção, e, vez ou outra, tiravam alguma dúvida. Após a aula, a matéria não era mais vista e os exercícios propostos eram feitos por um número muito pequeno de alunos, favorecendo então a não aprendizagem do conteúdo.

5.3 – Melhorias na sequência didática

Durante a aplicação da sequência didática e através dos feedbacks dos alunos foi possível melhorar a própria sequência didática.

Na aplicação da primeira etapa da sequência didática, em que o tema abordado era diferença de potencial elétrico (ddp) e corrente elétrica, percebemos que a imagem da analogia hidráulica (que encontra-se abaixo) utilizada por nós, estava gerando conceitos adversos na mente dos alunos.

Figura 17: Primeiro análogo hidráulico para a ddp e a corrente elétrica.



Fonte: O autor.

De acordo com a figura 17 acima, fizemos a analogia entre a diferença de potencial elétrico e a diferença de pressão. No entanto, para os alunos, a corrente

elétrica só fluiu entre as esferas por que as mesmas possuíam dimensões diferentes, assim como a água só fluiu de A para B porque a largura do vaso comunicante A era maior do que o vaso comunicante B.

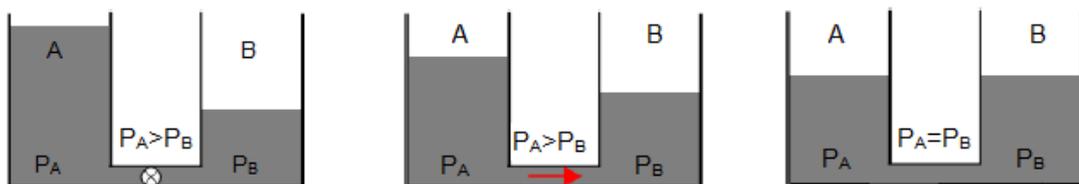
Os alunos interpretaram a analogia da seguinte maneira: tanto o “fluxo” da corrente elétrica como o fluxo de água nos vasos comunicantes, ocorrem devido à diferença de dimensões existentes entre as esferas carregadas e os vasos comunicantes. Segundo Nagem (1997 apud Teixeira 2010, p.39), “uma má interpretação ou o não discernimento das diferenças entre o análogo e a fonte pode gerar conceitos errados”. Ou seja, os alunos não foram capazes de perceber as diferenças entre o analógico e o alvo.

Todas as analogias possuem seus pontos fracos e seus pontos fortes e segundo as etapas de Ação e Reflexão do guia FAR (Treagust, Harrison & Venville, 1998), discutir essas limitações com os alunos e tirar conclusões é essencial para que seu uso possa realmente gerar aprendizagem significativa. Mas “quando usada de maneira eficaz, as analogias são uma ferramenta pedagógica valiosa nos repertórios dos professores” (Aubusson, Harrison, Ritchie 2006 p.23).

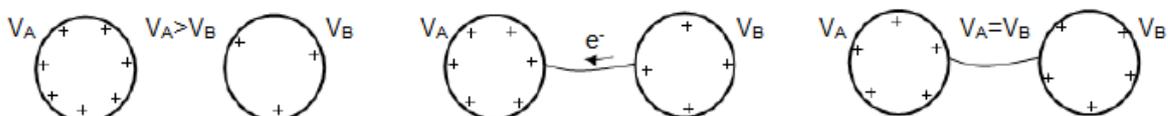
Então, discutimos as diferenças entre o análogo e o alvo com os alunos e fizemos as mudanças necessárias para podermos facilitar o uso da analogia. O resultado das mudanças é a figura 18.

Figura 18: Segundo análogo hidráulico para a ddp e a corrente elétrica.

Diferença De Pressão (DDP) entre vasos comunicantes e vazão



Diferença De Potencial (DDP) Elétrico e Corrente Elétrica



Fonte: O autor.

Na tentativa de obter um resultado ainda melhor, não nos limitamos somente em fazer uso da analogia hidráulica, e sugerimos aos alunos um análogo mecânico para a corrente elétrica. Para Teixeira (2010)

Um dos pontos fracos da analogia do circuito da água é a tendência dos professores usá-la para explicar todos os recursos do circuito elétrico, o que do nosso ponto de vista está errado. É importante definir rigorosamente as limitações da analogia usada (Teixeira 2010 p.37).

5.4 – Melhorias no análogo mecânico

Todos os livros didáticos e artigos que conhecemos (TAVARES, 1991; BAGNATO, 1994; BAGNATO e RODRIGUES, 2006, CARVALHO et al, 2019; SILVA et al, 2019, VÁLIO, 2016) sobre o uso do análogo mecânico, sempre o fazem utilizando imagens de redes cristalinas hexagonais perfeitas, onde os pregos são dispostos de acordo com a figura 11 dessa dissertação ou como a figura 19 abaixo.

Figura 19: Único modelo de análogo mecânico para o circuito elétrico encontrado.



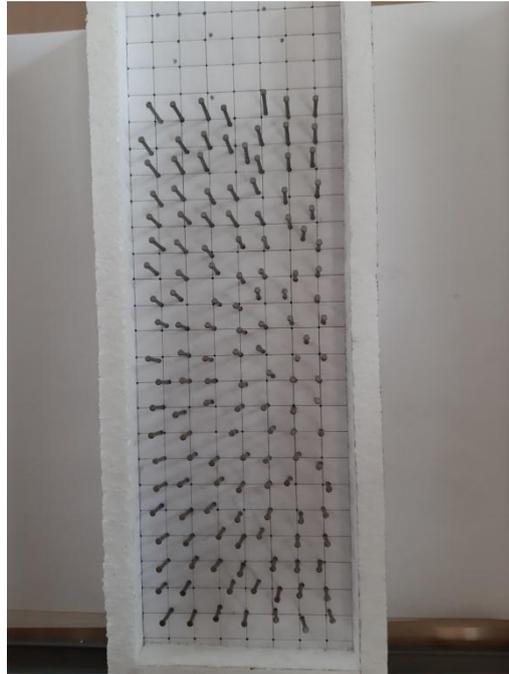
Fonte: O autor

No entanto, como já apontamos anteriormente, esse tipo de representação pode fazer o estudante crer que o espalhamento eletrônico ocorre unicamente com a rede cristalina e, segundo a teoria de Bloch, é a interação entre os elétrons e as imperfeições na rede cristalina que causam o espalhamento e, em consequência disso, a resistência elétrica do material. A imagem da figura 19 mostra uma rede sem imperfeições e que na verdade não está de acordo com a teoria de Bloch.

Ao apresentarmos uma analogia mecânica para um circuito elétrico de acordo com a figura 19 podemos gerar conceitos divergentes em nossos alunos uma vez que, ensinamos para eles que são os defeitos da rede que causam o espalhamento dos elétrons e apresentamos pra eles uma rede sem defeitos. De acordo com a segunda etapa do guia FAR (Treagust, Harrison & Venville, 1998), a fase da ação, é muito importante reconhecer as características relevantes entre o alvo e o análogo e determinar suas similaridades (Harrison e Treagust 1993 apud Teixeira 2010). Mas se a ideia principal da analogia é mostrar que a resistência é consequência da interação entre o elétron e as imperfeições da rede, e a rede não possui falhas, ela é hexagonal perfeita, então qual é a semelhança entre o analógico e o alvo?

Pensando nesta idéia sugerimos fazer uso de uma rede cristalina o mais real possível, ou seja, uma rede que não é perfeitamente periódica possuindo vários defeitos. Assim ao construirmos um análogo mecânico para esta rede, não devemos colocar os pregos igualmente espaçados pois isto pode induzir os estudantes ao erro. Devemos produzir um análogo o mais perto possível da situação concreta como está representado na figura 20.

Figura 20: Análogo mecânico real para a corrente elétrica.

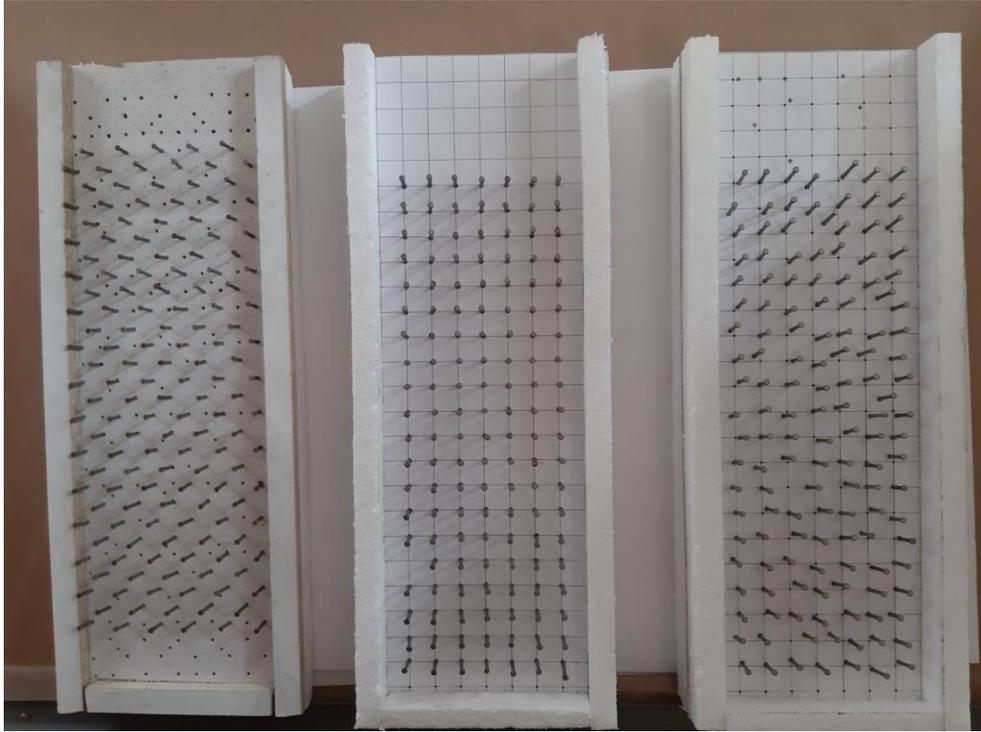


Fonte: O autor.

Na verdade, o ideal seria apresentar os três modelos de análogos mecânicos para os alunos e discutir com eles as semelhanças, as limitações e retirar conclusões de qual seria o melhor modelo para representar nosso analógico. “Ao usar a analogia para aprender, não é a perfeição de uma analogia em si, mas a aprendizagem que deriva do processo de interpretação, explicação e discussão da analogia” (Aubusson, Treagust e Harrison 2009, p. 208).

Abaixo, na figura 21, apresentamos os três análogos lado a lado para melhor exemplificar a discussão.

Figura 21: Rede hexagonal ideal (esquerda), rede cúbica ideal (centro) e rede cúbica real (direita).



Fonte: O autor.

Capítulo 6

Conclusões

Em relação as notas das avaliações bimestrais, não foi possível observar melhorias. Os valores das médias das notas se mantiveram praticamente iguais e analisando somente os números, podemos atestar que não houve qualquer progresso. Mas como já foi citado anteriormente, as matérias vistas nos dois bimestres eram diferentes e possuíam graus de dificuldades diferentes.

Analisando os testes conceituais notamos um resultado um pouco melhor em relação a média das notas das avaliações bimestrais, uma vez que, obtivemos um número significativo de respostas corretas.

Apesar dos resultados da aprendizagem não terem sido aquele que nós esperávamos, a experiência sugere que as aulas “diferentes”, com a utilização do PowerPoint, simulações computacionais, experimentos e vídeos, despertam o interesse dos alunos. Ao fim do desenvolvimento da sequência didática, os alunos solicitaram até o encerramento do período letivo para que ocorressem mais aulas na sala de vídeo e com características parecidas com a metodologia aplicada durante a sequência didática.

Durante o desenvolvimento da sequência didática e através dos questionamentos dos estudantes, foi possível fazer melhorias na própria sequência. Uma dessas melhorias refere-se ao análogo hidráulico onde, da maneira que foi apresentado pela primeira vez acabou gerando dúvidas e conceitos errados na mente dos alunos. Fizemos então as correções necessárias e a apresentamos novamente aos alunos que a partir de então foram capazes de perceber os possíveis erros gerados pela analogia. Com relação ao análogo mecânico, apresentamos aos alunos os três modelos de rampas cravejadas de pregos e

discutimos com eles sobre qual das rampas seria a melhor opção para representar o nosso sólido condutor cristalino.

Verificamos também que o análogo mecânico despertou mais interesse dos alunos, comparado ao análogo hidráulico. Isso provavelmente deve-se ao fato de que a analogia mecânica esteja mais presente no cotidiano dos alunos. Além disso, nessa analogia, é possível ver o movimento da esfera (que é análogo ao movimento do elétron) enquanto está desce a rampa inclinada e choca-se com os pregos, já na analogia hidráulica, não é possível ver a molécula de água executando esse tipo de movimento.

De modo geral, podemos afirmar que o desenvolvimento da sequência didática baseada na abordagem do ensino por investigação e do uso de analogias teve um resultado positivo. Que apesar das dificuldades encontradas, as aulas se tornaram muito mais atraentes e dinâmicas, promovendo uma maior interação entre os alunos e entre o professor e os alunos, características que o ensino tradicional praticamente não revela.

A construção do análogo mecânico e dos aparatos experimentais e a sua aplicação durante o desenvolvimento da sequência didática também foi muito importante para prender a atenção dos alunos e despertar o interesse sobre o assunto no qual estávamos estudando.

O análogo mecânico, ou seja, a rampa cravejada de pregos é um mecanismo bastante simples e barato de ser construído e mostrou-se mais eficiente, facilitando o entendimento de conceitos difíceis como resistência, resistividade e corrente elétrica.

Os dois aparatos experimentais (Reostato e Lei de Ohm) possuem uma construção um pouco mais elaborada, mas não é nada impossível. Além disso, os materiais utilizados na construção dos aparatos experimentais eram quase todos reciclados o que diminuiu bastante o seu custo final. Podemos afirmar que o ganho que obtivemos com a utilização do aparato experimental é muito maior que o preço de sua construção. Durante a sua utilização, os alunos se mostraram interessados e motivados a participar da aula. A todo momento eles queriam tocar no aparato, testar se dava choque elétrico, acompanhar as medições do amperímetro e do voltímetro, mudar o brilho da lâmpada, etc. Além disso, tanto o aparato experimental como o análogo mecânico, se utilizados com cuidado, durarão por bastante tempo.

Referências Bibliográficas:

ALMEIDA, M.J.B.M.; SALVADOR, A.; COSTA, M.M.R.R. Analogy for Drude's free electron model to promote students' understanding of electric circuits in lower secondary school, **Physical Review Special Topics – Physics Education Research**, v. 10, n. 020118, p.12 (2014)

AMOREIRA, J.; JESUS, M. **Apontamentos de Física do Estado Sólido**. Departamento de Física. Universidade da Beira Interior. Edição de 2001/2002.

ASHCROFT, N. W., MERMIN, N. D.; **Física do Estado Sólido**; São Paulo: Cengage Learning; 2011, p.870.

AUBUSSON, P. J.; HARRISON, A. G.; RITCHIE, S.M. **Metaphor and Analogy in Science Education**. Science & Technology Education Library. Volume 30. Editora Springer. 2006.

AUBUSSON, P. J.; TREAGUST, D.; HARRISON, A. **Learning and teaching science with analogies and metaphors**. Editor: S. M. Ritchie, The World a/Science Education: Handbook of Research in Australasia, Sense Publishers, Online Publication, p.199- 216, 2009

AUGUSTO, C. D. **TE069-Física de Semicondutores. 4-Fundamentos da Mecânica Quântica** - Parte 3. UFPR CURITIBA-PR.

BACHELARD G. **A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996. 316 p.

BRASIL. Ministério da Educação. Bncc (Base Nacional Comum Curricular). Disponível em: <<http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>>. Acesso em: 10 out. 2019.

CARVALHO, A. M. P. **Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

CARVALHO, A. M. P. **Fundamentos Teóricos e Metodológicos do Ensino por Investigação**. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências. p. 765–794. Dezembro, 2018.

CARVALHO, A.T.G.; SILVA, L.V.F.; NEVES, A.J.M.; CARVALHO, R.S. Análogos para resistência e resistividade elétrica. In: **XXIII Simpósio Nacional de Ensino de Física**. 02/2019. Salvador. Resumos SNEF 2019

DAGHER, Z. **O Caso das Analogias no Ensino da Ciência para a compreensão**. In. Mintzes, J.J., Wandersee, J.H. & Novak, J.D. (Eds.). *Ensinando Ciência para a compreensão*. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 180-193. (2000).

DELIZOICOV, D.; MUENCHEN, C. **Os três momentos pedagógicos e o contexto de produção do livro “Física”**. *Ciênc. Educ.*, Bauru, v. 20, n. 3, p. 617-638, 2014.

DUCH, B. **Problem-based learning in physics: the power of students teaching**. *Journal of College Science Teaching*, March/April, 326-329. (1996).

DUIT, R. **On the role of Analogies and Metaphors in Learning Science**, *Science Education* 75 (6) : 649- 672. (1991).

EDIDIONG, U. E.; SAHEED, A. A. **Analogy and Guided Inquiry Instructional Strategies and Students' Achievement in Basic Science in Lagos Metropolis, Nigeria: Way Forward for Effective Science Teaching and Learning**. *Journal of Education, Society and Behavioural Science*. 26(1): 1-12, 2018; Article no.JESBS.41378.

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**. Editora Campos, 35ª Tiragem.

FONSECA, J.; TRINDADE. **A utilização de analogias no ensino da física – um exemplo para circuitos elétricos**. Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico da Guarda, Guarda e Centro de Física Computacional, Universidade de Coimbra, 2010.

FRENCH, R. M. **The Computational Modeling of Analogy-making**. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(5), 200-205, 2002.

GASPAR, A. **Física: Ondas, Óptica e Termodinâmica**, vol.2, São Paulo: Editora Ática, 2004, p.272 a 274.

GENTNER, D.; HOLYOAK, K. J.; KOKINOV, B. N. **The Analogical Mind: Perspective from Cognitive Science**. Cambridge, MA: MIT Press, 2001.

GENTNER, D.; GENTNER, D.R., **Flowing Waters or Teeming Crowds: Mental Models of Electricit.** In: GENTNER, D.; STEVENS, A.L. (Ed.) **Mental Models**. New York: Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 1983. p.99 – 130.

GLYNN, S. **The Teaching-With-Analogies Model Build conceptual bridges with mental models.** *Science and Children*, v. 44 nº. 8, April/May 2007, p. 52-55

GREENSLADE JR., T.B.; *The Hydraulic Analogy for Electric Current.*, **The Physics Teacher**, New York, v.41, n.8, p.464-466, November 2003.

G1. 7 de cada 10 alunos do ensino médio têm nível insuficiente em português e matemática, diz MEC. Disponível em:

<<https://g1.globo.com/educacao/noticia/2018/08/30/7-de-cada-10-alunos-do-ensino-medio-tem-nivel-insuficiente-em-portugues-e-matematica-diz-mec.ghtml>>. Acesso em: 10 out. 2019.

G1. Quase 4 em cada 10 jovens de 19 anos não concluíram o ensino médio, aponta levantamento. Disponível em:

<<https://g1.globo.com/educacao/noticia/2018/12/18/quase-4-em-cada-10-jovens-de-19-anos-nao-concluiram-o-ensino-medio-aponta-levantamento.ghtml>>. Acesso em: 10 out. 2019.

KORGANCI, N.; MIRON, C.; DAFINEI, A.; ANTOHE, S. **The Importance of Inquiry-Based Learning on Electric Circuit Models for Conceptual Understanding.** *Procedia - Social and Behavioral Sciences* v.191, p. 2463 – 2468, 2015.

MILARÉ, T.; ALVES FILHO, J.P. **Ciências no nono ano do ensino fundamental: da disciplinaridade à alfabetização científica e tecnológica.** *Rev. Ensaio, Belo Horizonte*, v.12, n.02, p.101-120, maio-ago., 2010.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. M. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel.** – 2.ed. São Paulo: Centauro, 2006.

MOREIRA, M. A. **Uma análise crítica do ensino de Física.** *Estud. av.* vol.32 no.94 São Paulo Sept./Dec. 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142018.3294.0006>>. Acesso em: 12 dez. 2019.

NWORGU, L.N.; OTUM, V.V. **Effect of Guided Inquiry with Analogy Instructional Strategy on Students Acquisition of Science Process Skills.** *Journal of Education and Practice*, Vol.4, No.27, pp. 35-41, 2013.;

PIETROCOLA, M; POGIBIN, A.; ANDRADE, R.; ROMERO, T.R.; **Coleção Física em Contextos: pessoal, social e histórico**, vol.2, 1ª ed., São Paulo: FTD, 2010, p.234 e 235.

SANTOS, P. M., VELOSO, A. S., KALHIL, J.B.; **A concepção dos alunos sobre a disciplina Física no ensino médio de uma escola pública na cidade de Manaus**. Lat. Am. J. Sci. Educ. 2, 12004, 2015.

SASSERON, L. H. **O ensino por investigação: Pressupostos e práticas**. Licenciatura em ciências. USP/Univesp. Módulo 7. Disponível em: <https://midia.atp.usp.br/plc/plc0704/impressos/plc0704_12.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2019

SASSERON, L. H. **Ensino de Ciências por Investigação e o Desenvolvimento de Práticas: Uma Mirada para a Base Nacional Comum Curricular**. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências. P.1061–1085. Dezembro, 2018.

SEE-MG. **Conteúdo Básico Comum (CBC) de CIÊNCIAS do Ensino Fundamental do 6º ao 9º ano – Exames Supletivos/2018**. Disponível em: <http://www2.educacao.mg.gov.br/imagens/Ciencias.pdf>. Acessado em: 20/12/2019.

SEE-MG. **Conteúdo Básico Comum (CBC) de FÍSICA do Ensino Médio – Exames Supletivos/2018**. Disponível em: http://www2.educacao.mg.gov.br/images/Progr._F%C3%ADsica_M%C3%A9dio_2018.pdf. Acessado em: 20/12/2019.

SILVA, L. V. F. et al. **Vídeo análise de um análogo mecânico para ensino do conceito de resistividade**. XXIII Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF. Janeiro de 2019.

STOCKLMAYER, S. M.; TREAGUST, D. F. **A historical analysis of electric currents in textbooks: A century of influence on physics education**. *Science and Education*, 3, 131-154. (1994).

TEIXEIRA, M. R. S. **A abordagem da electricidade através do uso de analogias. Caso de circuitos eléctricos simples**. Universidade de Aveiro 2010 Departamento de Ciências da Educação.

TREAGUST, D.F.; HARRISON, A.G.; VENVILLE, G.J. **Teaching Science Effectively With Analogies: An Approach for Preservice and Inservice Teacher Education.** Journal of Science Teacher Education v. 9, nº. 2 (1998), pp. 85-101

UKOH, E. E. and ADEJIMI, A. S. **Analogy and Guided Inquiry Instructional Strategies and Students' Achievement in Basic Science in Lagos Metropolis, Nigeria: Way Forward for Effective Science Teaching and Learning.** Journal of Education, Society and Behavioural Science, v.26, nº1, pp.1-12, 2018.

WINDSCHITL, M.; THOMPSON, J.; BRAATEN, M. **Beyond the scientific method: model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations.** Science Education. v. 92 941–67, 2008.

YERRICK, R.Y.; DOSTER, E.; NUGENT, J.S.; PARKE, H.M.; CRAWLEY, F.E. **Social Interaction and the Use of Analogy: An Analysis of Preservice Teachers' Talk during Physics Inquiry Lessons.** Journal of Research in Science Teaching. v. 40, nº. 5, pp. 443–463, 2003.;

YOUNG, H.D.; FREEDMAN, R.A. **Física IV, Sears e Zemansky: ótica e física moderna.** São Paulo: Pearson Education do Brasil Ltda., 2012.

ZEITOUN, H.H. **Teaching Scientific Analogies: a proposed model,** Research in Science & Technological Education, Vol. 2, No. 2, 1984.

ZÔMPERO, A. F.; LABURÚ, C. E. **As atividades de investigação no Ensino de Ciências na perspectiva da teoria da Aprendizagem Significativa.** Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias, vol. 5, núm. 2, diciembre, 2010, pp.12-19.

ZÔMPERO, A. F.; LABURÚ, C. E. **Atividades investigativas no ensino de ciências: Aspectos históricos e diferentes abordagens.** Revista Ensaio v.13, n.03. Belo Horizonte 2011.

Anexos

Abaixo encontra-se um manual de montagem e utilização dos experimentos utilizados durante a sequência didática apresentada na dissertação acima.

A utilização desse aparato experimental foi de grande valia durante o desenvolvimento da sequência didática. Ambos os experimentos foram importantes para chamar a atenção e despertar o interesse dos alunos.

No experimento do reostato, a variação no brilho da lâmpada despertou a curiosidade de muitos estudantes e promoveu uma boa discussão no intuito de explicar o fenômeno. Além disso, como o fio estava “desencapado” outra questão acabou surgindo durante a utilização do experimento, muitos discentes perguntaram porque eu não “tomava choque” quando fazia o contato elétrico, e esse questionamento serviu para explicar um outro conceito.

O experimento sobre Lei de Ohm também foi bem aceito pelos educandos. Muitos nunca tinham visto um resistor nem mesmo um multímetro e ficaram curiosos com o material. A montagem do gráfico da Lei de Ohm também foi relevante uma vez que a grande maioria dos alunos tem dificuldades de interpretar e fazer gráficos.

Foi possível perceber que o aparato experimental fez diferença durante as aulas e promoveu ganhos durante o ensino/aprendizagem.

A sequência didática, filmes e o manual de construção dos experimentos podem ser acessados em arquivos eletrônicos no endereço: <https://juliocesarjunior87.wixsite.com/produtoedc>

Montagem do experimento I – Reostato

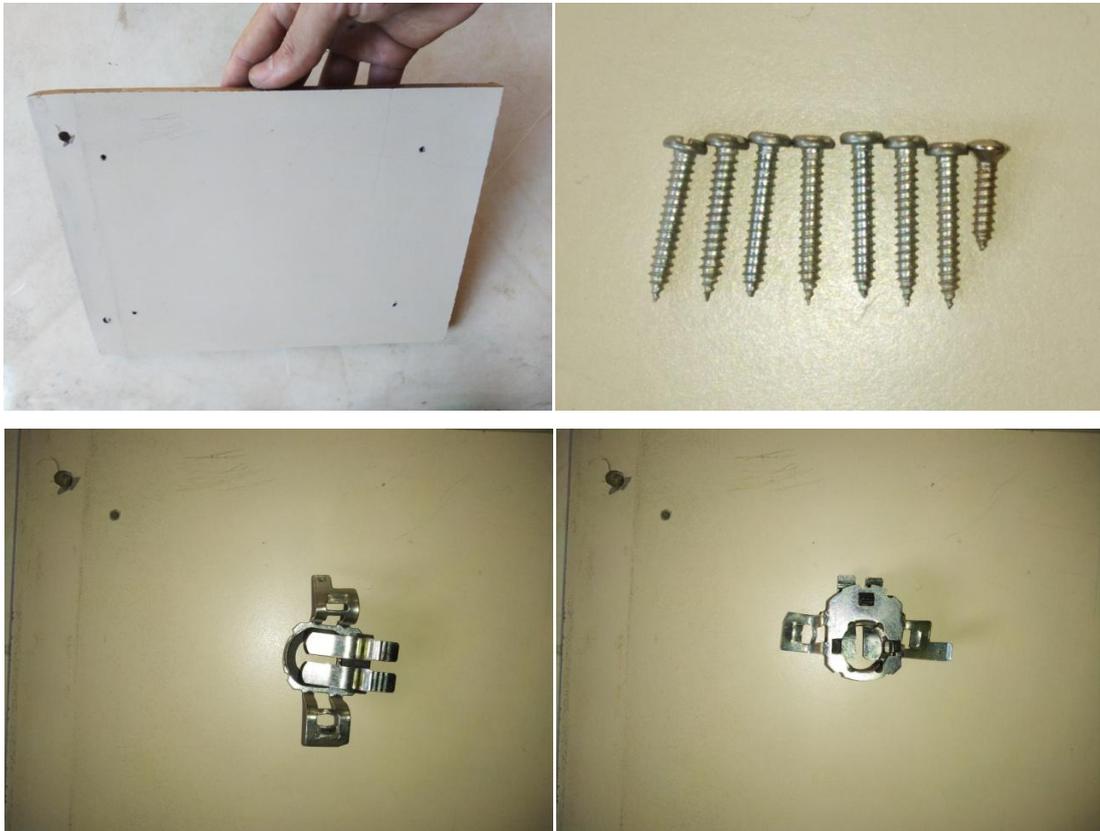
Ambos os experimentos feitos por nós foram confeccionados utilizando materiais de baixo custo ou reaproveitáveis/reciclados.

Para a confecção do reostato foram necessários os seguintes materiais:

- Uma base de madeira.

- Oito parafusos de madeira onde um dos parafusos deve ser mais curto que os outros.
- Um soquete (um ou dois polos) para lâmpada automotiva 12 V que pode ser encontrado em auto elétrica veicular.
- Uma lâmpada de freio (dois polos) ou seta (um polo) de 12 V.
- Um pedaço de fio retirado da resistência de secador de cabelo.
- Um pedaço de fio comum.
- Uma fonte de 12 V (no meu caso utilizei uma fonte retirada de um aparelho de antena parabólica).

Imagem 1: Materiais necessários para montagem do experimento.

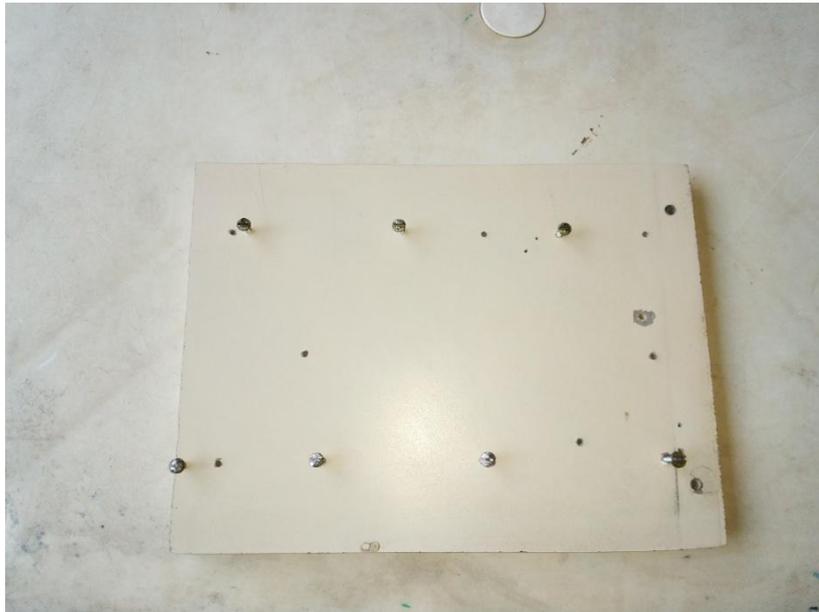




Fonte: O autor.

Para a montagem do aparato experimental, primeiro deve-se fixar os parafusos na base de madeira de modo que eles fiquem quase sempre na mesma distancia uns dos outros, como representado na imagem 2 abaixo.

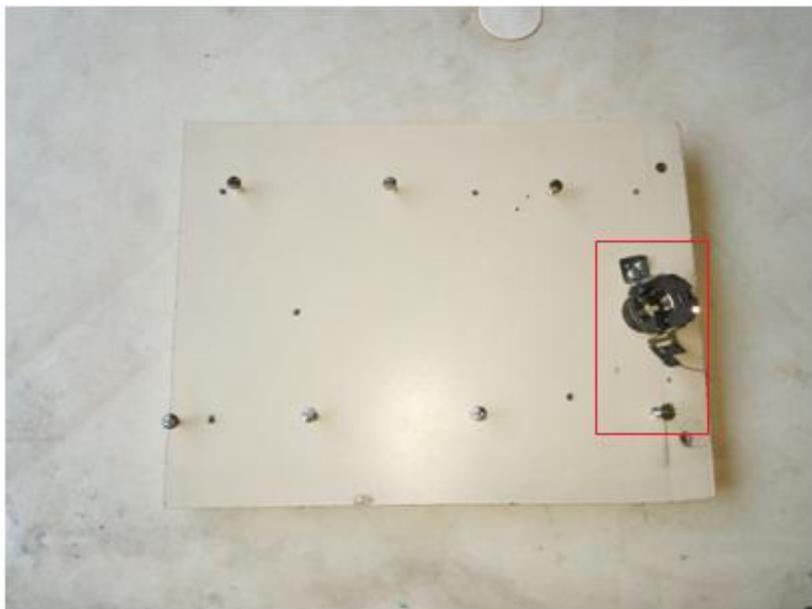
Imagem 2: Fixação dos parafusos na base de madeira.



Fonte: O autor.

Em seguida é colocado o soquete próximo ao último parafuso.

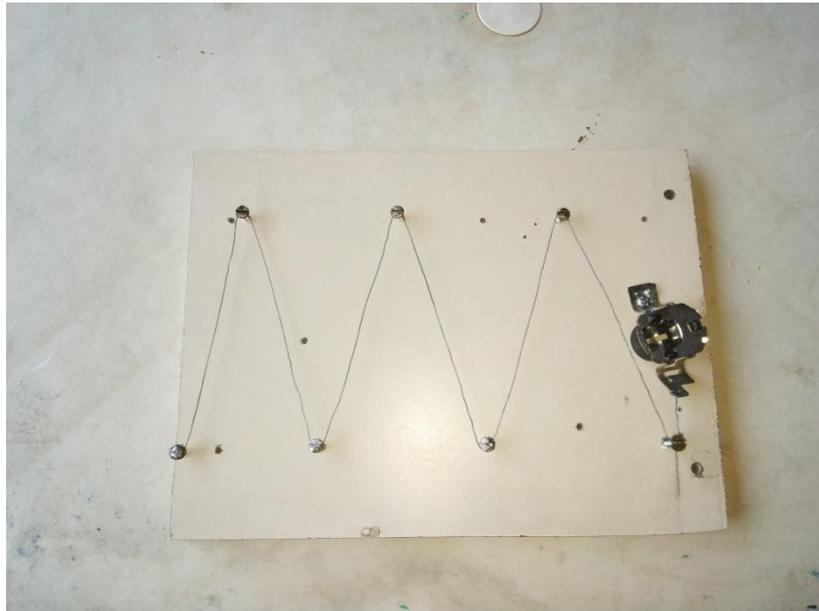
Imagem 3: Fixação do soquete na base de madeira.



Fonte: O autor.

Depois passa-se o fio pelo soquete e na sequencia vai fazendo um zig-zague entre os parafusos. É importante que ao passar o fio pelos parafusos, de duas voltas com o fio em cada parafuso fazendo com que ele fique bem esticado. No ultimo parafuso, de mais voltas com o fio e o prenda bem.

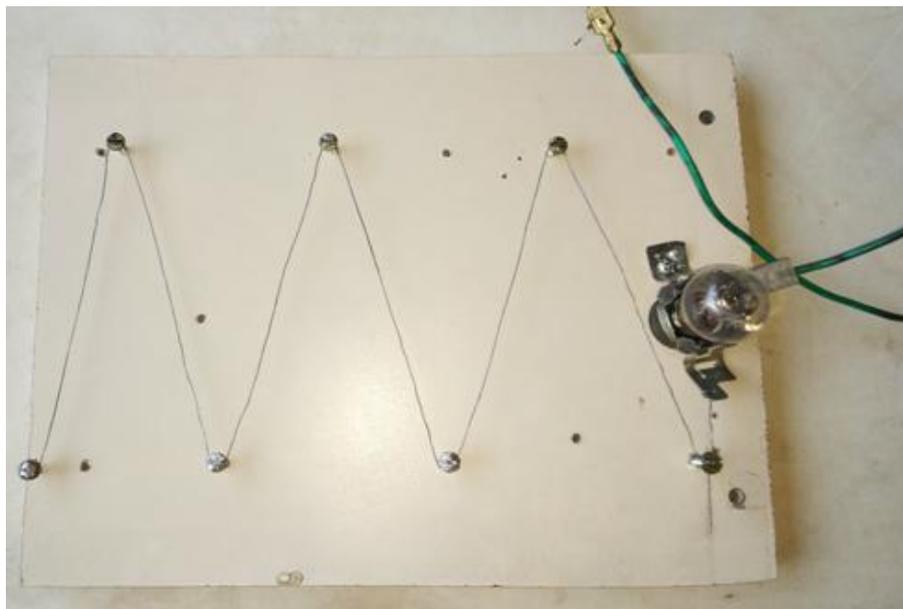
Imagem 4: Conectando o fio da resistência do secador de cabelo.



Fonte: O autor.

Ligue agora o pedaço de fio no soquete e coloque a lâmpada.

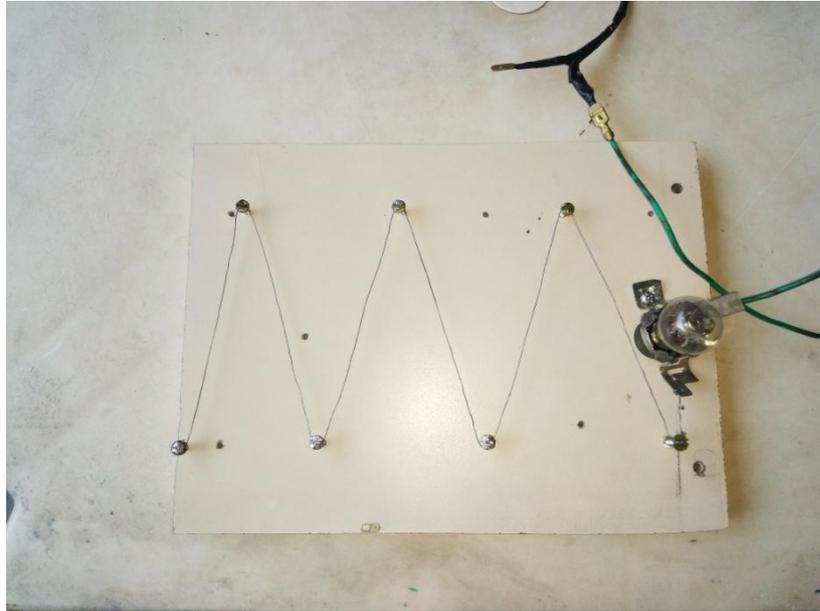
Imagem 5: Ligando o fio no soquete e colocando a lâmpada



Fonte: O autor.

Para terminar ligue o fio verde a um dos fios da fonte.

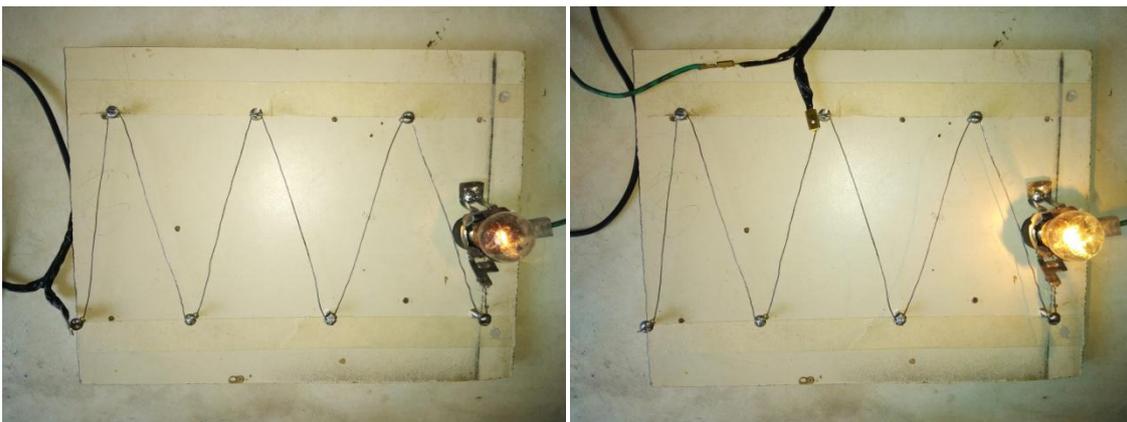
Imagem 6: Ligando a fonte ao aparato experimental.



Fonte: O autor.

Com fio da fonte que ficar livre faça contato com os parafusos e a lâmpada irá acender.

Imagem 7: Acendendo a lâmpada.

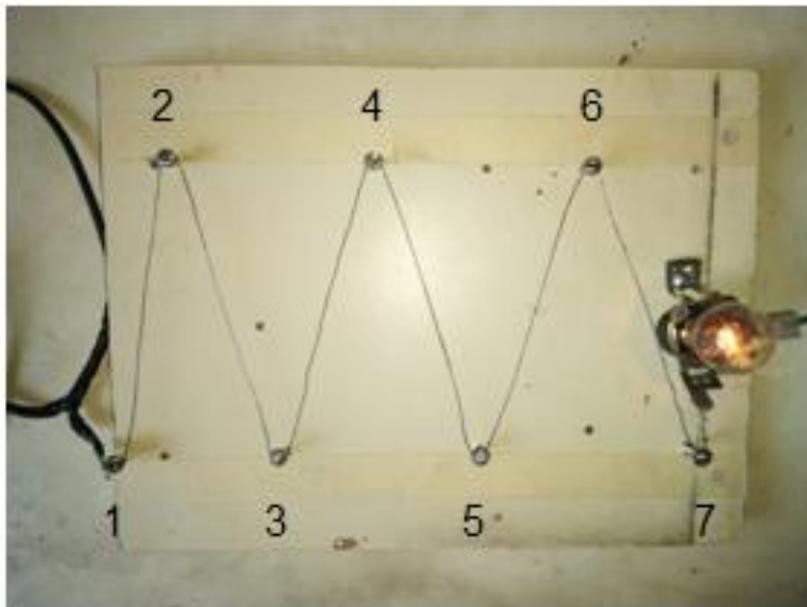


Fonte: O autor.

Utilizando o experimento I - Reostato

O aparato experimental é utilizado para demonstrar aos alunos que a resistência elétrica é um limitador de corrente elétrica. Primeiramente devemos fazer contato com o parafuso 1 que encontra-se mais distante da lâmpada, de maneira que o resistor tenha o maior comprimento possível. Depois fazemos contato com o parafuso 2, em seguida com o parafuso 3 e assim sucessivamente, como representado na imagem 8 abaixo.

Imagem 8: Conectar o fio seguindo a ordem crescente da numeração dos parafusos.

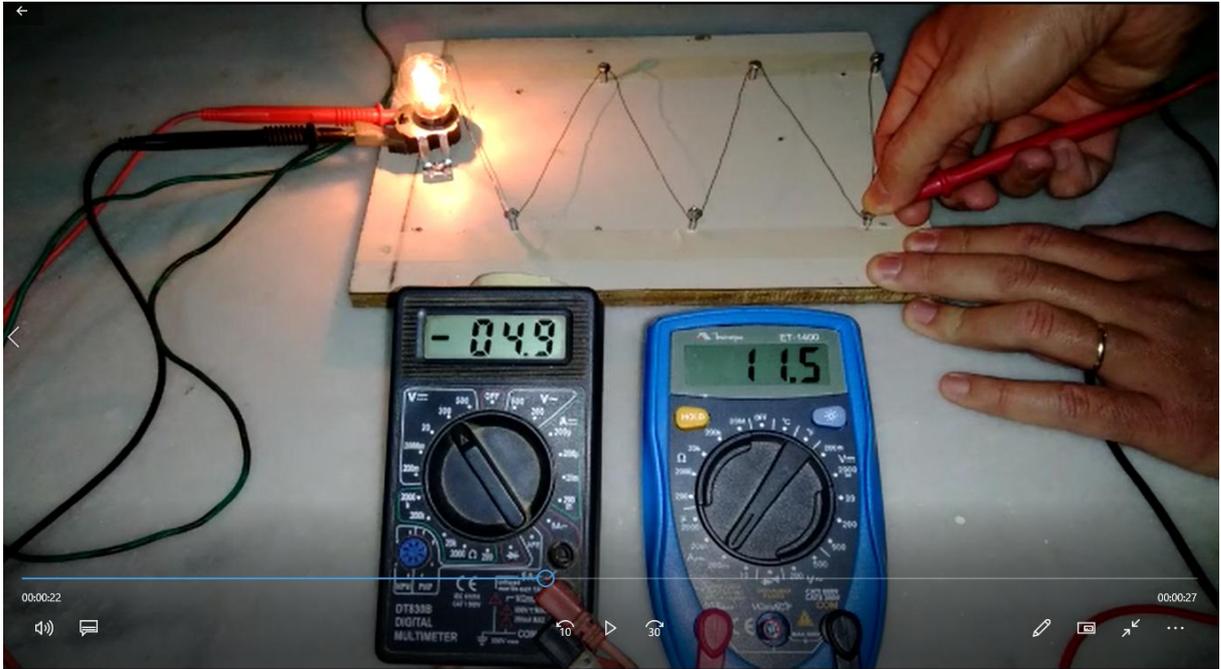


Fonte: O autor.

Há medida em que vamos fazendo contato seguindo a ordem crescente dos parafusos, vamos diminuindo o comprimento da resistência elétrica e conseqüentemente aumentado a corrente elétrica fazendo com que o brilho da lâmpada se torne cada vez maior. Dessa maneira os alunos conseguem perceber a relação inversa entre a resistência elétrica e a corrente elétrica. É possível observar também a relação direta entre a corrente e a potência dissipada (brilho da lâmpada), pois a medida que a corrente aumenta a potência dissipada se torna cada vez maior e a lâmpada brilha cada vez mais.

Também é possível inserir no aparato experimental um voltímetro e um amperímetro de maneira que os alunos possam acompanhar as leituras de voltagem e corrente elétrica enquanto vamos fazendo contato com os diferentes parafusos presentes no aparato experimental.

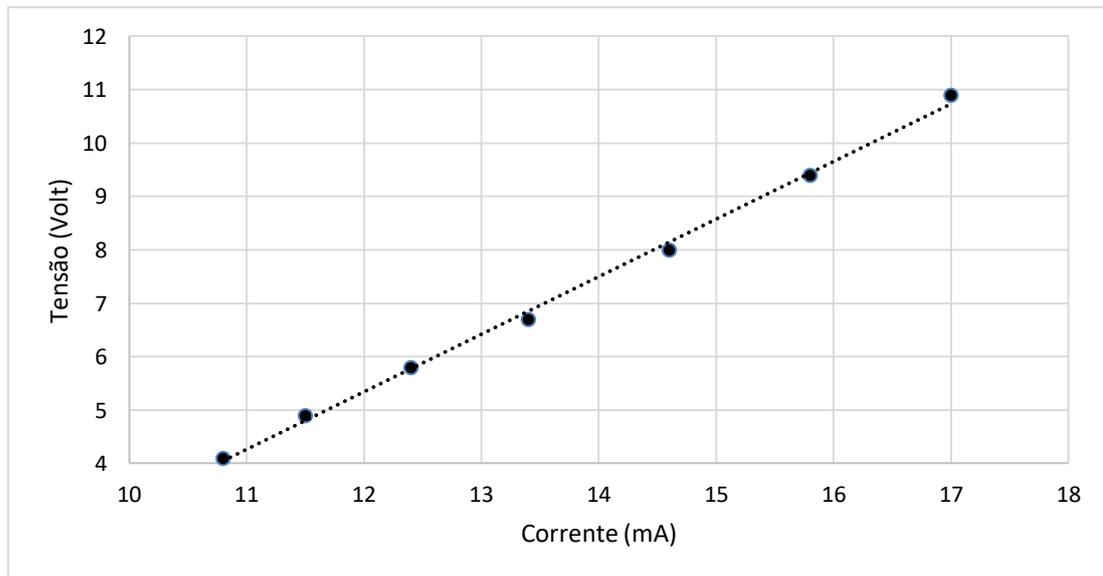
Imagem 9: Medindo a corrente e a ddp no aparato experimental.



Fonte: O autor.

Além disso, com os valores obtidos pelos aparelhos de medidas (voltímetro e amperímetro) é possível plotar um gráfico de voltagem por corrente e demonstrar a lei de Ohm.

Imagem 10: Gráfico obtido através das medidas de corrente e a ddp no aparato experimental.



Fonte: O autor.

Montagem do experimento II – Lei de Ohm

Para a montagem deste experimento foram necessários os seguintes materiais:

- 35 cm de cano de PVC de $\frac{1}{2}$.
- Uma base de madeira.
- Uma lamina de serra manual (segueta).
- Adesivo instantâneo.
- Dois conectores fêmea.
- Um pedaço de fio.
- Seis pilhas pequenas.
- Um resistor (com no mínimo 100Ω)
- Um conector barra sindal 4 posições para fio de 2,5 mm.
- Quatro parafusos.
- Ferro de solda e estanho.
- Dois multímetros.

Comece serrando o cano de PVC na horizontal. Serre-o por completo, de acordo com a imagem 11.

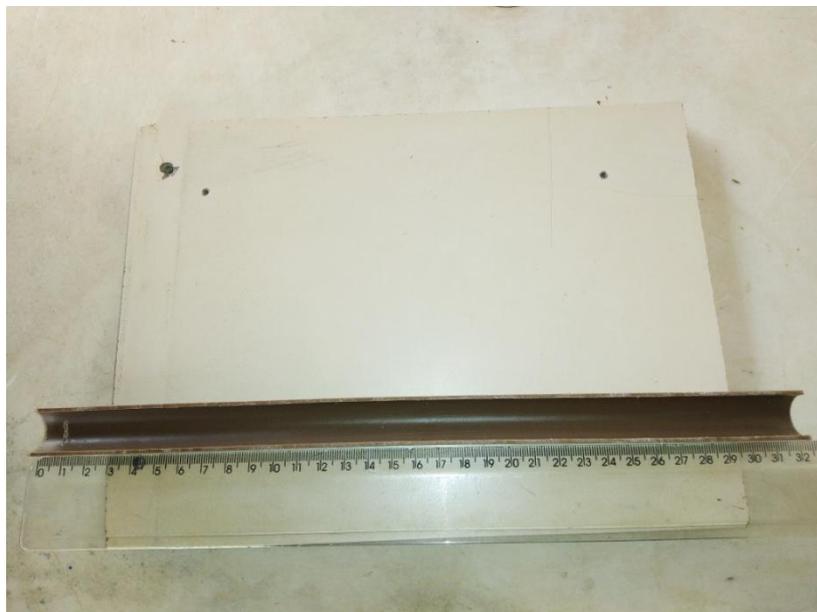
Imagem 11: Cano de PVC inteiro (esquerda) e cano de PVC serrado ao meio na horizontal (direita).



Fonte: O autor.

Utilizando o adesivo instantâneo cole o cano de PVC na base de madeira.

Imagem 12: Cano de PVC colado na base de madeira



Fonte: O autor.

Agora, usando a segureta, faça um pequeno corte em uma das extremidades do tubo de PVC de modo que de para colocar o conector macho.

Imagem 13: Corte realizado no cano de PVC para inserir o conector.



Fonte: O autor.

Com o ferro de solda, solde um pedaço de fio (preto) ao conector, passe o conector pelo corte feito no tubo de PVC e cole-o com o adesivo instantâneo. Cole o fio na base de madeira para ele não forçar o conector.

Imagem 14: Prendendo o conector ao cano de PVC.





Fonte: O autor.

Meça o comprimento do resistor e fixe dois parafusos na base de madeira do lado oposto ao cano de PVC. A distancia entre os dois parafusos deve ser um pouco menor que o comprimento do resistor, de modo que a resistência possa ser presa aos dois parafusos. Então solde a resistência nos dois parafusos como representado na imagem 15 abaixo.

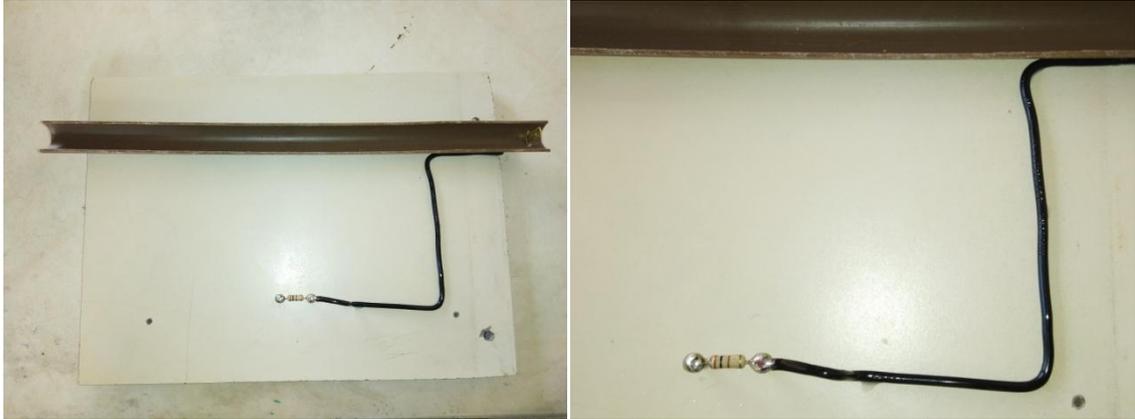
Imagem 15: Colocando o resistor na base de madeira.



Fonte: O autor.

Ligue a outra ponta do fio preto que esta soldada ao conector na resistência elétrica.

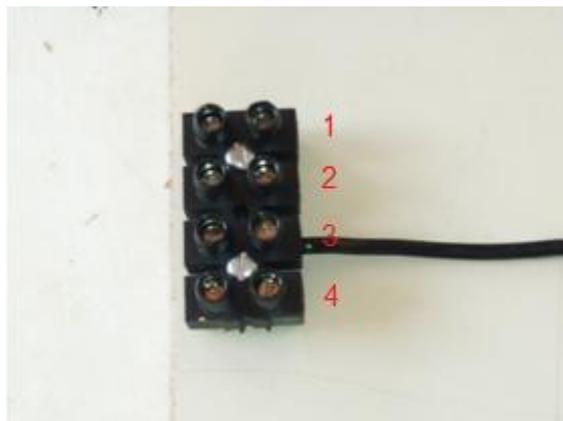
Imagem 16: Ligando o primeiro fio (preto) ao resistor.

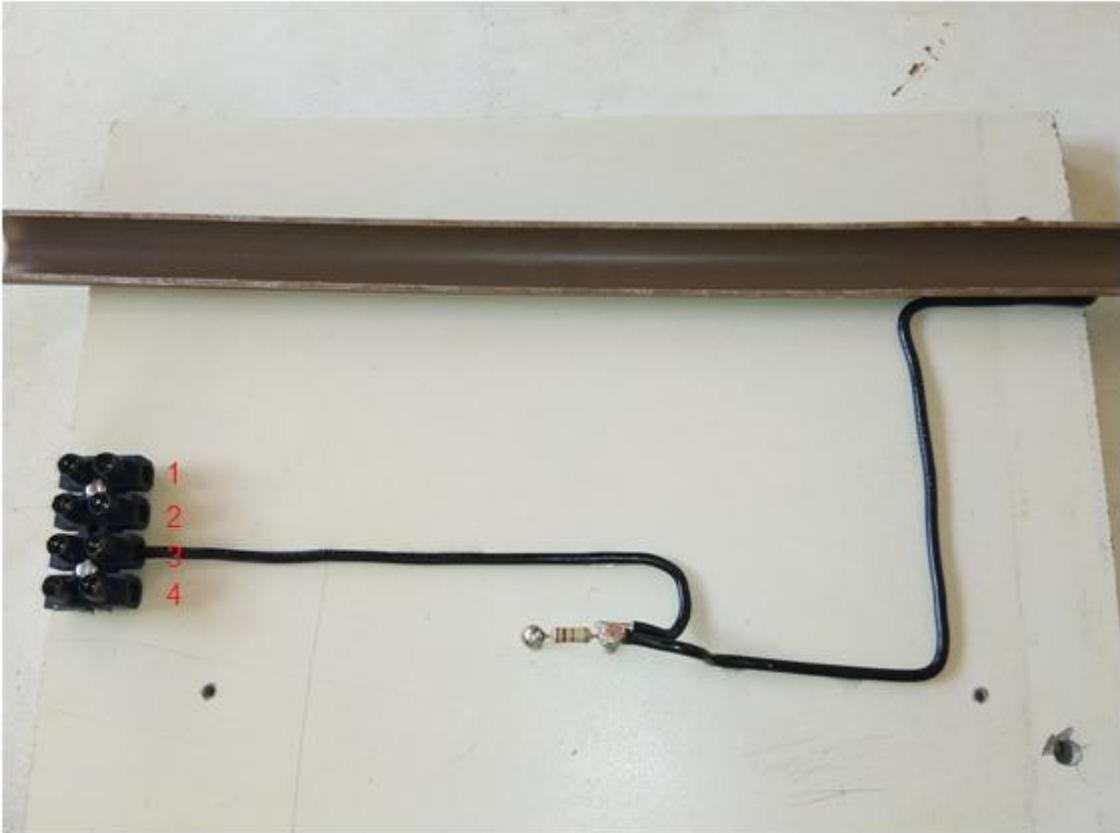


Fonte: O autor.

Utilizando os dois parafusos restantes, parafuse o conector barra na base de madeira, prenda mais um pedaço de fio preto na posição 3 do conector barra e a outra extremidade do fio ligue-a no resistor do mesmo lado que o primeiro fio preto. O fio preto vai representar o lado negativo do nosso aparato experimental.

Imagem 17: Colocando o conector barra e mais um pedaço de fio preto.

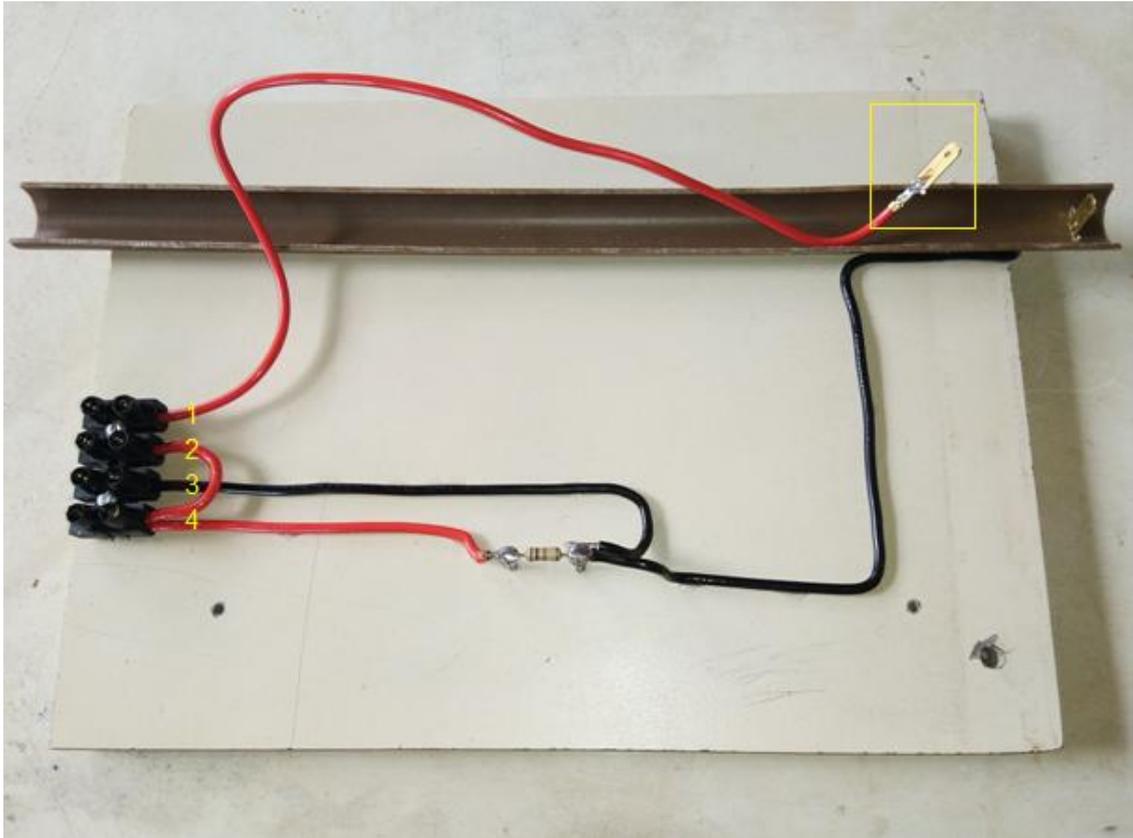




Fonte: O autor.

Agora utilize um fio de cor vermelha (pode ser qualquer outra cor) para representar o positivo do aparato experimental e faça as ligações seguindo a imagem 18. Na extremidade livre do fio vermelho solde mais um conector macho (dentro de uma caixa amarela na imagem 18).

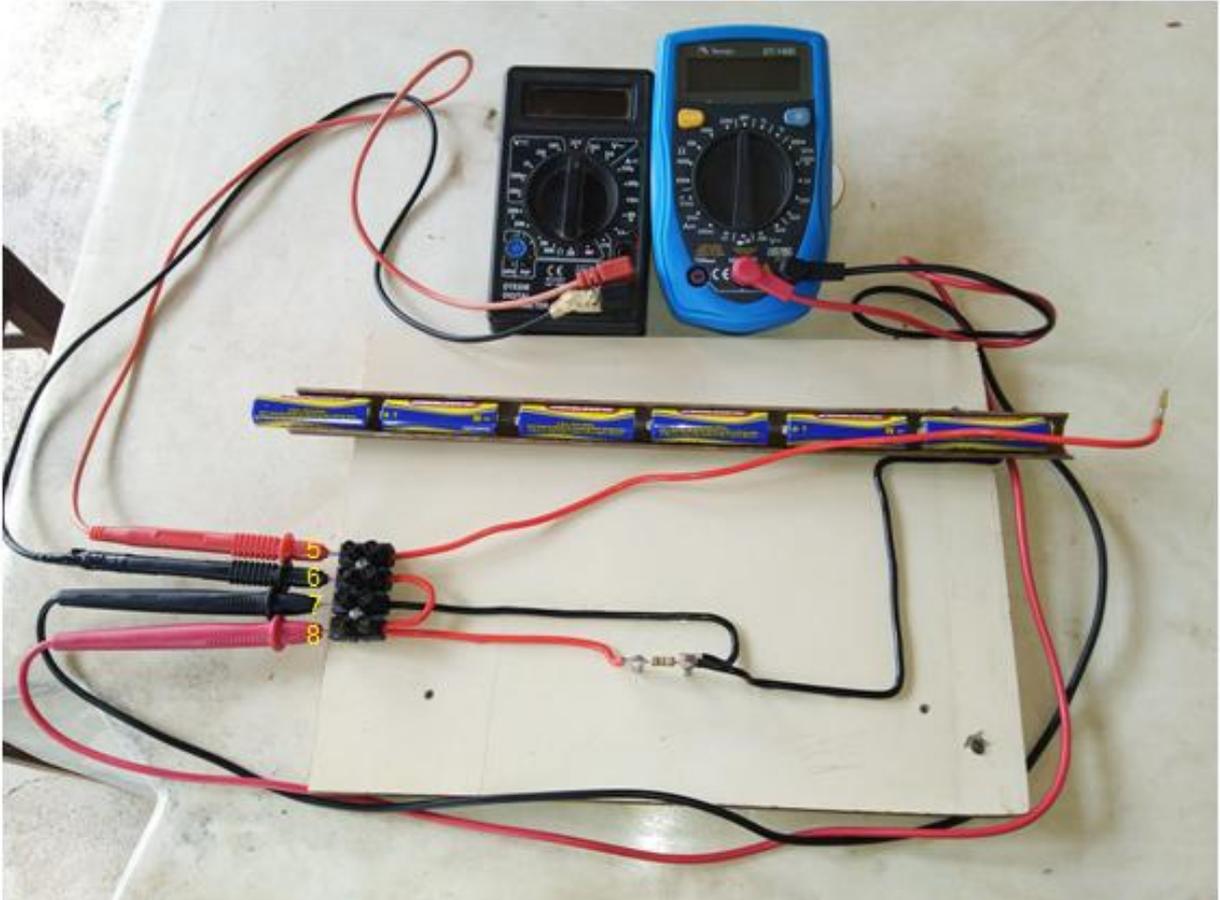
Imagem 18: Ligando os fios vermelhos.



Fonte: O autor.

Coloque um multímetro na função amperímetro e o outro na função voltímetro. Ligue os dois no conector barra de acordo com a imagem 19. Por fim basta colocar as pilhas no cano de PVC e está pronto o aparato experimental.

Imagem 19: Ligando os multímetros.



Fonte: O autor.

O multímetro azul funciona como voltímetro e está ligado em paralelo nas posições 7 e 8 do conector barra. Já o multímetro preto, atua como amperímetro e está ligado em série nas posições 5 e 6 do conector barra.

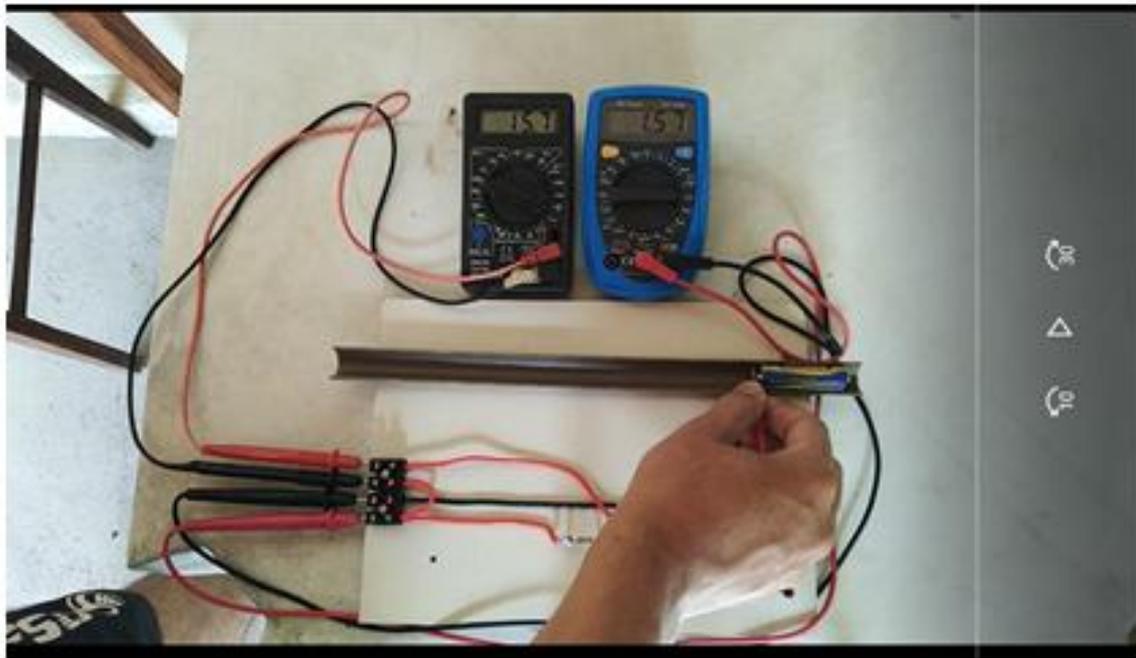
Utilizando o experimento II – Lei de Ohm

A finalidade do experimento II é chegar à lei de Ohm utilizando pilhas, material bastante comum no cotidiano dos estudantes. Neste aparato experimental temos uma resistência fixa com valor de $100\ \Omega$ e a medida que vamos aumentando a ddp do circuito com a introdução de pilhas os alunos conseguem observar um aumento de

corrente elétrica e passam a serem capazes de perceber a relação direta existente entre a ddp e a corrente elétrica.

Primeiro colocamos somente uma pilha dentro do tubo de PVC e conectamos o fio vermelho a essa pilha. O voltímetro irá indicar a ddp no circuito e o amperímetro apresentará a corrente elétrica. Então pedimos aos alunos para criar uma tabela no quadro e anotar esses dois valores.

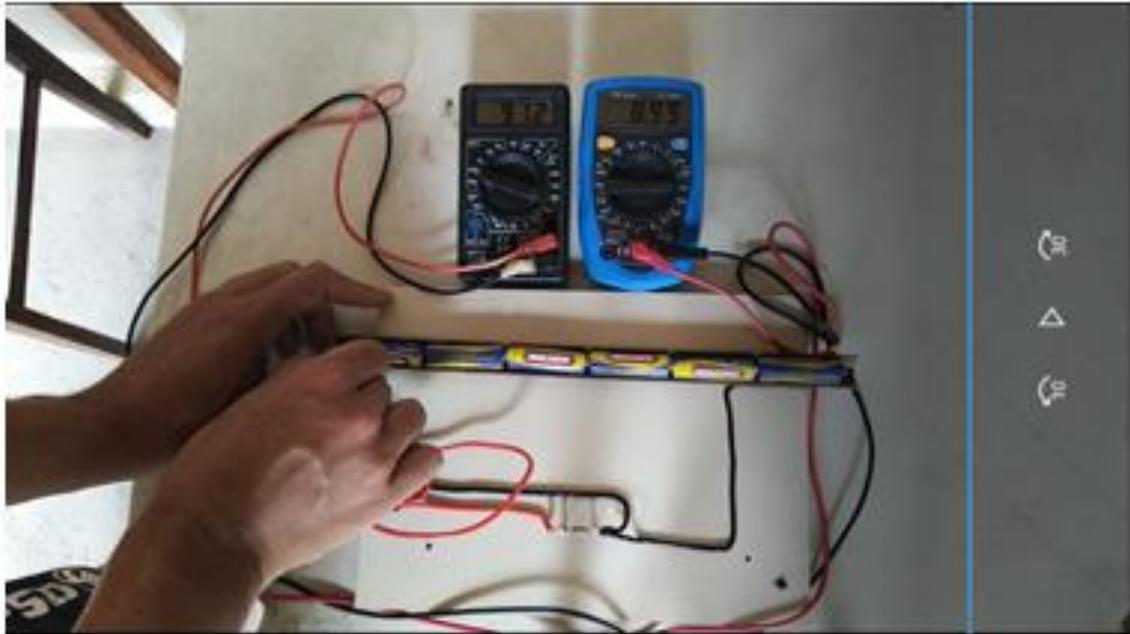
Imagem 20: DDP e corrente elétrica para uma pilha.



Fonte: O autor.

Colocamos então mais uma pilha no circuito e novamente anotamos os valores de corrente elétrica e ddp. Repetimos esse processo até que o circuito elétrico contenha 6 pilhas associadas em série.

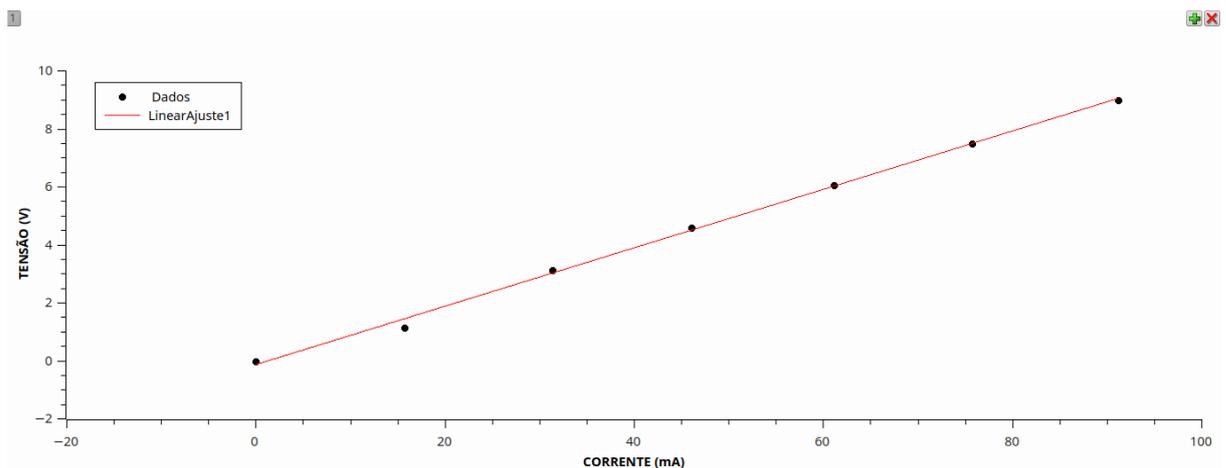
Imagem 21: DDP e corrente elétrica para seis pilhas.



Fonte: O autor.

De posse dos dados presente no quadro e utilizando algum software para gerar gráficos, plotamos um gráfico de voltagem elétrica por corrente elétrica, e através de uma regressão linear demonstramos aos estudantes a lei de Ohm.

Imagem 22: Gráfico de ddp por corrente elétrica obtido através do aparato experimental.

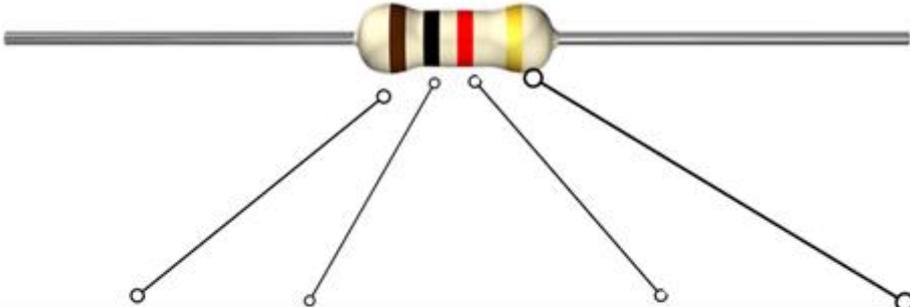


Fonte: O autor.

Através do gráfico e dos dados da tabela é possível discutir com os alunos as limitações do aparato experimental e inseri-los na linguagem científica. Além disso, o aparato experimental faz uso de um resistor que não é comum ao cotidiano dos

discentes logo, essa se torna uma boa oportunidade deles conhecerem coisas novas e poderem, por exemplo, fazer uso do código de cores para saber as especificações dos resistores desse tipo, como mostra a imagem 23.

Imagem 23: Código de cores para os resistores.



Cor	1° faixa	2° faixa	3° faixa	Multiplicador	Tolerância
Preto	0	0	0	x1	
Marrom	1	1	1	x10	1%
Vermelho	2	2	2	x100	2%
Laranja	3	3	3	x1k	
amarelo	4	4	4	x10k	
Verde	5	5	5	x100k	.5%
Azul	6	6	6	x1M	.25%
Lilas	7	7	7	x10M	.1%
Cinza	8	8	8		.05%
Branco	9	9	9		
Dourado			x0,1	x.1	.5%
Prata			x0,01	x0.1	.10%

Fonte: <https://blog.silvatronics.com.br/376-2/>.

Também podemos discutir com os alunos de que maneira devemos ligar o voltímetro e o amperímetro em um circuito para que possamos fazer a leitura correta da ddp e da corrente elétrica além de discutir as características desses aparelhos.

Ou seja, podemos perceber que os experimentos apresentados aqui podem ser uma ferramenta importante para discutir e ensinar vários conceitos de física e também de outras áreas ciências. Os experimentos também despertam a curiosidade dos alunos e os motivam na busca pelo conhecimento.

O produto completo, contendo as aulas em PowerPoint, o manual de montagem e utilização dos experimentos e os vídeos de aplicação dos experimentos podem ser acessados e baixados em <https://juliocesarijunior87.wixsite.com/produtoedc>.