



SAMUELL ANTONIO AMARAL DE OLIVEIRA

**OS ELÉTRONS LIVRES NÃO SÃO TÃO LIVRES ASSIM:
UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ESTUDO
DA CORRENTE ELÉTRICA**

LAVRAS - MG

2022

SAMUELL ANTONIO AMARAL DE OLIVEIRA

**OS ELÉTRONS LIVRES NÃO SÃO TÃO LIVRES ASSIM:
UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ESTUDO DA CORRENTE
ELÉTRICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, área de concentração em Ensino de Física, para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Prof. DSc. Ulisses Azevedo Leitão

Orientador

Prof. DSc. Antonio dos Anjos Pinheiro da Silva

Coorientador

LAVRAS - MG

2022

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a)

Oliveira, Samuell Antonio Amaral de

Os elétrons livres não são tão livres assim : Uma proposta de Sequência Didática para o estudo da corrente elétrica / Samuell Antonio Amaral de Oliveira. – 2022.

115 p. : il.

Orientador: Ulisses Azevedo Leitão.

Coorientador: Antonio dos Anjos Pinheiro da Silva.

Dissertação (Mestrado profissional)-Universidade Federal de Lavras, 2022.

Bibliografia.

1. Modelo de Drude. 2. Corrente Elétrica. 3. Laboratório Remoto. 4. Dissertação - Normas. I. Leitão, Ulisses Azevedo. II. Silva, Antonio dos Anjos Pinheiro da. III. Título.

SAMUELL ANTONIO AMARAL DE OLIVEIRA

**OS ELÉTRONS LIVRES NÃO SÃO TÃO LIVRES ASSIM: UMA PROPOSTA DE
SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ESTUDO DA CORRENTE ELÉTRICA**

**FREE ELECTRONS ARE NOT SO FREE: A PROPOSAL OF A DIDACTIC SEQUENCE
TO STUDY ELECTRIC CURRENT**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, área de concentração em Ensino de Física, para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

APROVADA em 21 de fevereiro de 2022.

Profa. Dra. Maria José Fontana Gebara UFSCar - Sorocaba
Prof. Dr. Paulo Ricardo da Silva DQI-ICN-UFLA

Prof. DSc. Ulisses Azevedo Leitão
Orientador

Prof. DSc. Antonio dos Anjos Pinheiro da Silva
Co-Orientador

**LAVRAS - MG
2022**

Dedido este trabalho a todos que, de modo especial, deram-me apoio para que fosse possível sua conclusão. À minha esposa Maria Celeste, que sempre se mostrou atenciosa à importância do Mestrado, em nossas vidas, auxiliando em revisões e orientações. Aos meus pais Ana e Antonio, que me proporcionaram todo o suporte necessário para a vida. Minha madrinha Lúcia, que hoje não está mais entre nós, mas que sempre mostrou um enorme carinho por mim. Meus amigos de viagem para o Mestrado, Phelipe e Wanderson, aos quais me recordo de várias conversas que nos tornaram a cada dia mais maduros para nos tornarmos mestres. Ao meu orientador Ulisses Azevedo e nossas valiosas discussões que permitiram que nosso trabalho tivesse o corpo que hoje possui, não deixando de citar também a Juciane, que companheira de orientação, teve também grandes contribuições em minha pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, minha maior fonte de luz e inspiração, que me amparou em meus momentos de angústias e desânimo. Aos meus pais pelo apoio, à minha esposa por toda atenção e carinho ao meu lado.

"Todo conhecimento científico é incerto. Você pode saber o nome de um pássaro em todas as línguas do mundo, mas no fim das contas, você não saberá absolutamente nada sobre o que quer que seja o pássaro".
(Richard Feynman)

RESUMO

No ensino de Física, nós, professores, sempre buscamos alternativas para que nosso aluno esteja participativo e engajado nas aulas. Buscamos desenvolver atividades que incentivem o senso crítico, suas habilidades de pensamento e sua capacidade de enxergar o mundo do ponto de vista físico. As atividades experimentais têm muito a contribuir para a busca de um ensino e aprendizagem mais próximos à realidade do nosso estudante. Como atender a este objetivo no ensino remoto? Na inviabilidade de um experimento físico, em sala de aula, utilizam-se diversos softwares que simulam fenômenos físicos. Entre os mais utilizados, podemos citar o PhET (Physical Education Technology). Por mais que esses softwares criem uma condição favorável para o ensino da física, tendo em vista seu caráter como laboratórios virtuais, acreditamos que os alunos carecem de manipular um experimento real, com componentes reais. Neste contexto, o presente trabalho relata o desenvolvimento de um Laboratório Remoto, para as atividades experimentais de circuitos elétricos, o RLab que apresenta como diferencial seu baixo custo. Os Laboratórios controlados remotamente estão presentes por todo o mundo, conforme indica a literatura. Em contrapartida, potencialidades no processo de ensino e aprendizagem dos nossos discentes, é ainda matéria de investigação. Como ponto central de nossa investigação, buscamos levantar indícios que apontem para potencialidades do RLab no Ensino da Física. Nosso público de pesquisa conta com 10 alunos, sendo cinco do 9º ano do Ensino Fundamental e cinco do 2º ano do Ensino Médio. Nossa Sequência Didática tem um total de oito aulas, as quais visam criar condições, para que os estudantes, consigam manipular e realizar as atividades investigativas, por meio de um roteiro experimental. Propõe-se o desafio de analisar os argumentos dos estudantes na elaboração do modelo de corrente elétrica, por uma ferramenta, a Análise de Argumentos *CCnER*. Contudo percebemos que o Laboratório Remoto tem muito a contribuir para a construção de discussões significativas, entre professor-aluno, por meio de aulas mediadas, possuindo um roteiro investigativo que norteie e instigue o aluno.

Palavras-chave: Argumentos. Ensino de Física. Laboratórios Remotos. Potencialidades.

ABSTRACT

In the teaching of Physics, we, teachers, always look for alternatives so that our student is participatory and engaged in classes. We have as a goal to develop activities skills that encourage critical sense, thinking skills, and the ability to see the world from a physical perspective. The experimental activities have much to contribute to the search for teaching and learning closer to the reality of our students. How to meet this objective in remote teaching? At the unfeasibility of a physical experiment in the classroom, several software programs are used that simulate physical phenomena. Among the most used, we can mention the PhET (Physical Education Technology). As much as these software programs create a favorable condition for physics teaching, taking into consideration their character as virtual labs, we believe that students need to manipulate a real experiment, with real components. In this context, the present text reports the development of a Remote Laboratory for the experimental activities of electrical circuits, the RLab, which presents as a differential its low cost. The laboratories remotely controlled are present all over the world, as indicated in the literature. Additionally, its potential in the teaching and learning of our students is still a matter of investigation. As a central point to our investigation, we seek to raise evidence that points to RLab's potentialities in Physics Teaching. Our research audience has 10 students, being five students from the 9th year of Elementary School and five students from the second year of High School. Our Didactic Sequence has a total of eight classes, which aim to create conditions so that students can manipulate and carry out the investigative tests, through an experimental script. The challenge of analyzing the students' arguments in the elaboration of the electric current model, through the *CcnER* Argument Analysis tool. Nevertheless, we realized that the Remote Laboratory has much to contribute to the construction of meaningful discussions, between teacher-student, through mediated classes, having a script investigation that guides and instigates the student.

Keywords: Arguments. Physics Teaching. Remote Laboratories. Potentialities.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Cinco E’s para o Ciclo de Aprendizagem	17
Figura 2.2 – Detalhe da variedade de recursos os quais a Plataforma Moodle tem a oferecer	21
Figura 2.3 – Escala de interatividade.	22
Figura 2.4 – Laboratórios de acesso remoto distribuídos pelo mundo.	24
Figura 4.1 – A representação de um Átomo	34
Figura 4.2 – Uma visão microscópica dos isolantes e condutores.	35
Figura 4.3 – Visão microscópica de um elétron de condução que se move por um metal.	36
Figura 6.1 – Organização de atividades - Aula 1	53
Figura 6.2 – Organização de atividades - Aula 2	54
Figura 6.3 – Circuito para verificar capacidade ou não de condução de corrente elétrica .	55
Figura 6.4 – Modelos representativos de materiais isolante (1) e condutor (2)	55
Figura 6.5 – Organização de atividades - Aula 3	56
Figura 6.6 – Organização de atividades - Aula 4	57
Figura 6.7 – Coleta de dados para cálculo de velocidade médias	59
Figura 6.8 – Detalhe da tábua de pregos para a prática experimental representando o Modelo de Drude	59
Figura 6.9 – Organização de atividades - Aula 5	60
Figura 6.10 – Gráfico Inclinação x média das velocidades	62
Figura 6.11 – Organização de atividades - Aula 6	63
Figura 6.12 – Organização de atividades - Aula 7	64
Figura 7.1 – Circuito 2 - Desafio 2	68
Figura 7.2 – Montagem de circuito elétrico no <i>PhET</i> para comparação ao RLab para a Aluna AL5EF	69
Figura 7.3 – Montagem de circuito elétrico no <i>PhET</i> para comparação ao RLab	78
Figura 7.4 – Comparativo entre os circuitos em série e paralelo feita no <i>PhET</i> DC Cir- cuitos Elétricos	79
Figura 7.5 – Desafio 03 - RLab	79
Figura 7.6 – Montagem de circuito elétrico no <i>PhET</i> para comparação ao RLab para a Aluna AL4EF	79
Figura 7.7 – Montagem de circuito elétrico no <i>PhET</i> para comparação ao RLab - Chave fechada	82

Figura 7.8 – Imagem ilustrativa para a Pergunta 1	85
Figura 7.9 – Imagem ilustrativa para a Pergunta 6	89
Figura 7.10 – Imagem ilustrativa para a Pergunta 7	90
Figura 7.11 – Imagem ilustrativa para a Pergunta 9	92
Figura 7.12 – Avaliação realizada pelos alunos quanto a sua utilização do RLab	95

LISTA DE QUADROS

Quadro 5.1 – Exemplo de Análise <i>CCnER</i> : Aula 1 - A Estrutura da Modelagem Científica	45
Quadro 6.1 – Descrição das aula da Sequência Didática	48
Quadro 6.2 – Registro dos alunos participantes e seu nível escolar	48
Quadro 6.3 – Quadro contendo os dados colhidos pelos alunos do Ensino Médio para elaboração do gráfico	61
Quadro 7.1 – Análise <i>CCnER</i> diálogo Aluna AL5EF	69
Quadro 7.2 – Análise <i>CCnER</i> diálogo Aluna AL1EM	73
Quadro 7.3 – Análise <i>CCnER</i> diálogo Aluna AL4EF - Parte 1	80
Quadro 7.4 – Análise <i>CCnER</i> diálogo Aluna AL4EF - Parte 2	82
Quadro 9.1 – Entrevista com a Aluna AL5EF	99
Quadro 9.2 – Entrevista com a Aluna AL1EM	101
Quadro 9.3 – Entrevista com a Aluna AL2EM	103
Quadro 9.4 – Entrevista com o Aluno AL3EF	105
Quadro 9.5 – Entrevista com a Aluna AL4EF	107
Quadro 9.6 – Entrevista com a Aluna AL2EF	109

SUMÁRIO

1	Introdução	12
2	Fundamentação Teórica	15
2.1	Os Ciclos de Modelagem	16
2.2	Adequação da proposta – Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA)	20
2.2.1	Desafios e dificuldades encontrados no Ensino Remoto	22
2.3	Laboratório Remoto de Circuitos Elétricos	23
3	Revisão bibliográfica e outras leituras	27
4	Corrente Elétrica e a Lei de Ohm	33
4.1	O átomo: a menor partícula da matéria?	33
4.2	Condutores e isolantes	33
4.3	Modelo de Drude para a condução elétrica	34
4.4	Condutividade elétrica DC de um metal	38
5	Metodologia de Pesquisa	41
5.1	Objetivo de pesquisa	41
5.2	Coleta de Dados	42
5.3	Análise de Argumentos Estrutura CCnER	43
6	A Sequência Didática aplicada	47
6.1	Objetivos de ensino e de aprendizagem no desenvolvimento Sequência Didática	47
6.2	Objetivos específicos de ensino	47
6.3	Cenário de desenvolvimento da Sequência Didática	49
6.3.1	Escola da rede particular de ensino – 9º Ano do Ensino Fundamental	49
6.3.2	Escola da Rede Pública de ensino – 2º Ano do Ensino Médio	50
6.4	Aula 1 - O que é modelagem científica?	50
6.5	Aula 2 - Condutores e Isolantes	52
6.6	Aula 3 – Elétrons Livres	56
6.7	Aula 4 - O Modelo de Drude	58
6.8	Aula 5 – Resistência Elétrica	60
6.9	Aula 6 – Componentes de um Circuito	63
6.10	Aula 7 – Laboratório Remoto de Circuitos Elétricos (RLab)	65
6.11	Aula 8 - Conclusão Formativa da Sequência Didática – Por que os Elétrons Livres não são tão livres assim?	65

7	Resultados e Discussão - Interações discursivas propostas em aulas mediadas e usabilidade do Laboratório Remoto	67
7.1	Análise das Interações Discursivas na Aula 7 - Laboratório Remoto de Circuitos Elétricos	67
7.2	Avaliação da usabilidade do Laboratório Remoto de Circuitos Elétricos (RLab)	84
8	Considerações Finais	96
9	Anexos	99
	REFERÊNCIAS	111

1 INTRODUÇÃO

Desde minha infância, cresci lendo a Revista Ciências Hoje para Crianças, e a curiosidade sobre os assuntos que procuram explicar a forma como as coisas ocorrem foi se desenvolvendo cada dia mais. Como não dispunha de uma assinatura da revista, procurava ir à biblioteca com frequência, para fazer o empréstimo. O tempo foi passando e, com ele, o desejo de uma escolha de profissão. A princípio, não sabia ao certo o que cursar. Como a maioria dos jovens, minha mente flutuava entre as mais variadas graduações. Sempre fui muito próximo da direção da escola, na qual cursei meu Ensino Fundamental e Médio e essa proximidade, me rendeu uma sugestão de escolha de graduação, Engenharia Mecânica. O gosto pelas exatas se aliou à Investigação Científica, contribuindo ainda mais para minhas escolhas.

Durante a graduação, em minhas horas vagas, fui monitor de algumas disciplinas ofertadas, notando que eram muitas as dúvidas, quando se tratava de conteúdos de física, sendo as mais recorrentes a Resistência dos Materiais e Física III, englobando o estudo da Eletricidade e do Magnetismo. Não dispúnhamos de muitas atividades experimentais em nossas aulas, fato que acredito ter contribuído para a não compreensão de tais conteúdos. Aulas, na maior parte das vezes, puramente expositivas, tornando-os meros seres passivos no processo. Após minha graduação, decidi seguir os passos da minha mãe, por admiração, também escolhi seguir na carreira do magistério. No início, comecei com uma turma de Matemática do 6º Ano do Ensino Fundamental, o que me fez decidir que realmente era essa minha vocação. Com essa certeza, após alguns meses, recebi minhas primeiras turmas de Ensino Médio, para lecionar Física. Notava que os alunos, em grande parte, rejeitavam a Física, dizendo ser chata, puramente matemática.

Percebi que os alunos possuíam uma visão equivocada de uma Física desconexa do mundo real, centrada em problemas que envolvem grande grau de abstração e carência de uma visão crítica em relação aos fenômenos físicos observados.

É comum, ao iniciarmos uma aula, aquela velha pergunta por parte dos alunos "Para que irei usar isso em minha vida? Argumentos mais elaborados, também surgem, como: "A física que vemos em sala de aula é uma física perfeita, em que tudo dá certo, onde variáveis como atrito são desprezadas e não possui resistência do ar, mas eu sei que isso não é verdade".

Infelizmente, os problemas enfrentados não consistem apenas na falta do interesse ou desmotivação dos estudantes. Quando trabalhamos em um sistema de ensino pautado em resultados, aprovações, índices e gráficos, muitos são os conteúdos a serem vistos em uma apostila

extensa, com inúmeras fórmulas. Nesse momento, podemos traçar outro questionamento: somos transmissores de conteúdos ou mediadores que favorecem a construção de conhecimento? Estamos preparando nosso aluno para ter uma visão crítica de mundo, no que se refere à Física, ou simplesmente os treinando para uma aprovação?

Com isso, comecei a me perguntar: o que fazer para tornar a Física mais atraente, palpável, prazerosa? A partir de então, comecei a inserir, em minhas aulas, práticas experimentais, obtendo uma participação mais efetiva dos alunos nas aulas de Física. Com esse problema mais próximo de sua resolução, apareceu-me outra indagação: Como fazer com que a experimentação seja mais ativa possível por parte dos alunos, para a promoção de habilidades referentes ao senso crítico da observação de fenômenos físicos?

O ponto de partida de nossa proposta de trabalho surge de uma situação comumente vivenciada nas minhas aulas. Ao iniciar o conteúdo de Eletricidade, questiono o que os alunos compreendem como corrente elétrica. As respostas recebidas de senso comum, em geral, mostram que o conceito de corrente elétrica é muito limitado ao termo energia elétrica, sendo raras as evidências de um movimento ordenado de elétrons em um material condutor.

Tendo em vista que os alunos já trazem uma concepção prévia relativa à corrente elétrica, procuramos criar uma Sequência Didática que contribuísse para a reformulação de conceitos, ora equivocados, para o tema. A partir de atividades experimentais, procuramos colocar o nosso aluno ativo, no processo de ensino e de aprendizagem, construindo um modelo de corrente elétrica em um material condutor. Como estratégia, utilizamos os conceitos e etapas dos Ciclos de Modelagem proposto por David Hestenes, o qual exploramos mais adiante em nosso trabalho. Para tanto, propusemos uma sequência de aulas que atrele os conceitos dos Ciclos de Modelagem, analisando sua contribuição para uma aprendizagem significativa, ativa e crítica.

Sugerimos que seja discutido o conceito de corrente elétrica, a partir da Lei de Ohm, dispondo de algumas estratégias disponíveis para o ensino remoto, as quais visam à maior participação dos alunos no processo de construção do conhecimento.

Utilizamos, em nossa pesquisa, o Laboratório Remoto de Circuitos Elétricos (RLab), no qual é possível que o estudante manipule de forma remota um experimento real, hospedado na Universidade Federal de Lavras (UFLA). Esse experimento conta com um roteiro investigativo, com o objetivo de intrigar o aluno a realizar três desafios propostos, buscando resultados para corrente elétrica em circuitos em série, paralelo e misto.

Utilizamos, também, Laboratórios Virtuais, tais como o *PhET* Colorado, disponíveis na internet com acesso gratuito, com o papel de simular de forma manipulativa, experimentos de física, buscando, assim, uma representação de algum fenômeno estudado. Com os simuladores, é possível que o estudante consiga testar hipóteses, verificando se o conceito elaborado poderá ser validado, ou em outras situações, deverá ser reformulado.

Outra estratégia de ensino, que está descrita em capítulos seguintes, é a utilização de um experimento físico, denominado "Tábua de Pregos", em que é possível modelar a corrente elétrica do ponto de vista macroscópico. Com esse experimento, podemos simular, a partir do movimento de pequenas esferas, como a corrente elétrica se comportaria no interior de um fio condutor de eletricidade.

Tendo em vista que o conceito de corrente elétrica já é apresentado nos anos finais do Ensino Fundamental, na Rede Privada de ensino, decidimos que essa Sequência fosse colaborativa para o Ensino de Física no 9º ano do Ensino Fundamental II e, também, para o 2º Ano do Ensino Médio.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O ensino tradicional, baseado em aulas expositivas, por transmissão, ofertado por grande parte das escolas em todo o Brasil, a nosso ver, mostra-se defasado em relação às necessidades de nossos alunos, uma vez que possui um currículo extenso a ser cumprido e um distanciamento do que se aprende em sala de aula, em relação ao seu cotidiano. No Ensino de Física, essa realidade pode ser evidenciada ainda mais, sendo pertinentes questionamentos sobre o porquê de se aprender Física. Em se tratando de discussões entre professores, em reuniões é recorrente a fala de que os alunos estão desinteressados, de que não participam das aulas, de que são apáticos ao conteúdo. Culpamos, na maioria das vezes, os próprios alunos como responsáveis por tal problemática. Porém esquecemo-nos de nos questionar se nossa prática docente os propicia a uma aula participativa, com a capacidade de despertar maior interesse no estudo da Física.

Baseado no recorrente problema sobre a falta de interesse dos discentes, Bessa (2018) salienta que ficamos mais estimulados, quando nos deparamos com coisas ou objetos que nos despertam algum tipo de interesse, visto que esses interesses podem ser gerados por estímulos internos (a partir da vontade natural do ser humano em descobertas) ou por estímulos externos (a necessidade do aprendizado para a aprovação em um vestibular ou ainda por alguma necessidade pessoal). Logo o professor tem um papel primordial em despertar o interesse dos alunos, em grande parte por estímulos internos, partindo do conceito de que, se um aluno aprende determinado conteúdo, por meio de estímulos internos, o professor então poderá contribuir para a formação crítica do discente, perante a sociedade.

No decorrer da história do surgimento da Física, o homem sempre teve a diligência em compreender o que ocorre ao seu redor, com isso, buscando soluções para suprir suas necessidades de sobrevivência e ainda mais adiante, de explicar como certos fenômenos físicos ocorrem. Tendo em vista essa situação apresentada, seria natural que o Ensino de Física vislumbrasse a curiosidade, o interesse e os questionamentos dos alunos. Porém esquecemo-nos de considerar que esse nosso pensamento de interesse natural é algo que já trazemos conosco, uma vez que foi a opção de curso que escolhemos ingressar, e, por consequência, a profissão que definimos para a vida. Nesse contexto Bessa (2018) ressalta que só conseguimos nos manter atentos àquilo que nos intriga. Logo uma aula distante dos interesses dos alunos e de suas faixas etárias, provavelmente, não provocará estímulos suficientes para que eles se mantenham atentos ao que o professor está apresentando em sala de aula.

Partindo da situação relatada no parágrafo anterior, é necessário que nós, professores, busquemos alternativas de ensino que propiciem uma aprendizagem mais significativa para nossos alunos. Um recurso muito aplicado e defendido por grande parte dos professores de Física é a inserção da prática experimental em suas aulas. Porém, quando citamos o conceito das atividades experimentais, é importante que busquemos meios que possibilitem uma real participação do estudante, na busca por respostas de problematizações e não apenas um mero cumprimento de etapas previamente estabelecidas. Nesse contexto, Carvalho (2011) salienta que é necessário introduzir os alunos no universo das Ciências, isto é, ensinar os alunos a construir o conhecimento, fazendo com que eles, ao perceberem os fenômenos da natureza, sejam capazes de construir suas próprias hipóteses, elaborar suas próprias ideias, organizando-as e buscando explicações para os fenômenos. Ainda nesse contexto, Carvalho (2013) cita que é importante a apresentação de um problema para o início da construção do conhecimento.

Assim, diversas estratégias vêm sendo sugeridas, para uma participação mais efetiva dos alunos nas aulas de Física, entre elas, Os Ciclos de Modelagem, aos quais será dada maior importância neste trabalho, como alternativa à abordagem tradicional de ensino. Os Ciclos de Modelagem foram propostos pelo norte-americano David Hestenes. Hestenes (1987) sugere que a Modelagem matemática do mundo físico deve ser o tema central do ensino da Física.

2.1 Os Ciclos de Modelagem

Antes da definição de Ciclos de Modelagem, devemos nos recorrer a Karplus (1962), que propôs o conceito de Ciclo de Aprendizagem (CA), como forma de aprendizagem estruturada no ensino de conceitos de ciência em escolas, baseado historicamente, na teoria de Piaget do desenvolvimento intelectual. Partindo do pressuposto enunciado, Karplus (1962) reconhece que:

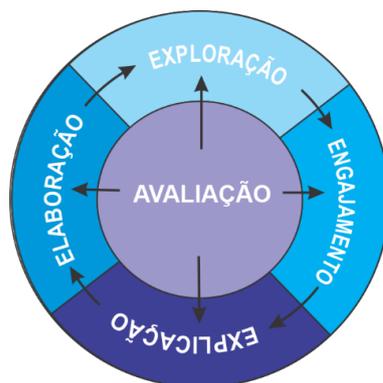
O aluno tem experiências antes de entrar na escola e fora do ambiente escolar durante os anos escolares. Ele, portanto, faz observações o tempo todo e inventa conceitos que interpretam as suas observações. Ele também faz descobertas que lhe permitem refinar seus conceitos. A maioria das descobertas que acabam de inventar, revelam um tipo de filosofia natural – uma orientação de “senso comum” popular na cultura em um determinado ponto da história (KARPLUS, 1962).

Logo devemos considerar que, ao iniciar uma aula de determinado conteúdo, nosso discente já traz consigo um conhecimento de mundo, uma situação vivenciada, uma experiência, que possa auxiliar no seu aprendizado, podendo ser então um elemento motivador para sua

participação na sala de aula. Vale ressaltar que a aula por descoberta pode e deve ser combinada com a introdução expositiva de conceitos, isso produzirá uma compreensão mais clara do que a verbalização mecânica, de um ensino tradicional.

Beisenherz e Dantonio (2016) defendem a aprendizagem por ciclos, pois, segundo eles, permite ao aluno a construção de conhecimentos de ciências por si mesmo. Para essa estratégia, temos as seguintes fases: como fase inicial, dá-se o nome de Fase Exploratória, na qual o aluno é exposto a atividades de envolvimento físico, uma Fase Introdutória, na qual um conceito é formalmente introduzido, uma Fase de Aplicação, na qual o conceito é reforçado e expandido com experiências adicionais. Tendo em vista a necessidade de subdivisão de fases, a aprendizagem por ciclos foi ampliada para cinco estágios, conforme apresenta Cruz (2009): Envolvimento, exploração, explicação, elaboração ou aprofundamento e avaliação (é importante ressaltar a tradução para o português). Essa subdivisão é conhecida como os 5 E's, para o Ciclo de Aprendizagem, sendo apresentada a seguir.

Figura 2.1 – Cinco E's para o Ciclo de Aprendizagem



Fonte: (<https://uakron.edu/cpspe/agpa-k12outreach/best-teaching-practices/learning-cycle>) Traduzido e adaptado.

A forma de condução do Ensino de Física deve possuir à frente, um docente assumindo a função de mediador dos conteúdos, propondo situações-problema que instiguem a descoberta, levando para a sala mais perguntas em vez de respostas. Contrapondo esse conceito, a um modelo tradicional de ensino, somos inundados de respostas, para perguntas que, muitas vezes, não as fazemos. Buscando uma aprendizagem mais ativa do aluno, pode-se estimular o pensamento crítico dos estudantes, visando alcançar uma aprendizagem mais efetiva e significativa. Neste contexto, Moreira (1999) apresenta o conceito de Aprendizagem Significativa proposta por David Ausubel e revista por Joseph D. Novak:

Para Ausubel, aprendizagem significativa é um processo por meio do qual uma nova informação relaciona-se com um aspecto especificamente relevante da

estrutura de conhecimento do indivíduo, ou seja, este processo envolve a interação da nova informação com uma estrutura de conhecimento específica, a qual Ausubel define como conceito “subsunçor¹, ou simplesmente subsunçor, existente na estrutura cognitiva do indivíduo.”(MOREIRA, 1999).

Por outro lado, quando não é possível uma ancoragem à um conhecimento prévio existente, Ausubel cita que ocorreu uma aprendizagem mecânica. Quando as novas informações são aprendidas sem interagir com conceitos relevantes existentes na estrutura cognitiva, assim, a pessoa decora fórmulas, leis, mas esquece após a avaliação de aprendizagem.

Sendo assim, na perspectiva da Aprendizagem Significativa, identificar o que o aluno já traz como conhecimento e conceito é fundamental para a ancoragem de um novo conhecimento. Desse modo, segundo Pellizari et al. (2002), é necessário que o aluno tenha voz nas aulas, expondo suas ideias prévias, sendo possível então, criar possibilidades para a ampliação de seu conceito subsunçor.

Quando somos deparados a situações desafiadoras, é nos instintiva a curiosidade em buscar saídas, respostas, para tais problemas. Com nossos alunos, essa necessidade não deve ser diferente, uma vez que buscamos despertar o prazer em se aprender Física, como uma explicação de mundo, uma análise filosófica de tudo que ocorre em nosso dia a dia. Nesse contexto, uma estratégia muito utilizada e de tamanha importância são as aulas estruturadas no conceito da Modelagem científica. A modelagem é apresentada por diversos autores (HEIDMANN et al., 2016) (RODRIGUES; LAVINO, 2020), aos quais comungam com uma ideia principal, à busca da elaboração de um modelo que explique uma situação física considerada.

Interpretando a teoria de Ausubel para a Aprendizagem Significativa (AUSUBEL D. P.; NOVAK, 1980), a resolução de uma problematização é apresentada como um meio de promover uma aprendizagem significativa. Quando são cumpridas etapas progressivas, para elaboração de um modelo, é possível criar possibilidades de ancoragem para novos conhecimentos na estrutura cognitiva do estudante, com relações de meio e fim fundamentais na formulação, verificação e rejeição de hipóteses alternativas.

Assim, ao buscarmos uma estratégia de ensino e aprendizagem que contemplasse o ideal proposto pela modelagem têm-se a proposta de modelagem por Ciclos, criada por Hestenes (1987), que questiona o porquê de querermos um ensino de física de qualidade, com descobertas, se abrimos mão de atividades investigativas em nossa rotina escolar. Acrescenta ainda que não podemos esperar que surjam novos físicos, com esse panorama encontrado de uma Física

¹ Nome dado a um conhecimento prévio, existente na estrutura de conhecimentos do indivíduo.

de respostas sem perguntas, de uma verticalização do aprendizado. Há de ressaltar que esse panorama é do fim da década de 80, porém parece fazer parte de nossos diálogos atuais.

É necessário que busquemos alternativas para a eficácia do Ensino de Física, sendo o foco neste momento de estudos os Ciclos de Modelagem. Souza (2015) apresentou que os Ciclos de Modelagem devem ser planejados inicialmente para desenvolver modelos básicos da Física, cujo objetivo é capacitar os estudantes com técnicas e ferramentas próprias de modelagem. Conforme os estudantes envolvem-se em Ciclos de Modelagem, eles adquirem habilidades e passam a modelar sistemas cada vez mais complexos, tais como encontramos no mundo real. Para que ingressemos no estudo dos Ciclos de Modelagem, devemos ter uma definição do que é um modelo.

Segundo Hestenes (1987), um modelo é uma representação por meio de conceitos de objetos reais. Na Física, os modelos são representações matemáticas que descrevem uma situação por meio de variáveis quantitativas. Ainda acrescentando, Hestenes (1987) propõe que um modelo matemático é composto por quatro componentes:

- I) Um conjunto de objetos envolvidos no sistema e tudo que interage com ele;
- II) Um conjunto de variáveis que possam estar envolvidas no sistema que representam propriedades do objeto;
- III) Equações, para descrever o modelo, visto que, por meio de cálculos tentamos explicá-lo;
- IV) Explicação a partir das equações e aplicação em outras situações.

A partir das componentes que um modelo deve apresentar, podemos, segundo Etkina, Warren e Gentile (2006), classificar os modelos em quatro tipos, sendo apresentados a seguir.

Modelos de Objetos: A princípio, quando decidimos analisar um fenômeno físico, devemos identificar os objetos envolvidos, a partir dos quais iremos simplificar esses objetos. Por exemplo, quando modelamos uma problematização de conservação de energia, em Física, devemos levar em conta se o objeto analisado deverá ser considerado como uma partícula ou como um corpo extenso.

Modelos de Interações: Como segunda classificação, devemos considerar a interação entre os objetos envolvidos. Nesse momento, será necessário negligenciar algumas interações e levar outras em consideração. Podemos modelar interações, quantitativamente em termos de força, podendo serem de campo ou de contato. Um exemplo de modelos de interações é a Lei de Coulomb.

Modelos de Sistemas: Ao combinar os modelos de objetos e interações para um sistema físico, temos um modelo de sistema. Por exemplo, se nós simplificamos um gás, como muitas partículas pontuais que interagem com as paredes de um recipiente, por meio de colisões elásticas, temos um modelo de um sistema conhecido como gás ideal.

Modelos de Processos (análise qualitativa): Devido a interações entre os objetos num sistema ou com objetos exteriores ao sistema. Por exemplo, quando tomamos o exemplo anterior, da condição de gás ideal, sabemos que ocorrem múltiplas colisões elásticas dentro de um recipiente. Em razão de interações, porém, se acrescentarmos um êmbolo móvel ao sistema, podemos ter a relação de trabalho termodinâmico sobre o sistema ou pelo sistema, levando em conta as interações do gás com o pistão.

Modelos de Processos (análise quantitativa): Quando nós quantificamos os modelos de sistemas e processos, obtemos expressões matemáticas que nomeamos equações de estado e equações causais. Uma equação de estado descreve como uma ou mais propriedades de um sistema variam em relação às outras, porém a causa da alteração não é apresentada. Uma equação de causalidade, no entanto, descreve como as propriedades de um sistema são afetadas pelas suas interações com o ambiente.

Tendo em vista que a Sequência Didática foi aplicada em dois segmentos da Educação Básica, Ensino Fundamental e Ensino Médio, em turmas do 9º e 2º anos, objetivamos uma formulação de um Modelo Conceitual para descrever a corrente elétrica em um material condutor.

2.2 Adequação da proposta – Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA)

Entre os anos de desenvolvimento desta pesquisa, 2020 a 2022, enfrentamos uma Pandemia provocada pelo Coronavírus COVID-19, vivenciando um período que nem nos piores cenários imaginaríamos enfrentar. Vimos a necessidade de uma mudança radical em nossas vidas, em todos os caracteres: social, político, educacional, entre outros. Neste sentido, houve a necessidade de repensar nossas práticas pedagógicas, uma vez que não haveria então a possibilidade de um ensino presencial, por um certo período.

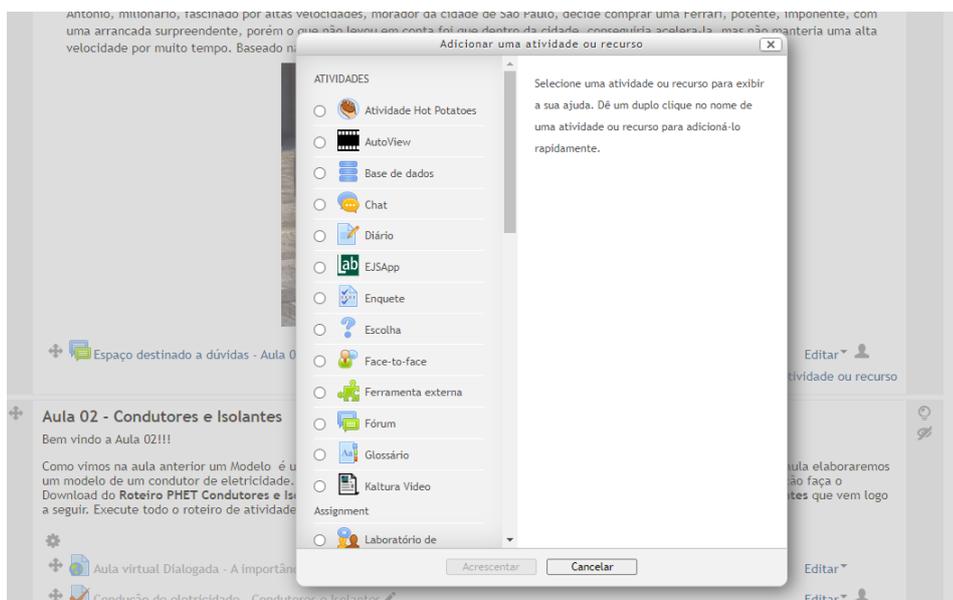
Nesse contexto apresentado, buscamos estratégias que objetivassem um ensino mais próximo, mesmo que não fosse possível tê-lo de forma presencial. Assim, optamos por utilizar o Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA), muito difundido e utilizado, principalmente, nas grandes universidades do país. Como plataforma didática, utilizamos o Moodle, pelo qual os

estudantes foram inseridos na Sala Virtual e encaminhados à realização das atividades propostas.

O Moodle é caracterizado por um *Open Source Course Management System* (CMS), ou descrevendo, para o português, um Ambiente Virtual de Aprendizagem, sendo amplamente utilizado entre educadores e alunos por todo o mundo, para criação de sites de Web dinâmicos.

Ao conhecer um pouco mais dessa Plataforma, verificamos ela poderia nos auxiliar no processo de ensino remoto, pela sua versatilidade de recursos, que vão desde a criação de fóruns para mediação de discussões, passando por ferramentas do tipo Glossário, com qual se pode criar um banco de definições para palavras e conceitos; até mesmo para a elaboração de atividades mais estruturadas, como a Lição.

Figura 2.2 – Detalhe da variedade de recursos os quais a Plataforma Moodle tem a oferecer



Fonte: <http://lite.dex.ufla.br/moodle26/course>. Autor da pesquisa.

É importante que busquemos estratégias que possibilitem não apenas apresentações de textos e conteúdos, para nossos estudantes, mas, sim sua participação efetiva no processo de ensino e de aprendizagem do conteúdo proposto. Souza (2014) afirma que a forma como é compreendida a educação a distância deve ser ampliada, incluindo não só as possibilidades tradicionais utilizadas no EaD, mas também alternativas mais avançadas de comunicação, como a telemática e a multimídia, porém como ressalva, essas estratégias deverão ser instrumentos auxiliares ao processo pedagógico, não substituindo a interação entre o educador-educando.

Porém, ao nos apropriarmos de uma plataforma de Ensino a Distância (EaD), temos de nos preocupar para que o conceito de professor mediador não venha a ser perdido, estando sem-

pre o docente presente no processo, intervindo em momentos de aprendizagem, aulas síncronas e diálogos.

Nos diálogos cotidianos em sala de aula, é comum que haja uma interação professor-alunos, sendo esse, a nosso ver, de suma importância para a construção do conhecimento. Mas, quando dispomos de um Ambiente AVA temos de estar cientes de que a interação não será possível, ao contrário, deveremos então trabalhar com o conceito de interatividade. Assim, Leitão U. A.; Pinto (2013) apresentam uma necessidade de se classificar a interatividade em níveis, os quais nomeia como Graus de interatividade. A figura, a seguir, apresenta uma classificação desses níveis de interatividade entre aluno-máquina em algumas atividades utilizadas em plataformas de EaD. As atividades grau 0 são as menos interativas, de acordo com os conceitos avaliados e as atividades grau 5, as mais efetivas em caráter de interatividade.

Figura 2.3 – Escala de interatividade.

Ordem	Tipologia	Topologia	Operações	Exemplo
0	Texto	Linear	Disponibilidade	Livro, filme, Vídeo-aula
1	Hipertexto	Arborescente	Sequenciamento, Opção de percurso	HTML, Livro do Moodle
2	Hipertexto adaptativo estático	Arborescente	Sistema compõe o percurso a partir de opções pré-definidas	Lição do Moodle, Loja da Amazon, Conteúdo dinâmico de propaganda do Google
3	Hipertexto adaptativo dinâmico	Arborescente dinâmico	Composição do hipertexto depende do perfil dinâmico do usuário	Multimídia adaptativa, Servidor de Mapas conceituais, Laboratórios virtuais (Geogebra, PhET)
4	Hipertexto aberto	Linear com derivações, aberto à intervenção	Inserção de conteúdo	Tarefa Banco de Dados no Moodle, Mídias sociais
5	Hipertexto Cinético	Complexo	Ajuste de cenário segue movimento do usuário	Laboratórios Virtuais, Games

Fonte: Leitão e Pinto (2013, p. 61).

Sendo assim, a Sequência Didática (SD), em que serão desenvolvidas e apresentadas as discussões, em capítulos seguintes, foi planejada, a partir de atividades/recursos que possibilitem maior interatividade entre os alunos e o Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA), na busca por uma atividade mais potencialmente significativa para os discentes, reforçando a premissa de o mesmo ser protagonista de sua aprendizagem.

2.2.1 Desafios e dificuldades encontrados no Ensino Remoto

Quando lidamos com um Ensino Remoto, muitos poderão ser os desafios encontrados, tendo em vista a vasta quantidade de variáveis presentes no processo. Na literatura encontram-se alguns relatos acerca dessa problemática, a citar Capeletti (2014), que apresenta alguns desafios:

dificuldades na leitura e interpretação de textos, ausência de um professor próximo, em todos os momentos para eliminação de dúvidas, o que pode levar ao aluno à sensação de abandono, falta de autonomia e disciplina, limitações culturais e domínios de tecnologias.

No contexto acima proposto, é importante ressaltar a grande importância do professor mediador, porém que seja ativo no processo de ensino e de aprendizagem na Educação Remota e não apenas um docente que esteja pronto para sanar dúvidas apresentadas pelos alunos. É importante que o mediador seja também um “coach educacional”, ou seja, aja em todos os momentos na motivação de seus discentes. Amarilla (2011) complementa que o próprio papel do professor, no processo de ensino, sua importância não apenas como mediador, facilitador, orientador do processo educativo, mas como animador e criador de possibilidades de aprendizagens.

Tendo em vista que a proposta da atividade é um curso concomitante aos conteúdos de Física do 9º ano do Ensino Fundamental e do 2º ano do Ensino Médio, nas duas turmas que participaram do desenvolvimento da Sequência Didática, é importante ressaltar que, nesses níveis de ensino, não é viável uma troca de um formato físico para um formato totalmente remoto, mas, sim, que ocorram momentos de interação professor-aluno, mesmo que por meio de aulas síncronas através de aplicativos de videoconferências. Andrade e Oliveira (2016) apresentam que a forma mais adequada, para a utilização do AVA, é como apoio ao ensino presencial, podendo testar novas perspectivas sem prejuízo ao processo de ensino e de aprendizagem, já que correções podem ser feitas ao longo do caminho e discutidas durante o curso com os alunos.

2.3 Laboratório Remoto de Circuitos Elétricos

Como citado anteriormente, as experimentações laboratoriais são, a nosso ver, de grande importância, no processo de ensino e de aprendizagem, pois com elas é possível aliar o conhecimento adquirido em sala de aula, com uma experiência próxima a real. Nesse contexto, o *PhET* Interactive Simulations, disponibiliza, na internet, diversas simulações virtuais que podem agregar e muito, na sistematização de conteúdos. Em nossa proposta de Sequência Didática, usaremos duas simulações disponibilizadas pelo *PhET*. Conforme citam os criadores e desenvolvedores do *PhET* (PHET, 2020) os estudos têm mostrado que as simulações *PhET*, são mais eficazes para o entendimento conceitual, no entanto existem muitos objetivos operacionais de laboratório que as simulações não abordam. Por exemplo, as competências específicas relacionadas com o funcionamento dos equipamentos. Dependendo dos objetivos de seu labo-

ratório, pode ser mais eficaz usar apenas as simulações ou uma combinação de simulações e equipamentos reais.

Baseado na exposição do parágrafo anterior, buscamos estratégias que possibilitem uma experimentação mais real possível, mesmo que seja realizada de forma remota. Entre os anos de 2020 e 2022, enfrentamos uma Pandemia provocada pelo Coronavírus (COVID-19), a qual nos obrigou a mudar nossas vidas em todos os aspectos: social, sanitário, educacional, entre outros. Para tanto, foi desenvolvido pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), com coordenação do professor Ulisses Azevedo Leitão, o RLab – Laboratório Remoto de Circuitos Elétricos, com o qual, por meio de um microcontrolador Arduino e uma interface gráfica, é possível realizar experimentos de maneira remota.

É importante ressaltar que o RLab se caracteriza como um Laboratório Remoto, no qual, ao contrário do *PhET*, são realizados experimentos reais, com dispositivos reais. Nesse sentido, Jeschke, Richter e Sinha (2008) salientam que experimentações remotas são laboratórios virtuais, porém compostas por experimentos reais, controlados por alguém de fora do laboratório. São constituídos de duas partes básicas: o experimento em si e um computador que funciona como a interface que permite o controle sobre o experimento por meio da rede de computadores, a internet.

De acordo com a literatura, os laboratórios vêm sendo utilizados, em todo o mundo, já que o primeiro data de 1990, conforme apresentam Zúbia e Alves (2011), com aumento significativo no decorrer dos anos.

Nesse contexto, a tabela, a seguir, apresenta essa evolução entre os anos de 2003 e 2011, data em que foi realizada a pesquisa, a qual apresentava 62 laboratórios de experimentação remota.

Figura 2.4 – Laboratórios de acesso remoto distribuídos pelo mundo.

	2003 [1]	2007 [2]	2011 [3, 4]
Europe	5	12	28
America	2	4	25
Oceania (Australia)	—	1	8
Asia (Singapore)	—	1	1
Total	7	18	62

Fonte: Zúbia e Alves (2013, p. 61).

Gröber, Eckert e Jodl (2014) apresentam, em forma gráfica, como os Laboratórios Remotos estão espalhados pelas áreas de conhecimento, sendo catalogados, entre os anos de 2001-2011, cerca de 335 em todo o mundo.

Um dos problemas encontrados, quanto à experimentação remota, conforme cita Jilian (2012), é o custo para a aquisição do direito ao uso do laboratório remoto, visto que o seu desenvolvimento é caro e frequentemente é financiado por fundos públicos. Assim sendo, fica evidente a necessidade em se buscar alternativas, que possam ser construídas com materiais de baixo custo, como uma placa *Arduíno*, conectada a um servidor de internet. Por mais que acreditemos que a utilização de um laboratório remoto possa ser de grande valia na sua eficácia pedagógica, ainda, é pouco pesquisado sobre tal. Sendo assim, buscamos levantar dados que possam contribuir nesse contexto educacional.

Para que a realização de uma experimentação seja potencialmente significativa ao nosso estudante, é necessário que essa disponha de um material orientador, de como manipular o experimento remotamente, assim como um roteiro experimental que o guie, buscando como resultado o aprendizado esperado (CHACON et al., 2017). Logo, é necessário que o material proposto seja claro, apresentando todos os seus recursos, tópicos e comandos.

Quando citamos o roteiro experimental, ele deve ser elaborado, pensando no seu usuário, o qual, deverá ser desafiado a realizar determinada atividade. É natural do ser humano buscar respostas a problemas que apresentem um significado para o sujeito, sendo assim, o roteiro deverá possuir um caráter investigativo para os estudantes.

Baseando-se nas considerações apresentadas, deve elaborar um roteiro que seja norteador ao estudante, porém que não perca sua essência de desafio motivador, ou seja, não um roteiro fechado, com execução de passos pré-definidos, mas que propicie oportunidades de o estudante encontrar diferentes respostas e interpretá-las no contexto considerado. Infelizmente, grande parte das atividades experimentais, realizadas tanto no Ensino Médio como em muitas universidades, ainda são, muitas vezes, tratadas de forma acrítica e aproblemática (SUART; MARCONDES, 2009). Nesse sentido, o professor continua tendo o papel do ser detentor do conhecimento, fazendo com que se perca o encanto do aluno protagonista em seu aprendizado, sendo apenas passivo no processo.

Suart e Marcondes (2009) complementam que é importante que os estudantes participem ativamente do processo de aprendizagem, por meio de estratégias propostas pelo professor, as quais privilegiem a solução de problemas, que levem o aluno a investigar, refletir, elaborar

hipóteses e propor possíveis conclusões para o problema proposto. No processo de ensino remoto emergencial, os desafios ao professor são ainda maiores, uma vez que a distância com seu aluno pode gerar variáveis, as quais possam comprometer o resultado esperado. Sendo assim, é importante que o professor esteja aberto a mudanças e adequações em sua forma de mediar conteúdos. Essas adequações podem se fazer necessárias para que o discente não sinta que está abandonado, no processo, de ensino e aprendizagem, mas que esteja apoiado, mesmo que de forma remota, pelo seu professor mediador.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E OUTRAS LEITURAS

No Ensino de Física, nós, professores, sempre buscamos alternativas para que nosso aluno esteja presente e engajado nas aulas. Logo, devemos desenvolver atividades, que vislumbrem o senso crítico e sua capacidade de enxergar o mundo do ponto de vista físico.

Como já citado anteriormente, uma estratégia de ensino que vem sendo empregada, à procura por um ensino próximo a realidade do nosso estudante, é a elaboração de modelos, proposta por Hestenes (1987). A partir de um fenômeno físico, cumprindo etapas pré-estabelecidas, elaboramos sua explicação, seja de forma qualitativa ou ainda, de maneira quantitativa, sendo então elaborada uma equação para o modelo. Após elaborada a explicação matemática do fenômeno físico, ela será testada em situações similares, podendo ou não ser validada. Caso não se adeque ao novo fenômeno explicado, é necessária sua reformulação, sendo então reiniciado o ciclo.

Para satisfazer a condição de validação do modelo elaborado, uma alternativa que se mostra viável são as experimentações. Como alternativas em experimentações físicas, surgem os Laboratórios Remotos, os quais permitem que os estudantes manipulem um experimento da escola, ou mesmo de suas casas. A seguir serão apresentados trabalhos que citam Laboratórios Remotos espalhados pelo mundo e a sua versatilidade.

A revisão bibliográfica foi realizada em uma fonte principal, a Plataforma Capes, seguindo um critério de busca que será detalhado a seguir, compreendendo os anos de 2010 a 2020. Inicialmente, na Plataforma Capes, foi realizada uma busca com as palavras-chave: “Laboratórios Remotos” e sua correspondência em inglês “Remote Labs”, sendo encontrados então 1071 artigos. Após um refinamento das buscas, com a inserção das palavras-chave “Ensino de Física” e sua correspondência em inglês “Physics teaching”, foram encontrados 111 artigos no período considerado. Refinando ainda mais a busca inserindo “Circuitos elétricos” e “electric circuits” o número de artigos caiu para quatro. Ao serem inseridas as palavras-chave “potencialidades pedagógicas” ou “pedagogical potentialities”, a busca não encontrou trabalhos, reforçando então a necessidade de trabalhos nessa linha de pesquisa.

Embora, conforme relatado, quatro artigos compreendiam a busca pelos três primeiros filtros, eles não eram específicos ao tema da pesquisa, relativa à potencialidade da utilização de Laboratórios Remotos de Ensino de Física na área de circuitos elétricos. Logo, fica evidente a necessidade de se investigar as potencialidades dos Laboratórios Remotos, no processo de ensino e de aprendizagem do conteúdo em questão.

Selecionamos, a seguir, sete dos artigos encontrados com a inserção do segundo filtro, pelas contribuições que trariam para nossa pesquisa, como interface de laboratórios remotos, login para acesso, laboratórios espalhados pelo mundo e possíveis problemas de utilização e seus experimentos. Entre esses, quatro apresentam revisões de literatura acerca da utilização de Laboratórios Remotos em todo mundo, dois sendo relatos de experimentações em Física e um apresentando uma pesquisa de doutorado, com especialistas em construção e implementação de Laboratórios Remotos.

Chacon et al. (2017) apresentam, em seu trabalho, uma alternativa para a experimentação, no curso de engenharia da Universidade de Murcia, Espanha. O experimento tem como finalidade verificar o princípio da levitação magnética cujo objeto em questão é levantado sem um suporte mecânico, a uma posição estável, fornecendo uma força para cima, que neutraliza a força gravitacional exercida sobre o objeto. Sugerem que esse tipo de laboratório é viável, por causa de seu custo, sendo possível utilizá-lo tanto remoto, quanto fisicamente. Enfatizam a necessidade de utilizá-lo, mediante a instruções de utilização, sendo útil aos professores para complementarem suas aulas, dando a seus alunos acesso a um recurso real, porém de acesso em formato remoto, sendo muito utilizável em cursos nas áreas científicas e de engenharia.

Brisson (2017) apresenta uma revisão bibliográfica recente acerca do desempenho dos alunos em laboratórios de ciência não tradicionais (virtuais e remotos) versus tradicionais (práticos), bem como fatores a serem considerados ao avaliar a pesquisa nessa área. Foram consideradas publicações entre os anos de 2005 e 2013, em vários países do mundo. Citam que, ao avaliar um resultado de aprendizagem, é importante que se leve em consideração a nacionalidade ou cultura do participante, nível de educação, disciplina considerada e metodologia de pesquisa. Perceberam que o emprego de laboratórios remotos se dá, em maior número, no Ensino de Física, ao se comparar com as disciplinas de Biologia e Química. Justificam pelo fato de tais disciplinas necessitarem de insumos que, após a realização do experimento, terem que ser renovados e/ou trocados. Concluem que poucas são as publicações acessíveis ao grande público, relativas à utilização prática de laboratórios remotos, a se acrescentar, sua potencialidade pedagógica, reforçando a necessidade de posteriores trabalhos nessa linha de pesquisa.

Gröber, Eckert e Jodl (2014), em sua revisão bibliográfica, apresentam a vasta quantidade de Laboratórios Remotos espalhados por todo o mundo, segundo o seu levantamento na literatura, cerca de 335 (entre os anos de 2001-2011). Apontam que a grande maioria deles compreendem as áreas de Engenharia e Ensino de Física, esse último com cerca de 100 Laboratórios

em todo o mundo. Após o levantamento, analisaram cuidadosamente cada RCL (Laboratório Controlado Remotamente), buscando identificar algumas características com relação ao que é proposto: se é um laboratório para acesso público, se é necessário algum login para acesso, agendamento de horário, se o Laboratório é de uso de uma determinada universidade, embutido em algum ambiente de ensino, entre outras características. Concluíram que um grande número de Laboratórios está disponível para o Ensino de Física, porém, conforme sua avaliação, apenas alguns cumprem um mínimo de padrões exigidos para o ensino. Reforçam, ainda, que, nos panoramas de ensino, seu uso é significativo e expande as possibilidades para a prática docente.

Hoyer, Thoms e Girwidz (2017) apresentaram, na 21^o MPTL 2017 (International Conference on Multimedia in Physics Teaching and Learning), o Laboratório Remoto por eles desenvolvido. Esse laboratório consistia em um experimento, no qual seria possível analisar a intensidade do Campo magnético de uma barra de neodímio. Essa medição é possível, por meio no movimento unidimensional de um sensor instalado em sua proximidade. O principal objetivo da experimentação é o de confrontar informações trazidas em livros didáticos acerca da densidade das linhas de campo, uma vez que, conforme relatos, essas podem sugerir concepções equivocadas apenas visualizando imagens de livros. Assim, procuram melhorar a compreensão dos alunos sobre as características dos campos magnéticos. Salientam que, em um futuro próximo, possam elaborar uma maneira de se transmitir, em tempo real, os experimentos para espectadores, como uma Realidade Aumentada, oferecendo então um ambiente de aprendizagem participativa.

Cardoso e Takahashi (2011) apresentam um estado da arte sobre o uso da Experimentação Remota no ensino formal, a partir do levantamento e análise de trabalhos relativos ao assunto, em revistas e periódicos Qualis A1 nacionais e internacionais. Esse levantamento considerou o intervalo de tempo entre os anos de 2000 e 2009. Como resultado, a partir do filtro com as palavras-chave experimentação remota, laboratório remoto e seus correspondentes em inglês e espanhol, encontraram um total de 31 periódicos, sendo apenas cinco internacionais. Seu enfoque era verificar como vem sendo o desenvolvimento de pesquisas sobre laboratórios na década considerada. Índícios apontam que era uma área de pesquisa recente, desenvolvida graças aos avanços tecnológicos. Como considerações finais, apontam que não encontraram relatos sobre como o acesso remoto a experimentos reais podem incrementar o processo de ensino e aprendizagem de Física e de que forma isso pode ser feito. Por fim, apontam que o ambiente

deve conter um material de apoio, roteiro de atividades, conceitos e uma metodologia própria, almejando então uma atividade com potencial de aprendizagem aos alunos.

Silva e Mercado (2020) investigaram, a partir de uma revisão sistemática da literatura, pesquisas com foco no uso de laboratórios de ensino remoto de Física, mediados por interfaces digitais. A pesquisa foi realizada compreendendo os anos de 2005 a 2015. Consideraram teses e dissertações defendidas, reconhecidas pela Capes; artigos publicados nos anais de Simpósios de Física; Encontros de Pesquisa e Ensino de Física e artigos publicados em revistas Qualis com foco no ensino de Ciências/Física, avaliadas nas áreas de Educação e Ensino. Em um primeiro momento, apresentaram trabalhos relativos a Laboratórios em realidade virtual. Em seguida Laboratórios em Realidade Aumentada, comparando-os aos citados anteriormente. Em um terceiro momento, apresentaram trabalhos que tratam da experimentação remota por meios dos Ambientes de Colaboração Remota. Apontam que eles se iniciaram, nos cursos de engenharia, a partir da automação de experimentos que, em razão de manuseio, deveriam ser adaptados para um acesso de forma remota. Finalizando sua pesquisa, apontam que os laboratórios, mediados por interfaces digitais, podem favorecer aos alunos uma experiência de iniciação científica, uma melhor compreensão dos fenômenos físicos e, para o professor, o desenvolvimento de alternativas didáticas ao ensino tradicional.

Matarrita e Concari (2018) apresentam parte de seus resultados de uma pesquisa de doutorado, visando à elaboração de uma proposta para o desenvolvimento de Laboratório Remoto (LR) na Universidade Estatal a Distância de Costa Rica. Apresentam como deve ser construído um Laboratório, com suas principais características. Para a elaboração das estratégias de construção de um LR, contaram com 11 especialistas dos seguintes países: Argentina, Brasil, Costa Rica, Cuba, Espanha e México. Foi solicitado que respondessem um questionário, que foi submetido a um processo de validação, por meio do julgamento de especialistas. Entre as perguntas, constavam o tipo de linguagem para o desenvolvimento do LR, como compartilhar o laboratório com outras instituições de ensino, necessidade de login para cadastro e inserção do laboratório em um ambiente LMS. Concluíram que é necessário que tenham uma linguagem de programação acessível por grande parte dos dispositivos como *HTML5*, *JavaScript*, entre outros. Complementam que, segundo os especialistas, há uma tendência em compartilhar seus experimentos com outras instituições de ensino, buscando um trabalho colaborativo de investigadores e docentes, ampliando as possibilidades de realizar experimentos reais nas instituições, que contam com esses recursos educativos.

Partindo do tema do nosso Produto Educacional, é importante apresentar também trabalhos da literatura, que apontem concepções alternativas sobre corrente elétrica. A Sequência Didática visa elaborar um modelo de como ocorre a corrente elétrica em um material condutor, aplicando-o, em uma situação real, verificando se é possível ou não sua validação.

A fonte de pesquisa utilizada, assim como os primeiros relatos, foi a Plataforma Capes. Inicialmente, buscamos pelas palavras-chave “Concepções” e “Corrente Elétrica” e suas correspondências em inglês “Conceptions” “Electric Current” sendo encontrados então 226 artigos. Refinando a busca, inserindo “Ensino de Física (Teaching Physics)” obtivemos 22 artigos, entre os quais, segundo sua ordem de relevância, selecionamos quatro, que traziam relatos de concepções alternativas, que os discentes apresentavam, ao resolver situações-problema desafiadoras. Esses trabalhos serão apresentados a seguir.

Lima (2018), na sua dissertação de mestrado, defende a utilização de materiais de baixo custo, para a fabricação de circuitos elétricos simples, na abordagem dos conceitos básicos de eletricidade no Ensino Médio. Sua Sequência Didática foi aplicada, em uma escola pública, na cidade Itaiçaba, no estado do Ceará. No início das atividades, constataram a presença de concepções alternativas na compreensão da corrente elétrica, a partir da aplicação de um pré-teste. Após o desenvolvimento do Produto Educacional, constatou que as atividades experimentais, concomitantemente realizadas com entrevista clínicas aos estudantes, apresentam potencialidades na busca por uma superação às concepções alternativas. Apresenta, ainda, que os estudantes se mostraram intrigados, ao confrontar suas respostas nos testes aplicados, a situações reais vistas nos circuitos construídos.

Andrade et al. (2018), aplicaram um teste constituído por 14 itens a 32 alunos do Ensino Médio, sobre o tema corrente elétrica. Tinham como objetivo verificar as concepções que os estudantes possuíam sobre o tema. O teste, em um primeiro momento, foi aplicado a alunos da mesma universidade em questão, o IF-UFRGS, em 1989. Os resultados foram comparados aos obtidos anteriormente, sendo analisados no contexto da literatura internacional, pertinentes ao tema. Constataram a recorrência de concepções alternativas já relatadas na literatura. A partir de suas análises, evidenciaram a necessidade de novas abordagens didáticas no estudo do tema corrente elétrica no Ensino Médio, buscando a construção de um modelo mais próximo daquele defendido pela ciência.

Caramel e Pacca (2011), em seu trabalho de pesquisa, buscaram evidenciar as concepções que os estudantes têm a respeito das reações de óxido-redução, responsáveis pela corrente

elétrica. A partir da escolha de duas questões problematizadoras, sobre fenômenos que ocorrem em uma pilha e numa eletrólise, procuraram focalizar em como ocorre a corrente elétrica do ponto de vista microscópico. O desenvolvimento das atividades ocorreu com alunos do 3º ano do Ensino Médio e com alunos do curso de Licenciatura e Bacharelado em Química. A partir da elaboração e aplicação de questões sobre o tema, evidenciaram dificuldades que os alunos têm em explicar a circulação da corrente elétrica e de relacioná-la aos fenômenos químicos analisados. Após suas análises, constataram que os estudantes apresentavam concepções alternativas ao que é aceito pela comunidade científica. Reforçam, ainda, a necessidade de se buscar alternativas para o desenvolvimento do tema em sala de aula, buscando superar tais equívocos, para a construção de um conceito mais sólido e próximo à realidade. Apresentam, também, a necessidade de uma discussão sobre o tema em sala de aula, mediante as respostas obtidas nos testes, superando assim tais inconsistências ao modelo conceitual prévio.

Damacena et al. (2015), em seu trabalho, apresentam os resultados de oficinas realizadas, em cinco escolas públicas do agreste sergipano, com participação de 200 alunos durante as atividades do PIBID. A proposta das oficinas foi abordar o conceito de condutividade de corrente elétrica, na proposta de Abordagem Problematizadora de Delizoicov e Angotti (1994). Como resultado, concluíram a deficiência conceitual, em relação aos conteúdos trabalhados, sendo observada mediante a análise dos questionários aplicados e da percepção dos bolsistas. Evidenciaram, ainda, a importância da discussão do tema em oficinas, pois houve, segundo eles, maior envolvimento no processo de aprendizagem do conceito de condutividade elétrica.

4 CORRENTE ELÉTRICA E A LEI DE OHM

Este capítulo tem como objetivo, apresentar uma revisão de conteúdos relativos ao estudo da corrente elétrica. Será abordado o modelo de Drude para condução elétrica nos metais. Para tanto, o texto adaptado foi retirado dos Capítulos 26 e 31 do livro de Knight (2009). Outras referências, também, estão presentes nessa discussão Alcácer (2013), Ashcroft e Nermin (2010) entre outros.

4.1 O átomo: a menor partícula da matéria?

Ao longo de séculos até os dias de hoje, procura-se compreender como é a estrutura de um átomo. Muitos foram os modelos propostos, nos quais buscavam representar como seria a estrutura atômica. Nossa discussão não procuramos apresentar a evolução das concepções atômicas propostas, ao longo dos anos, mas discutir uma interpretação de como ocorre a corrente elétrica em um material condutor. Para tanto, focamos em partículas específicas constituintes dos átomos, os elétrons.

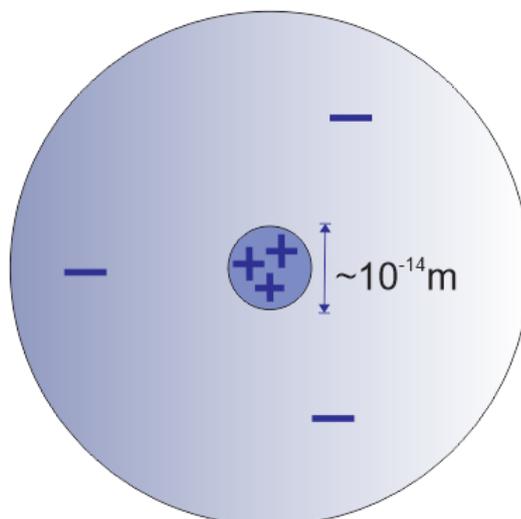
Todo átomo consiste de um núcleo muito pequeno e denso, com diâmetro de aproximadamente $10^{-14}m$, circundados por elétrons, de massa muito menor que o núcleo, orbitando em torno do mesmo. Experimentos realizados, no fim do século XIX, revelaram que os elétrons são partículas de carga negativa e de massa. O núcleo é uma estrutura composta por prótons, que são partículas positivas, e de nêutrons neutros. O átomo é mantido estável pela força elétrica atrativa entre o núcleo positivo e os elétrons negativos, visto que os últimos, se encontram, em camadas de energia específica, ao redor do núcleo, conforme o modelo proposto por Niels Bohr.

Uma das descobertas mais importantes é de que a carga, como a massa, é uma propriedade presente nos prótons e nos nêutrons. Dizemos que um elétron possui em módulo a mesma carga de um próton, $1,6 \times 10^{-19}C$ (coulomb), porém com sinal negativo. Os elétrons serão nosso foco de estudo a partir de agora.

4.2 Condutores e isolantes

Os elétrons de um material caracterizado como isolante estão todos fortemente ligados aos núcleos positivos e não são livres para se movimentar. Caso se carregue um isolante por fricção, deixa trechos da superfície com íons moleculares, mas tais íons são imóveis. Por outro lado, nos metais, os elétrons atômicos externos (elétrons “livres”), estão apenas fracamente

Figura 4.1 – A representação de um Átomo



Fonte: Randall d. Knight (2009). Adaptado.

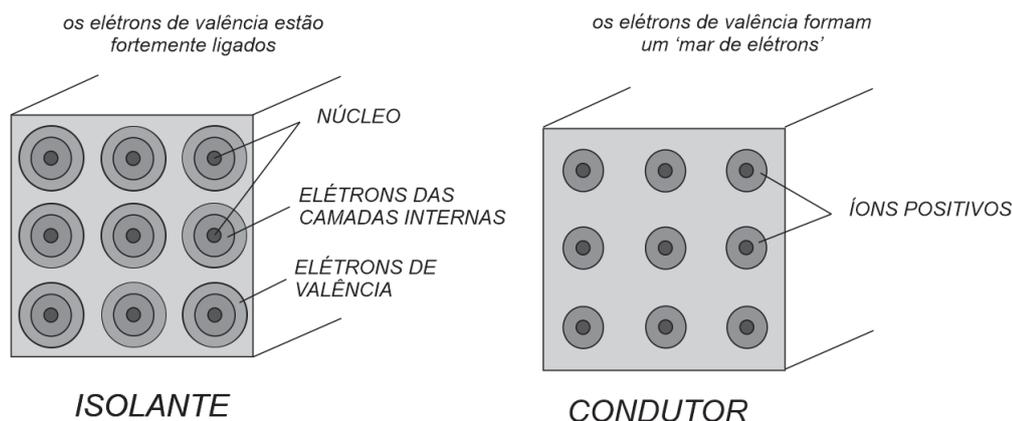
ligados ao núcleo. Quando os átomos se aproximam, para formar um sólido, esses elétrons se desprendem de seus núcleos de origem e tornam-se “livres” para se mover pelo do sólido inteiro.

Quando citamos o sólido como um todo, ele permanece eletricamente neutro, uma vez que nenhum elétron foi adicionado ou removido durante o processo. Agora os elétrons se parecem com um gás ou um líquido negativamente carregado, nomeados como "mar de elétrons", que permeiam uma rede de prótons positivamente carregados. Esses portadores de carga negativa são altamente móveis em um metal, podem, rápida e facilmente, moverem-se por um metal em resposta a forças elétricas exercidas. Esse movimento ordenado de elétrons recebe o nome de corrente elétrica. É importante ressaltar que os metais não são os únicos condutores que existem, soluções iônicas também possuem essa capacidade de conduzir corrente, mas por íons e não de elétrons.

4.3 Modelo de Drude para a condução elétrica

Os elétrons livres, como vimos, estão na camada mais externa do átomo e não se movem magicamente por um fio de cobre. Eles o fazem, porque existe um campo elétrico dentro do fio, campo esse criado por uma distribuição de carga superficial não uniforme, que empurra o mar de elétrons e cria uma corrente elétrica. Esse é o mecanismo que faz com que uma corrente flua. O campo tem de continuar empurrando, porque os elétrons perdem energia continuamente

Figura 4.2 – Uma visão microscópica dos isolantes e condutores.



Fonte: Randall d. Knight. Adaptado.

em colisões com os íons positivos, que formam a estrutura do sólido. Essas colisões ocasionam uma força de arraste, parecida com o atrito.

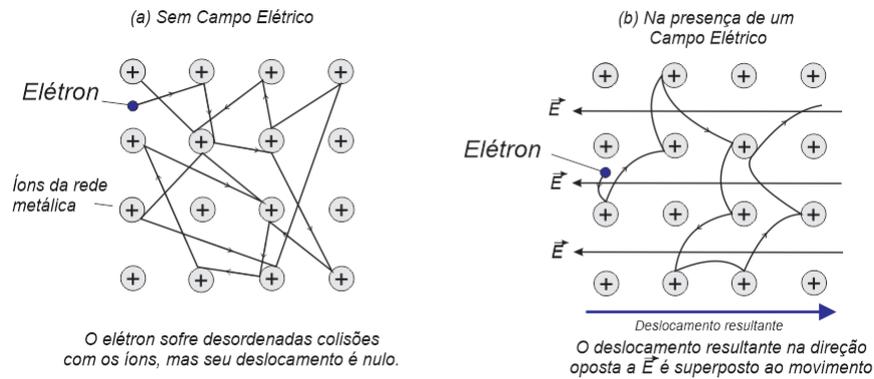
Os elétrons de condução se parecem com as moléculas de um gás. Na termodinâmica, os gases são caracterizados pelos seus parâmetros macroscópicos: temperatura, volume e pressão. Porém necessitamos de uma perspectiva em nível atômico, das colisões entre moléculas, a fim de discutir o que realmente são a temperatura e a pressão. Como resultado dessa análise empírica macroscópica, temos a teoria cinética dos gases. A conexão micro/macro análoga nos ajudará a compreender como os metais conduzem eletricidade.

Tratamos os elétrons de condução - aqueles elétrons que fazem parte do mar de elétrons - como partículas “livres”, que se movem por uma rede metálica. Na ausência de um campo elétrico, os elétrons, como as moléculas de um gás, movem-se aleatoriamente em todas as direções e sentidos com uma determinada distribuição de velocidades. Se considerarmos que a energia térmica média dos elétrons é dada pelo mesmo valor $\frac{3}{2}k_B T$, que se aplica a um gás ideal, poderemos determinar que a velocidade eletrônica média à temperatura ambiente é $\approx 10^5 m/s$. Por razões oriundas da Física Quântica, essa estimativa se mostra incorreta, mas indica acertadamente que os elétrons de condução se movem muito rapidamente.

Entretanto um elétron individual, não se desloca muito sem colidir com um íon e ser espalhado em uma nova direção. A imagem, a seguir, mostra que um elétron salta para a frente e para trás entre as colisões, mas sua velocidade média é nula, o mesmo também ocorrendo com seu deslocamento resultante. Isto é semelhante às moléculas de um gás em um recipiente.

Suponha agora que "liguemos" um campo elétrico. A figura b acima mostra que uma força elétrica constante faz com que os elétrons se movam, ao longo de trajetórias parabólicas,

Figura 4.3 – Visão microscópica de um elétron de condução que se move por um metal.



Fonte: Randall d. Knight. Adaptado.

entre duas colisões sucessivas. Em razão da curvatura das trajetórias, os elétrons negativamente carregados, começam a se movimentar lentamente, em sentido oposto ao do campo elétrico. O movimento é parecido com aquele de uma bola num jogo de *pinball*, com uma leve inclinação para baixo. Cada elétron individual continua a ricochetear de um lado para o outro, entre os íons a uma taxa muito alta, todavia existe agora um pequeno movimento resultante na direção "descendente". Além disso, esse efeito resultante é muito pequeno, superposto ao movimento térmico muito maior. A Figura b amplia exageradamente a taxa segundo a qual ocorre o movimento.

Considere um elétron, imediatamente após a colisão com um íon, em que foi espalhado com uma velocidade \vec{v}_0 . A aceleração do elétron entre as colisões é

$$a_x = \frac{F}{M} = \frac{eE}{m} \quad (4.1)$$

em que E é a intensidade do campo elétrico no interior do fio e m é a massa do elétron. (Consideramos que \vec{E} tem o sentido contrário ao do eixo x .) O campo faz com que o componente x da velocidade do elétron aumente linearmente com o tempo:

$$v_x = v_{0x} + a_x \Delta t = v_{0x} + \frac{eE}{m} \Delta t \quad (4.2)$$

O elétron sofre uma aceleração, aumentando sua energia cinética, até sua próxima colisão com um íon. Durante a colisão, uma parcela significativa da energia cinética do elétron é transferida para o íon e, portanto, para a energia térmica do metal. Essa transferência de energia corresponde ao "atrito", que eleva a temperatura do fio. Após a colisão, o elétron é espalhado,

até que ocorram as próximas colisões, repetindo o processo, retornando sempre à velocidade inicial \vec{v}_0 .

Por causa dessas repetitivas colisões, trataremos então essa velocidade como média e diferente de zero. A mesma, que se deve ao campo elétrico, nomearemos de *velocidade de deriva* v_d , do elétron.

Se observarmos todos os elétrons do metal, em um instante de tempo, sua velocidade média será

$$v_d = \overline{v_x} = \overline{v_{0x}} + \frac{eE}{m} \Delta t \quad (4.3)$$

em que uma barra sobre uma grandeza indica seu valor médio. O valor médio de v_{0x} , a velocidade com a qual um elétron é espalhado após uma colisão, é nulo. Sabemos disso, porque, na ausência de um campo elétrico, o mar de elétrons não se move para a esquerda nem para a direita.

Em qualquer instante de tempo, alguns elétrons terão acabado de colidir e seu tempo de aceleração Δt será menor do que a média. Outros elétrons se "atrasarão até uma próxima colisão e terão um Δt maior do que a média. Quando tomado como uma média sobre todos os elétrons, o valor médio de Δt será o tempo médio entre colisões, que denotaremos por τ . O tempo médio (ou tempo de relaxação) entre colisões, análogo ao livre caminho médio entre colisões, na teoria cinética dos gases, depende da temperatura do metal, mas não da intensidade do campo elétrico, pelo fato de os elétrons já estarem em movimento muito rápido. Nas equações que seguem, ele pode ser considerado uma constante.

Portanto, a velocidade média com a qual os elétrons são empurrados pelo campo elétrico ao longo do caminho é

$$v_d = \frac{e\tau}{m} E \quad (4.4)$$

Podemos completar nosso modelo da condução elétrica com a utilização da Equação 4.4 para para v_d , junto à equação da corrente de elétrons $i_e = n_e A v_d$. Ao fazermos isso, percebemos que uma intensidade de campo elétrico E , em um fio com secção transversal de área A , cria uma corrente elétrica

$$i_e = \frac{n_e e \tau A}{m} E \quad (4.5)$$

A densidade eletrônica, n_e , e o tempo médio entre colisões, τ , são propriedades do metal.

A Equação 4.5 é o principal resultado desse modelo da condução. Concluímos que a corrente de elétrons é diretamente proporcional à intensidade de campo elétrico. Um aumento da intensidade do campo elétrico, empurrará os elétrons mais rapidamente e, portanto, causará um aumento na intensidade de corrente elétrica.

4.4 Condutividade elétrica DC de um metal

Usualmente, os livros didáticos apresentam a Lei de Ohm, a partir de sua forma mais simples $U = Ri$, em que essa equação relaciona a queda de potencial U , como a corrente elétrica i , por meio de um parâmetro estabelecido, conforme as características do material de resistência R . Além do formato, cada material possui uma constante intrínseca, a qual nomeamos resistividade (ρ), definida como:

$$\vec{E} = \rho \vec{J} \quad (4.6)$$

O vetor \vec{J} simboliza a densidade de corrente. Supondo que n_{eletrons}/cm^3 se movem todos com velocidade resultante v_d , todos com carga $-e$, podemos definir a densidade de corrente como:

$$\vec{J} = -nev_d = -\frac{ne}{m_e} \vec{p} \quad (4.7)$$

Dadas essas informações, podemos mostrar a importância do tempo de relaxação τ para obter um resultado que se meça na prática. Vamos supor primeiro um exemplo simples, em que o tempo não é levado em consideração. Imagine que um campo elétrico \vec{E} (constante) seja aplicado em um pedaço de metal, digamos o Cobre. Então deve-se resolver a seguinte equação para os elétrons:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = -e\vec{E} \quad (4.8)$$

Tendo como resultado (para cada componente, *i.e.* $i = x, y, z$ e partindo do repouso):

$$p_i(t) = -eE_i t \quad (4.9)$$

Utilização a definição (4.7):

$$J_i(t) = \frac{ne^2 E_i}{m_e} t \quad (4.10)$$

O resultado acima, claramente, não é algo físico, uma vez que na prática a corrente não cresce indefinidamente quando $t \rightarrow \infty$. O que de fato se observa é o estabelecimento de uma corrente estacionária. Drude resolveu essa questão postulando que as colisões entre os elétrons e os íons do metal, poderiam ser resolvidas com um tempo de relaxação. Ele, então, de maneira fenomenológica, introduziu o termo $-p/\tau$ na equação (1.8):

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{\vec{p}}{\tau} - e\vec{E} \quad (4.11)$$

A solução dessa equação (já escrevendo para a densidade de corrente), utilizando as mesmas condições iniciais, para cada componente é:

$$J_i(t) = \frac{ne^2\tau}{m_e} (1 - e^{-t/\tau}) E_i \quad (4.12)$$

Agora sim, essa solução está de acordo com o que se mede em um experimento simples. Para tempos muito maiores que τ (e já vamos ver que esse tempo é bem curto), a relação se torna constante (estacionária):

$$\vec{J} = \frac{ne^2\tau}{m_e} \vec{E} \quad (4.13)$$

Note que, comparando com (4.6), o conjunto de constantes da equação acima é o valor inverso da resistividade, que vamos definir como condutividade (σ):

$$\sigma = \frac{ne^2\tau}{m_e} \equiv \sigma_0 \quad (4.14)$$

Como já mencionado, a resistividade (logo também a condutividade) é propriedade do material a ser estudado. Portanto, é possível calcular o tempo de relaxação de materiais diversos:

$$\tau = \frac{m_e}{ne^2\rho} \quad (4.15)$$

Tendo em vista a ordem de grandeza das variáveis envolvidas e sua correlação, podemos verificar que os valores de τ são muito pequenos. Assim, tempos como $t = 10^{-6}s$, por exemplo, já é um valor muito maior que qualquer resultado de τ apresentado. Logo o tempo exponencial da equação (4.13) decai rapidamente, tornando a relação entre \vec{J} e \vec{E} , linear.

A partir da proposição de Paul Drude, para a condução de corrente elétrica para os metais, buscaremos, por meio de nossa Sequência Didática, aplicar esse conhecimento em um aparato experimental, para que assim seja possível transpor o conhecimento científico, para um algo mais palpável aos estudantes de nível fundamental e médio. A Tábua de Pregos, como a chamamos, já foi discutida e utilizada por (BAGNATO, 1994), sendo a nosso ver um material muito bom para ser reproduzido.

O aparato experimental consiste em uma representação macroscópica, em que pregos fixos em uma tábua representam a estrutura cristalina do material, com os elétrons das camadas inferiores do átomo. Os pregos criam uma resistência à passagem dos elétrons livres, representados pelas esferas de gude, pelo decorrer da rampa. Ao variarmos a inclinação da rampa, notamos que a velocidade média das esferas tende a aumentar linearmente ao aumento da inclinação.

Logo podemos discutir de forma mais lúdica, a primeira Lei de Ohm, utilizando as três variáveis discutidas no Ensino Médio: diferença de potencial elétrico U , corrente elétrica i e resistência R .

No Produto Educacional a tábua de pregos é melhor detalhada, assim como sua utilização durante as aulas da Sequência Didática.

5 METODOLOGIA DE PESQUISA

Metodologia é o estudo da organização, dos caminhos a serem percorridos, para se fazer uma pesquisa ou um estudo, ou para se fazer ciência (GERHARDT; SILVEIRA, 2009). Logo, essa etapa do processo de avaliação de uma atividade realizada tem uma importância considerável, pois traça como deverá ser realizada uma pesquisa, enfatizando os momentos considerados e como analisá-los. Essa pesquisa foi composta por três momentos bem característicos, sendo eles: proposta, desenvolvimento e análise.

O primeiro momento está caracterizado pela elaboração de uma Sequência Didática, propondo como se dá a corrente elétrica, em um material condutor, explicada conforme a teoria proposta por Paul Drude (1900). É importante salientar que a SD foi elaborada, segundo a estratégia de ensino, sugerida por Hestenes (1987), nomeada Ciclos de Modelagem, na qual, a partir de um fenômeno físico, seguimos etapas para sua explicação.

No segundo momento, a Sequência Didática foi adequada, para o formato remoto, utilizando-se da plataforma de ensino Moodle, uma vez que pela Pandemia do Covid-19 não seria possível seu desenvolvimento de maneira presencial. Durante o desenvolvimento das oito aulas, foram realizados momentos virtuais dialogados, por meio de 2 aplicativos de vídeochamadas, o Zoom² e o Meet³, disponíveis gratuitamente na internet.

O terceiro momento, a análise dos dados, seguiu a proposta sugerida por Sasseron (2020), a qual propõe que as interações discursivas em sala possam ser obtidas, com as alegações apresentadas pelos alunos, com base em evidências e raciocínios. A esse método de análise argumentativa, Sasseron (2020) nomeia como *CCnER* (Conclusão, Condições, Evidências e Raciocínio).

5.1 Objetivo de pesquisa

Esta pesquisa visa identificar indícios da potencialidade da utilização de tecnologias de informação e comunicação, entre as quais, um Laboratório Remoto de Circuitos Elétricos (RLab), inserido em uma proposta de Sequência Didática (SD), estruturada de acordo com a proposta de Ciclos de Modelagem (HESTENES, 1987). Esta potencialidade será analisada com base na Análise de Argumentos da Estrutura *CCnER* (SASSERON, 2020).

² Disponível em: <https://zoom.us/>

³ Disponível em: <https://meet.google.com/>

5.2 Coleta de Dados

Para que fosse possível a obtenção de dados, objetivando verificar a potencialidade do uso do Laboratório Remoto de Circuitos Elétricos (RLab) no Ensino de Física, elaboramos uma Sequência Didática (SD), composta por oito aulas, inseridas em duas salas no Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA), dispondo dos recursos oferecidos pela Plataforma. A primeira sala, destinada à utilização pelos alunos do 9º ano do Ensino Fundamental e a segunda sala, para os alunos do 2º ano do Ensino Médio. É importante ressaltar que essa aplicação ocorreu concomitantemente com os conteúdos propostos pelo currículo adotado por cada instituição de ensino, sendo então desenvolvida em horários alternativos, em formato de Ensino Remoto. As aulas foram planejadas de acordo com a teoria dos Ciclos de Modelagem proposto por Hestenes (1987).

Coletamos uma quantidade satisfatória de dados, a partir do desenvolvimento de nossa Sequência, com as duas turmas em questão. Respostas a questionários investigativos (como instrumentos de avaliação conceitual), elaboração de modelos propostos aos estudantes, relatórios de atividades experimentais realizadas em simuladores e análise de vídeos, entrevistas aplicadas ao término do desenvolvimento da SD, diálogos em grupos de WhatsApp para troca e informações e anotações de diário de campo.

Os questionários conceituais foram propostos aula a aula, ora em momentos prévios, para identificar concepções iniciais acerca do tema da aula; durante, com o intuito de dar prosseguimento de forma mais aprofundada e os demais em momentos finais, como sistematização dos conceitos contemplados.

No decorrer do desenvolvimento da Sequência Didática, os discentes são direcionados à elaboração de modelos conceituais, os quais buscam explicar situações cotidianas e outras mais de caráter físico investigativo. Em um primeiro momento, ocorre a elaboração do Modelo explicativo, para o movimento do Ferrari do Senhor Antônio, morador de uma cidade de trânsito intenso, o qual possui como objetivo criar uma analogia entre um elétron em um material condutor e um potente automóvel em uma grande cidade.

Em um momento posterior, são desafiados a elaborar um modelo de um material condutor e um material isolante, por meio de um desenho. No Modelo de Drude, caracterizado como terceiro modelo proposto, buscaram identificar, por meio de uma representação macroscópica, como seria o movimento de um elétron em um material condutor. Como momento final, após a evolução do modelo de corrente elétrica e sua modelagem matemática pela Lei de Ohm, os dis-

centes realizaram a sua validação, pela utilização do RLab – Laboratório Remoto de Circuitos Elétricos.

No desenvolvimento das aulas, foram inseridos momentos, nos quais os alunos simulavam situações, envolvendo tópicos sobre corrente elétrica, por simulações virtuais. No desenrolar das atividades, os alunos eram induzidos a verificar e interpretar resultados por meio de um roteiro prévio proposto. Essas anotações também foram utilizadas para análises de dados.

Como o desenvolvimento da Sequência Didática conta com momentos de aulas síncronas remotas, essas foram gravadas, com o intuito de verificar potenciais argumentos quanto ao tema proposto, no decorrer das aulas. As transcrições tiveram uma grande contribuição para a pesquisa.

A Aula 7 - Laboratório Remoto de Circuitos Elétricos, foi realizada de forma mediada, agendada com seis dos dez alunos participantes da SD. Por causa da indisponibilidade de quatro alunos, não foi possível realizar também com estes. Os diálogos colhidos, durante a realização da aula mediada, foram analisados com base na Análise de Argumentos da Estrutura *CCnER*.

Após a realização da Aula 7, os alunos foram direcionados à realização de um questionário, no qual foi solicitado que apresentassem suas opiniões acerca da utilização do Laboratório Remoto de Circuitos Elétricos.

5.3 Análise de Argumentos Estrutura *CCnER*

Buscando levantar indícios da potencialidade do RLab no Ensino de Física, as aulas mediadas na Aula 7, foram transcritas e analisadas com base na Análise de Argumentos da Estrutura *CCnER* proposta por Sasseron (2020).

A argumentação está presente em nossas discussões cotidianas, como uma possível forma de validar alguma opinião, baseando-se em considerações e teorias. Quando partimos da Análise de Argumentos da Estrutura *CCnER*, é importante destacar a sua origem, criada com base em uma interpretação das ideias propostas por Toulmin (2006), em seu padrão para o layout de argumentos (SASSERON, 2020). O layout de argumentos de Toulmin (2006) oferece fundamento claro e objetivo, para avaliar argumentos que são construídos em discussões estabelecidas em aulas de ciências, especialmente permitindo analisar como uma conclusão se relaciona aos dados, às refutações, às garantias e aos conhecimentos de apoio para elas (SASSERON, 2020).

Em sala de aula, é comum que haja uma interação entre professor e alunos. A partir da análise desses argumentos, é possível levantar indícios do envolvimento de professores e alunos como o ensino de ciências. Assim, conforme cita Sasseron (2020), o processo argumentativo está relacionado ao desenvolvimento de práticas epistêmicas do ensino por investigação, a partir de informações, levantamento de hipóteses e construção de modelos explicativos para limites e previsões.

Ao elaborarmos a Sequência Didática, procuramos estratégias que oferecessem um maior engajamento do estudante com as atividades. Nesse sentido, inserimos no seu escopo aulas, em que feita uma análise investigativa de como ocorre a corrente elétrica, permitisse ao aluno um contato, mesmo que de maneira remota, a experimentos, simulações e Laboratórios Virtuais e Remoto.

Partindo do princípio das atividades investigativas, Sasseron (2020) ressalta que o processo de desenvolvimento da argumentação no ensino de ciências deve estar relacionado com a oportunidade de práticas pedagógicas alicerçadas no ensino por investigação. Nesse sentido acrescenta ainda que a argumentação, a investigação e a modelagem são grandes práticas epistêmicas das ciências, as quais podem ser desenvolvidas em sala de aula quando ocorrem ações de proposição, avaliação, comunicação e legitimação dos conhecimentos (JIMÉNEZ-ALEIXANDRE; CRUJEIRAS, 2017), (KELLY; LICONA, 2018).

A linguagem científica é composta por termos e expressões que revelam o entendimento da área para os fenômenos do mundo natural; e sua natureza é do tipo argumentativo (ADÚRIZ-BRAVO; R., 2017). Podemos avaliar o modo como as informações são trabalhadas pelos alunos, tendo elas sido fornecidas em sala de aula ou obtidas e trazidas de outras situações. Estas informações podem ser avaliadas e validas satisfatoriamente com a estrutura de análises de argumentos CER.

Nessa proposta, *C* representa alegação inicial (claim) ou a conclusão ⁴, explicando o que aconteceu ou a percepção de como aconteceu; *E* representa a evidência (evidence) ou dado que sustenta a conclusão *C*; *R* representa o raciocínio (reasoning) justificando o porquê aquela informação ou aquele dado podem ser tomados como evidência para suportar a conclusão *C*. Sasseron (2020) inseriu na estrutura inicial *CER* o termo condições (*Cn*), representando as

⁴ Conforme citou a autora Lúcia Helena Sasseron, por meio de contato pessoal, o termo conclusão foi utilizado em literaturas anteriores de forma equivocada, logo seria mais correto utilizar a expressão Alegação inicial, sendo então uma sugestão para mudanças em trabalhos posteriores.

condições que foram estabelecidas pelos estudantes ou professor ao longo das interações discursivas. Assim a estrutura foi ampliada para *CCnER*.

Com a transcrição de áudios, foi possível agrupar quais seriam as alegações propostas por cada aluno, sendo então possível analisar como tal argumento foi estabelecido. Tais alegações foram agrupadas em ordem cronológica de acontecimento. Para visualização das alegações propostas pelos discentes, os diálogos foram registrados em forma de quadros, para uma melhor visualização.

A primeira coluna do quadro apresenta as alegações ou conclusões propostas pelo aluno ou professor, no momento das interações discursivas presentes na Aula 7 - Laboratório Remoto de Circuitos Elétricos. A segunda coluna apresenta em que condições tal alegação foi proposta, podendo ter surgido, mediante alguma análise visual do Laboratório ou mesmo a situação vivenciada no cotidiano. A terceira coluna dispõe de informações que apontem evidências, que reforcem a alegação apresentada. Por fim, a quarta coluna apresenta uma análise de como o raciocínio pôde ter sido estabelecido pelo aluno, no momento da interação discursiva.

A seguir, será apresentado um exemplo de um diálogo realizado em momento virtual dialogado com os alunos do Ensino Médio, na primeira aula da Sequência Didática - A Estrutura da Modelagem Científica. Esse diálogo será analisado com base na Estrutura *CCnER*. O diálogo se iniciou a partir do seguinte questionamento: *Como eu meço a velocidade de uma pedra em queda livre?*

Quadro 5.1 – Exemplo de Análise *CCnER*: Aula 1 - A Estrutura da Modelagem Científica

Alegação (C)	Condição (Cn)	Evidência (E)	Raciocínio (R)
Aluna AL2EM: “A velocidade final é igual a velocidade inicial mais a aceleração vezes o tempo”.	Professor: “Se caso eu arremessasse a pedra para cima a mesma equação poderia ser utilizada?”	Aluna AL2EM: A gravidade altera a velocidade da pedra, quanto maior o tempo maior a velocidade da pedra, e quanto maior a altura o mesmo acontece.	Discussão inicial tendo como base o levantamento das variáveis envolvidas na queda livre de uma pedra.

A partir do argumento da Aluna AL2EM, o professor cria uma condição para que fosse possível ou não validar a equação construída pela estudante, condição essa sendo uma situação contrária à proposta anterior. Evidenciando o argumento da aluna, foi possível observar que se apropriou do conceito discutido, aplicando-o em uma nova situação. Finalizando, como raciocínio, essa alegação foi construída baseada na interação entre as variáveis velocidade, aceleração e tempo, discutidas em momento anterior.

Sendo assim, no Capítulo 7, analisaremos discussões estabelecidas entre professor e alunos, no momento da Aula 7 - Laboratório Remoto de Circuitos Elétricos realizada de forma mediada com seis alunos. Serão levantadas alegações realizadas pelo professor ou aluno, agrupadas em forma de quadro, buscando evidenciar potencialidades que o Laboratório Remoto de Circuitos Elétricos tem a contribuir no Ensino de Física, com discussões significativas sobre o tema em questão, a corrente elétrica.

6 A SEQUÊNCIA DIDÁTICA APLICADA

6.1 Objetivos de ensino e de aprendizagem no desenvolvimento Sequência Didática

A Sequência Didática teve como objetivo desenvolver um Curso de eletricidade, em modo remoto, em um Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA), buscando uma aprendizagem significativa, dispoendo da metodologia dos Ciclos de Modelagem proposto por David Hestenes. O principal objetivo de aprendizagem da SD é o de compreender o comportamento da corrente elétrica, em um material condutor, explicada pelo Modelo de Drude.

6.2 Objetivos específicos de ensino

- Promover meios que possibilitem um Ensino de Física contextualizado e significativo.
- Fomentar atividades que possibilitem que o aluno aproxime conceitos abstratos do Ensino de Física em modelos concretos, próximos à sua realidade.
- Oportunizar Atividades Investigativas que possibilitem interações, via momentos de Aula, em formato virtual dialogado, por meio de discussões significativas;
- Inserir o Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA) como instrumento de mediação e construção de conhecimentos;
- Viabilizar o ensino experimental pelo Ambiente Virtual de Aprendizagem, diante do cenário de ensino remoto emergencial.

As atividades foram disponibilizadas para os alunos entre o período de 1º de setembro de 2020 à 7 de outubro de 2020, possuindo como duração média três dias para a realização de cada aula. As aulas foram liberadas com o decorrer do curso, sendo possível aos alunos realizarem atividades de aulas anteriores, buscando assim uma maior participação dos alunos que porventura não conseguissem acompanhar os prazos previstos para as aulas da Sequência Didática (SD). O quadro, a seguir, apresenta as aulas postadas na plataforma, assim como a data de início para a realização de cada aula. É importante ressaltar que as aulas possuíam os mesmos temas para os dois segmentos, Ensino Fundamental e Médio, porém com abordagens diferenciadas.

Quadro 6.1 – Descrição das aulas da Sequência Didática

Aula	Tema da Aula	Início
1	O que é Modelagem Científica?	27/08/2020
2	Condutores e Isolantes	01/09/2020
3	Elétrons Livres	04/09/2020
4	O Modelo de Drude	10/09/2020
5	Resistência Elétrica	14/09/2020
6	Componentes de um circuito	17/09/2020
7	Laboratório Remoto de Circuitos Elétricos	21/09/2020
8	Conclusão formativa da Sequência Didática - Por que os Elétrons Livres não são tão livres assim?	29/09/2020

Fonte: Autor (2021).

Por questão de privacidade dos participantes da pesquisa, os alunos envolvidos na SD serão nomeados com as letras AL indicando aluno, a distinção do aluno como 1, 2, 3..., e as abreviações de Ensino Fundamental (EF) e Ensino Médio (EM), como exemplo Aluno(a) AL1EF. O quadro a seguir apresenta os alunos e suas respectivas turmas, 9º ano do Ensino Fundamental ou 2º ano Ensino Médio.

Quadro 6.2 – Registro dos alunos participantes e seu nível escolar

Abreviação	Segmento de Ensino
AL1EF	Ensino Fundamental
AL2EF	Ensino Fundamental
AL3EF	Ensino Fundamental
AL4EF	Ensino Fundamental
AL5EF	Ensino Fundamental
AL1EM	Ensino Médio
AL2EM	Ensino Médio
AL3EM	Ensino Médio
AL4EM	Ensino Médio
AL5EM	Ensino Médio

Fonte: Autor (2021).

6.3 Cenário de desenvolvimento da Sequência Didática

A Sequência Didática foi desenvolvida em duas escolas, entre os meses de agosto e setembro de 2020, as quais serão detalhadas a seguir. Vale ressaltar que ambas as escolas possuem um corpo docente empenhado em resultados, com direções que garantem um trabalho aberto ao professor, na busca constante pelo aprendizado. A ordem de apresentação das escolas não evidencia superioridade entre elas, mas, sim os níveis de Ensino, Fundamental e Médio, considerados.

6.3.1 Escola da rede particular de ensino – 9º Ano do Ensino Fundamental

A instituição de ensino, na qual foi desenvolvida a SD, em uma turma do 9º Ano do Ensino Fundamental, é caracterizada como uma instituição da rede particular de Ensino Infantil, Fundamental e Médio da região Centro-Oeste de Minas Gerais. A instituição, que tem 31 anos de existência, possui um ideal de crescimento exponencial da educação na cidade, pautada em resultados, com o envolvimento dos professores, alunos e pais.

A escola conta com basicamente uma turma por ano ou série, sendo essas relativamente pequenas, comparadas às turmas da Rede Pública de ensino. As salas possuem no máximo 30 alunos. O sistema de ensino é todo apostilado, tendo como foco a preparação dos estudantes para o ENEM e aprovações em vestibulares.

Foi proposta que a Sequência Didática fosse desenvolvida, nesse segmento de ensino, em uma turma com 16 alunos, porém, em função da pandemia da Covid-19 e a necessidade de aulas remotas, dois alunos saíram da turma. Dos 14 restantes, cinco se prontificaram a realizar a Sequência Didática, pois, como foi um curso adicional, além da carga horária proposta pelo material didático, não seria obrigatória sua realização. Esse grupo de cinco alunos contava com dois integrantes do sexo masculino e três do sexo feminino, com idades de 14 e 15 anos.

Acostumados com um sistema apostilado, baseado em aulas expositivas, os estudantes se mostraram bastante engajados na ideia de elaboração de modelos no Ensino da Física, uma vez que, a partir dessa estratégia de ensino, é possível que apresentem sua opinião acerca da explicação de fenômenos naturais, sendo assim mais ativos no processo de aprendizagem.

6.3.2 Escola da Rede Pública de ensino – 2º Ano do Ensino Médio

Para o desenvolvimento da Sequência Didática na segunda série do Ensino Médio, foi escolhida uma instituição da Rede Pública de Ensino, na região Centro Oeste do estado de Minas Gerais, que comporta turmas de Ensino Fundamental e Médio, dos turnos matutino, vespertino e noturno. A escola possui 36 anos de fundação. Embora essa escola conte com um alunado cujos pais, muitas vezes, não tiveram grande oportunidade de ensino, eles são ativos no Projeto Político Pedagógico (PPP) da escola, com isso, é possível que se tenha um bom apoio de pais e alunos no ensino.

Considerando a turma, foi proposta inicialmente com um público de 15 estudantes, convidados entre um total de aproximadamente 130 alunos, distribuídos em quatro turmas do 2º Ano do Ensino Médio. Porém, por ser um curso extra, ou seja, não sendo obrigatória sua participação e por se tratar de alunos que, em grande maioria, trabalham o dia todo, cinco alunos se envolveram satisfatoriamente na aplicação da SD, sendo esses então analisados nas seções a seguir.

Como caráter emergencial, o governo do Estado de Minas Gerais adotou um Programa de Estudo Tutorado (PET), distribuído em nove unidades apostiladas. Portanto a Sequência Didática veio a contribuir à aprendizagem dos estudantes, no estudo do comportamento da eletricidade em materiais condutores, conteúdo esse não contemplado pelo PET do 2º Ano do Ensino Médio.

Nas próximas seções, serão apresentadas de forma sistemática, como ocorreram as oito aulas da Sequência Didática, desenvolvidas com alunos do 9º ano do Ensino Fundamental e 2º Ano do Ensino Médio, sendo então apresentados de forma anônima os respondentes e participantes de cada aula.

6.4 Aula 1 - O que é modelagem científica?

Objetivos específicos de ensino

Do ponto de vista do estudante, essa aula tem como objetivo apresentar a importância da modelagem no Ensino de Física, apresentando como estratégia a Modelagem por Ciclos proposta por Hestenes (1987).

Do ponto de vista da pesquisa, o objetivo da aula é introduzir o tema da Sequência Didática, por que os Elétrons Livres não são tão livres assim, criando uma analogia entre um Ferrari em uma grande capital e um elétron “livre” no interior de um material condutor.

Metodologia

Atividade investigativa individual realizada na Sala de Aula Virtual, com momento de interação via aplicativo de videochamadas.

Desenvolvimento da Atividade

O texto: A Estrutura da Modelagem Científica, disponibilizado nas salas virtuais, trazia pontos a serem analisados em uma situação física, buscando o cumprimento de etapas, segundo o ciclo de modelagem proposto por David Hestenes. A partir da leitura do texto, os discentes foram direcionados à realização de um questionário conceitual, no qual deveriam aplicar essas etapas construindo um modelo físico.

O Modelo proposto, buscou a resolução de um problema de um milionário da cidade de São Paulo, que possuía um potente Ferrari, porém não conseguia usufruir de sua aceleração, por um longo período de tempo, sendo necessária sua frenagem a todo momento. Ao fim da resolução do questionário, tínhamos como objetivo que os estudantes compreendessem que os modelos não são completos e com carácter definitivo, mas, sim, passíveis de uma reformulação, adequando-se a novas situações físicas similares. O questionário foi realizado por todos, os cinco alunos pertencentes ao Ensino Fundamental (AL1EF, AL2EF, AL3EF, AL4EF e AL5EF) e os cinco alunos do Ensino Médio (AL1EM, AL2EM, AL3EM, AL4EM, AL5EM).

O término na primeira aula consistiu em uma aula síncrona, por meio de aplicativo de videochamadas, quando os estudantes do Ensino Fundamental utilizaram o *Zoom* e os estudantes do Ensino Médio o *Google Meet*, definidas as escolhas de aplicativos pelas instituições de ensino.

De maneira geral, ambas as turmas tiveram dificuldades na compreensão no texto e do questionário, talvez por se tratar de um texto um pouco extenso, com quatro páginas, logo teriam dificuldades também no questionário, sendo evidente por me procurarem por meio do aplicativo

de mensagem *WhatsApp*. Com relação às respostas aos questionários qualitativos, após minhas explicações individuais, compreenderam o que era proposto em cada questão. Para propiciar uma discussão sobre as respostas, no momento virtual dialogado, fiz uma síntese das respostas apresentadas pelos discentes, debatendo-as.

Buscando sanar as dificuldades encontradas na compreensão do texto, apresentei, em nosso momento dialogado, uma situação em que uma pedra fosse abandonada de uma certa altura, propondo que aplicassem as etapas do Ciclo de Modelagem para elaborar o modelo. A condução das aulas se deu de maneira satisfatória, porém, é importante frisar que nessa e nas demais aulas, as falas dos alunos eram raras, pois, muitas vezes, era necessário que eu repetisse uma pergunta, ou a direcionasse a um aluno específico, para que fosse possível manter um diálogo.

A aula conduzida com os alunos do Ensino Fundamental, se deu de maneira mais natural, uma vez que eles já estavam habituados a esse tipo de aula, por ser o sistema adotado pela instituição durante a Pandemia COVID-19. O Ensino Médio encontrou maiores dificuldades no início, com relação a microfones e câmeras, porém essa dificuldade foi superada com o decorrer da aula.

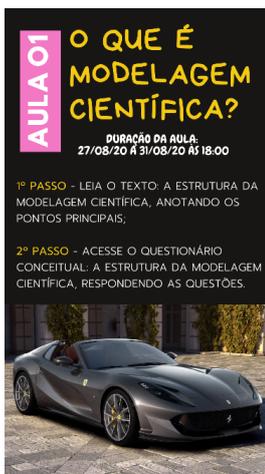
Ao término da Aula Virtual Dialogada, apresentei a proposta da Sequência Didática, que seria criar um modelo de como ocorre a corrente elétrica no interior de um material condutor. Questionei aos discentes de ambas as turmas se seria possível criar uma analogia entre o movimento do Ferrari do senhor Antônio, nas ruas da capital paulista e a eletricidade. Dois alunos do Ensino Fundamental e três alunos do Ensino Médio trouxeram a ideia de o Ferrari necessitar de energia para se movimentar. Mas vale apresentar que esse não era o objetivo esperado, embora conseguissem fazer uma associação.

Decidi então dar seguimento na apresentação da Aula 2 – Condutores e Isolantes, mostrando o que estava proposto para realizarem. Abri as salas para as respectivas turmas, citando o que deveriam fazer e a ordem para resolução das atividades. Tendo em vista que foi observado que os alunos possuíam uma dificuldade na compreensão do que era proposto, decidi elaborar um resumo em forma de tópicos, guiando a ordem sugerida de resolução das atividades, disponibilizando no grupo da turma.

6.5 Aula 2 - Condutores e Isolantes

Objetivos Específicos de ensino

Figura 6.1 – Organização de atividades - Aula 1



Fonte: Autor (2020)

Discutir o conceito de material condutor e material isolante, propondo ao término da Aula a elaboração de Modelos representativos para tais materiais, com as características que julgarem necessárias.

Metodologia

Atividade Investigativa com simulador PhET e elaboração de Modelos.

Desenvolvimento da atividade

A Aula 2 – Condutores e Isolantes, possuía três momentos. O primeiro momento, um Questionário Conceitual, objetivava que os discentes apresentassem respostas de como definiriam um material como condutor ou como isolante, por meio de três questões qualitativas. O segundo momento tinha como principal característica a utilização do *Simulador PhET Condutores e Isolantes*, em que seriam testados diferentes materiais entre dois pontos de um circuito elétrico, verificando se eles seriam capazes ou não de conduzir corrente elétrica, sendo bons, médios ou maus condutores. O terceiro momento, consistia na elaboração de desenhos que representassem como acreditavam que seria o interior de um material condutor e de um material isolante, propondo assim um modelo para cada material.

Como orientação, assim como na primeira aula, foi postada a imagem nos grupos das salas.

Figura 6.2 – Organização de atividades - Aula 2

AULA 02
CONDUTORES E ISOLANTES
 DURAÇÃO DA AULA:
 01/09/20 À 03/09/20 ÀS 23:59

1º PASSO - RESPONDA O QUESTIONÁRIO: CONDUÇÃO DE ELETRICIDADE;

2º PASSO - ACESSE O SIMULADOR VIRTUAL PHET CONDUTORES E ISOLANTES, ANOTANDO SUAS RESPOSTAS AOS QUESTIONÁRIOS;

3º PASSO - TRANSCREVA SUAS RESPOSTAS PARA A ATIVIDADE - CONDUTORES E ISOLANTES;

4º PASSO - ELABORE UM MODELO, EM FORMA DE UM DESENHO DE UM MATERIAL QUE SEJA CONDUTOR DE ELETRICIDADE E UM MATERIAL QUE NÃO SEJA CAPAZ DE CONDUZIR ELETRICIDADE.

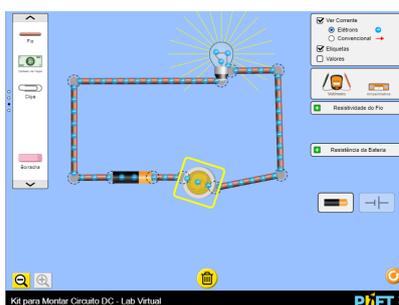
Fonte: Autor (2020)

O Questionário Conceitual foi respondido pelos cinco alunos do Ensino Fundamental (AL1EF, AL2EF, AL3EF, AL4EF, AL5EF) e pelos cinco alunos do Ensino Médio (AL1EM, AL2EM, AL3EM, AL4EM, AL5EM). Nesse momento da discussão, é importante frisar indícios de cópias de respostas da internet, em ambas as turmas, como exemplo, a resposta apresentada à primeira pergunta: “se alguém te questionasse, como você explicaria a eletricidade?”, acreditamos que seja uma possível cópia a resposta: “um conjunto de fenômenos naturais que evoluem na existência de cargas elétricas estacionárias ou em movimento”.

Após a realização do Questionário, os alunos foram direcionados à realização de uma atividade experimental, a partir do Simulador *PhET Condutores e Isolantes*, por meio de um roteiro investigativo. Essa atividade consistia na montagem de um Circuito Elétrico de corrente contínua, preenchido com um material entre duas extremidades de um fio condutor. Os materiais cuja condução de corrente elétrica foi testada foram: nota de dinheiro, clipe, moeda, borracha, mão, cachorro e lápis. A atividade foi realizada por quatro dos cinco alunos do Ensino Fundamental (AL1EF, AL2EF, AL3EF, AL5EF) e por todos os cinco alunos do Ensino Médio (AL1EM, AL2EM, AL3EM, AL4EM, AL5EM), apresentando resultados já esperados pelos discentes, sendo uma novidade o grafite do lápis como um condutor de corrente elétrica, embora caracterizado como médio na capacidade condução.

Como terceiro momento da Aula 2 – Condutores e Isolantes, os alunos elaboraram um modelo de como acreditavam ser o interior de um material condutor e um material isolante. Os desenhos foram realizados por quatro dos cinco alunos do Ensino Fundamental (AL1EF,

Figura 6.3 – Circuito para verificar capacidade ou não de condução de corrente elétrica

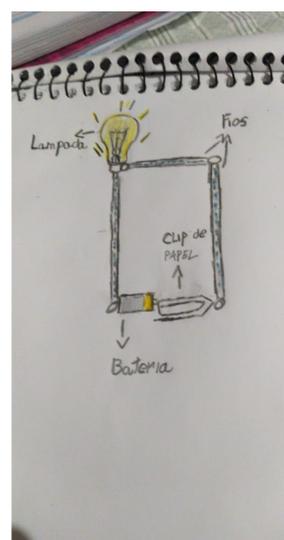
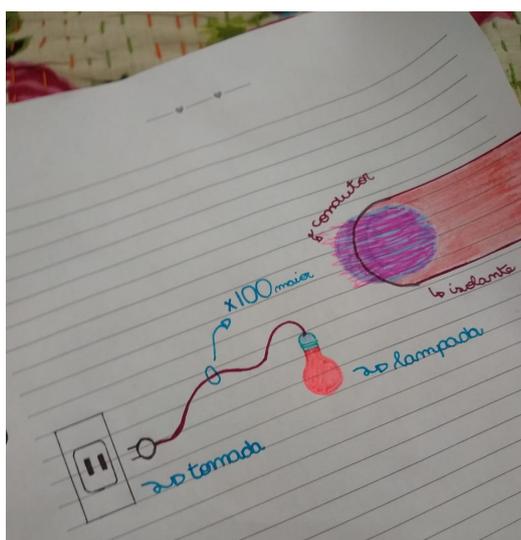


Fonte: PhET Kit para Montar Circuito DC - Lab Virtual (2020)

AL2EF, AL3EF, AL5EF) e por quatro dos cinco alunos do Ensino Médio (AL1EM, AL2EM, AL3EM, AL4EM).

A seguir, temos dois desenhos elaborados pelos estudantes, representando o interior de materiais condutores e materiais isolantes.

Figura 6.4 – Modelos representativos de materiais isolante (1) e condutor (2)



Fonte: Acervo de pesquisa (2020)

As respostas, definições de materiais condutores e isolantes e os modelos elaborados foram discutidos, em momento de aula síncrona, por aplicativos de videochamadas, sendo então proposto o que deveriam realizar na Aula 3 – Elétrons Livres. Para facilitar a compreensão do que deveriam realizar, divulgamos nos grupos de WhatsApp a imagem apresentada a seguir.

Figura 6.5 – Organização de atividades - Aula 3



Fonte: Autor (2020)

6.6 Aula 3 – Elétrons Livres

Objetivos Específicos de ensino

Discutir a evolução do modelo de átomo, no decorrer dos séculos, por meio de uma trilha pedagógica e introduzir o conceito de "Mar de Elétrons".

Metodologia

Realização da trilha pedagógica – Elétrons Livres, a qual possui um caráter arborescente³ para a aprendizagem individual dos alunos.

Desenvolvimento da atividade

A Aula 3 – Elétrons Livres, consistiu de uma trilha pedagógica relacionada à origem do termo átomo, passando pelos modelos atômicos concebidos, ao longo dos anos, curiosidades e questionários qualitativos, sendo findada com a elaboração de um registro, por meio de uma

³ Tipo de atividade disponibilizada pelo Moodle, que possui uma estrutura de uma árvore de cabeça para baixo, com ramificações de conhecimento, para diferentes opções de navegação pelo discente.

dissertação, apresentando o que seriam esses elétrons livres e como são capazes de conduzir corrente elétrica.

A atividade foi realizada por todos os cinco alunos do Ensino Fundamental (AL1EF, AL2EF, AL3EF, AL4EF, AL5EF) e pelos cinco alunos do Ensino Médio (AL1EM, AL2EM, AL3EM, AL4EM, AL5EM). Após o término do prazo proposto, realizei um momento de discussão em forma de aula síncrona relativa às respostas do decorrer da trilha, assim como uma linha temporal da evolução da concepção de modelos pelos cientistas ao longo dos anos.

Ao término da aula, discutimos os desenhos propostos pelos discentes na Aula 2 – Condutores e Isolantes e qual seria sua relação com os Elétrons Livres, apresentados ao fim da trilha. Logo, discutindo todos os modelos propostos na atividade, adotamos como mais aceito o modelo de Bohr, chegamos à conclusão de que os materiais condutores seriam aqueles que possuíam elétrons livres na sua última camada, a camada de valência, sendo conduzidos pelo material por meio de uma fonte de energia. Ao fim da Aula 3, foi apresentada a proposta da Aula 4 – o Modelo de Drude, descrevendo quais atividades deveriam realizar e sua sequência desejada. Como material orientativo, foi elaborada e postada nos grupos a imagem a seguir.

Figura 6.6 – Organização de atividades - Aula 4



Fonte: Autor (2020)

6.7 Aula 4 - O Modelo de Drude

Objetivos Específicos de ensino

Apresentar o Modelo de Drude aos discentes e sugerir uma representação macroscópica para ele, que apresentasse algumas características de materiais condutores. Apresentar o conceito de resistência elétrica. Coletar dados, a partir da análise experimental, para posterior elaboração de um gráfico (Ensino Médio).

Metodologia

Visualização de vídeos previamente gravados e disponibilizados no Youtube de abandonos de esferas de gude, sobre um plano inclinado preenchido por pregos, sendo feitas anotações de tempos de descida para cada esfera.

Desenvolvimento da atividade

A Aula 4 – O Modelo de Drude foi desenvolvida de maneira distinta entre os alunos do Ensino Fundamental e Ensino Médio, pelo grau de exigência para cada nível de ensino.

Os alunos do Ensino Fundamental (9º Ano) tiveram acesso ao texto, apresentando uma síntese sobre o modelo de condução de corrente elétrica proposto pelo Físico Paul Drude (1900). Após a leitura, foram direcionados à análise de três vídeos, que representaram como seriam os elétrons livres em um material condutor. Analisaram inclinações de 10, 30 e 55 centímetros em relação ao plano horizontal. Foi proposto que anotassem o tempo de queda de cada uma das 10 esferas abandonadas, realizando a média final dos tempos para cada uma das três inclinações. Após determinarem, anotaram seus resultados no “Questionário Conceitual - Modelo de Drude”, respondendo às questões propostas. As atividades foram realizadas por três dos cinco alunos do Ensino Fundamental (AL2EF, AL3EF, AL5EF).

Ao término das atividades, os alunos perceberam que quanto maior fosse a inclinação da rampa, menor seria o tempo médio de descida das bolinhas. No momento de aula síncrona, discutimos que as esferas representavam os elétrons livres, percorrendo um material condutor que, embora fossem livres, encontrariam algum obstáculo em seu caminho, que nomeamos

Figura 6.7 – Coleta de dados para cálculo de velocidade médias

Inclinação 10cm		Inclinação 20 cm	
Bolinhas	Tempo (seg)	Bolinhas	Tempo (seg)
1	5,05	1	4,03
2	5,35	2	4,36
3	6,05	3	4,42
4	6,32	4	4,36
5	6,54	5	5,27
6	7,07	6	5,47
7	7,36	7	5,66
8	7,85	8	5,81
9	8,06	9	5,83
10	8,06	10	6,17

Fonte: Acervo pessoal de pesquisa (2020)

inicialmente de dificuldade, convergindo, logo em seguida, para o termo adotado na Física, resistência elétrica.

No Ensino Médio, os alunos foram também apresentados a vídeos que apresentassem esferas sendo abandonadas de diferentes inclinações variando entre 5 e 60 centímetros. Ao contrário do Ensino Fundamental, os alunos tiveram a oportunidade de escolher três dos 12 vídeos disponíveis. Propus que calculassem os tempos para cada esfera, com ele, conhecendo o comprimento da rampa, calculassem a velocidade média para cada uma das 10 esferas.

Figura 6.8 – Detalhe da tábua de pregos para a prática experimental representando o Modelo de Drude



Fonte: Autor (2020)

Dispondo desses valores, os alunos deveriam calcular a média das velocidades para cada uma das três inclinações escolhidas. Os valores obtidos foram transcritos para o “Questionário Conceitual - Modelo de Drude”, respondendo então as questões propostas.

Realizaram as análises e posterior transcrição de respostas quatro dos cinco alunos do Ensino Médio (AL2EM, AL3EM, AL4EM, AL5EM). Após esta transcrição, fiz uma tabela apresentando os valores de velocidades médias calculados. O material orientativo a seguir foi postados nos grupos de WhatsApp.

Figura 6.9 – Organização de atividades - Aula 5

AULA 05

RESISTÊNCIA ELÉTRICA

DURAÇÃO DA AULA:
15/09/20 A 18/09/20 ÀS 18:00

1º PASSO - ACESSE A TABELA COM OS DADOS DE INCLINAÇÕES E VELOCIDADES CALCULADOS POR TODOS;

2º PASSO - UTILIZANDO A MALHA QUADRICULADA ELABORE UM GRÁFICO BASEADO NO VÍDEO DE ORIENTAÇÃO;

3º PASSO - FAREMOS UMA REUNIÃO VIA GOOGLE MEET AS 19 HORAS DA SEXTA-FEIRA DIA 18/09/2020.

Fonte: Autor (2020)

6.8 Aula 5 – Resistência Elétrica

Objetivos Específicos de ensino

Criar uma analogia entre a inclinação da Tábua de Pregos e a diferença de potencial em um material condutor, discutindo a característica de linearidade da resistência em um material ôhmico (este último objetivo para os alunos do Ensino Médio – 2º Ano), modelando assim a primeira Lei de Ohm.

Metodologia

Respostas de questionário investigativo e elaboração de gráficos pelos alunos do 2º Ano do Ensino Médio.

Desenvolvimento da atividade

Assim como a Aula 4, a Aula 5 – Resistência Elétrica foi pensada para que pudesse atender os dois segmentos, Fundamental e Médio, em ambas as turmas citadas anteriormente.

Os alunos do Ensino Fundamental foram direcionados à resolução de um Questionário Conceitual Investigativo - Resistência Elétrica, que permitiu que investigassem os valores coletados na atividade anterior. O Questionário foi respondido por quatro dos cinco alunos do Ensino Fundamental (AL1EF, AL2EF, AL3EF, AL5EF). Após a realização da atividade, realizamos uma aula síncrona, a fim de discutir as respostas apresentadas. Formalizamos um novo termo, a resistência elétrica e a sua relação com a diferença de potencial elétrico e a corrente elétrica, modelando a Primeira Lei de Ohm. Ao término da Aula 5, apresentei a proposta da Aula 6 - Componentes de um circuito, com suas respectivas atividades a serem realizadas.

Com os alunos do Ensino Médio a condução da Aula 5 – Resistência Elétrica se deu de maneira um pouco distinta. Dispondo dos valores de velocidade média calculados na aula anterior, utilizando uma malha quadriculada, elaboraram um gráfico que apresentasse uma relação entre a inclinação da rampa e a velocidade média das bolinhas.

Os valores calculados pelos discentes, assim como o gráfico elaborado por cada um, estão exemplificados a seguir, sendo possível evidenciar nesse segundo um caráter linear ascendente.

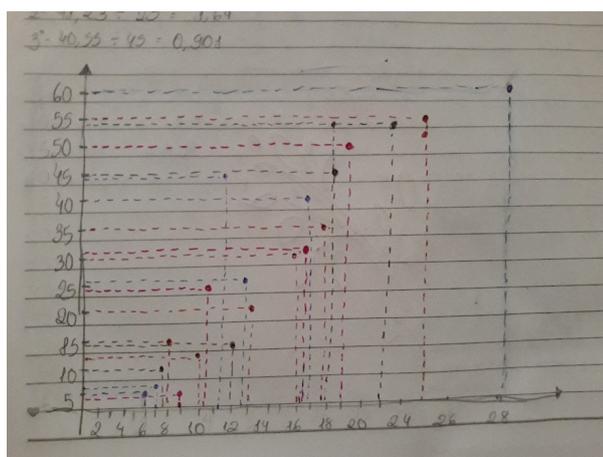
Quadro 6.3 – Quadro contendo os dados colhidos pelos alunos do Ensino Médio para elaboração do gráfico

Inclinação	Velocidade Média
10	8,3
30	16,3
55	21,5
10	7,9
30	16,7
5	8,9
10	9,5

15	12,1
15	8,0
25	10,7
45	10,9
5	7,2
10	10,8
15	14,4
20	13,8
25	13,5
30	16,3
35	17,1
40	16,7
45	17,9
50	18,4
55	23,0
60	27,7

Fonte: Autor (2020).

Figura 6.10 – Gráfico Inclinação x média das velocidades



Fonte: Autor (2020)

Discutimos que os gráficos caracterizavam uma relação entre a corrente elétrica, que percorre um material condutor, representada pela velocidade média das bolinhas e a diferença de potencial representada pela inclinação da rampa.

Vimos, ainda, que os pregos, por serem fixos, em todas as inclinações possíveis, representavam a resistência elétrica do material à passagem de corrente. Dispondo desses conceitos, modelamos a Primeira Lei de Ohm, com sua representação clássica para o Ensino Médio, sendo a diferença de potencial elétrico proporcional ao produto da resistência pela corrente elétrica ($V = R.i$).

A Aula 5 síncrona se findou com a apresentação da proposta para a Aula 6, com suas respectivas atividades a serem cumpridas. A imagem orientativa foi postada em ambos grupos, fundamental e médio.

Figura 6.11 – Organização de atividades - Aula 6

AULA 06 **COMPONENTES DE UM CIRCUITO**

DURAÇÃO DA AULA:
28/09/20 À 01/10/20 ÀS 20:00

1º PASSO - ACESSE O ITEM RESISTÊNCIA ELÉTRICA, FAZENDO A LEITURA DOS TEXTOS PROPOSTOS;

2º PASSO - REALIZE EM SEGUIR O QUESTIONÁRIO CONCEITUAL - COMPONENTES DE UM CIRCUITO BASEADOS NA SIMULAÇÃO DISPONÍVEL NO ITEM ACIMA;

3º PASSO - ACESSE O ITEM IDENTIFICANDO UM RESISTOR, E VEJA QUAL O VALOR DO RESISTOR QUE UTILIZAREMOS NA AULA 07.

$V = i R$

0.0 mA

4.5 V 800 Ω

Fonte: Autor (2020)

6.9 Aula 6 – Componentes de um Circuito

Objetivos Específicos de ensino

Descobrir onde são encontrados os resistores no dia a dia, observando suas principais características.

Metodologia

Utilizar um Laboratório Virtual – PhET Lei de Ohm criando uma relação entre as variáveis envolvidas e determinar o valor de um resistor por meio de suas cores.

Desenvolvimento da atividade

A Aula 6 – Componentes de um Circuito teve como objetivo que os alunos investigassem com maiores detalhes o que é Resistência Elétrica e como podemos estudar os circuitos elétricos com esse conceito. Como primeira atividade, os discentes, ao acessar o item “Resistência Elétrica”, descobriram algumas aplicações de resistores no cotidiano, assim como sua representação na Física por meio de símbolos. Após a leitura, foram direcionados ao software PhET Lei de Ohm, sendo conduzidos por meio de um Roteiro Experimental.

As observações feitas com relação às problematizações propostas foram registradas, sendo postadas no item “Questionário conceitual - Componentes de um circuito”. O Questionário foi respondido por quatro dos cinco alunos do Ensino Fundamental (AL1EF, AL2EF, AL3EF, AL5EF) e por quatro dos cinco alunos do Ensino Médio (AL1EM, AL2EM, AL3EM, AL4EM).

Após o registro das respostas, os alunos foram conduzidos a uma página na qual tiveram a oportunidade de aprender como é possível identificar um resistor por meio de suas cores. A partir de uma foto de um resistor, calcularam o valor de sua resistência, encontrando $10000\Omega \pm 5\%$. Esse valor foi utilizado na Aula 7. Como de costume, postamos um material orientativo, assim como um agendamento de utilização ao RLab de maneira individualizada para os estudantes.

Figura 6.12 – Organização de atividades - Aula 7

AULA 07

LABORATÓRIO REMOTO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS (RLAB)

DURAÇÃO DA AULA:
06/10/20 A 09/10/20 ÀS 20:00

1º PASSO - ACESSE O PASSO A PASSO DE UTILIZAÇÃO DO LABORATÓRIO REMOTO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS (RLAB) DISPONÍVEL NA PÁGINA DA AULA 07. LEIA-O COM MUITA ATENÇÃO.

2º PASSO - ACESSE O ROTEIRO INVESTIGATIVO, REALIZANDO OS DESAFIOS PROPOSTOS. ANOTE SUAS RESPOSTAS, POIS ESTAS DEVERÃO SER TRANSCRITAS NOS QUESTIONÁRIOS A SEGUIR.

3º PASSO - TRANSCREVA SUAS RESPOSTAS AOS DESAFIOS NOS ITENS DESAFIOS 01, 02 E 03.

Imagem de uma interface de laboratório remoto com gráficos e circuitos.

Fonte: Autor (2020)

6.10 Aula 7 – Laboratório Remoto de Circuitos Elétricos (RLab)

Objetivos Específicos de ensino

Manipular um Laboratório Remoto de Circuitos Elétricos (RLab) e verificar se o modelo de corrente elétrica elaborado atende as situações apresentadas.

Metodologia

Utilização do Laboratório Remoto de Circuitos Elétricos (RLab) como prática experimental remota.

Desenvolvimento da atividade

A Aula 7 – Laboratório Remoto de Circuitos Elétricos RLab, foi realizada, em um primeiro momento, de maneira autônoma pelos estudantes do Ensino Fundamental e Ensino Médio com suas respectivas turmas, sendo feita por um dos cinco alunos do Ensino Fundamental (AL3EF) e dois dos cinco alunos do Ensino Médio (AL1EM, AL4EM). Tendo em vista a baixa adesão dos alunos à realização dos desafios propostos, decidimos que esta Aula, fosse aplicada em um momento posterior, porém, dessa vez, mediada pelo professor. Os relatos dessa experiência serão descritos e analisados, no capítulo a seguir, os quais foram o foco principal de nossa pesquisa.

6.11 Aula 8 - Conclusão Formativa da Sequência Didática – Por que os Elétrons Livres não são tão livres assim?

Objetivos Específicos de ensino

Realizar o fechamento da Sequência Didática – Por que os Elétrons Livres não são tão livres assim?

Metodologia

Momento de aula síncrona com os discentes.

Desenvolvimento da atividade

Como uma aula síncrona, por meio de aplicativo de videochamada, realizei o fechamento da Sequência Didática com os alunos, discutindo como seria possível interpretar a corrente elétrica em um material condutor. Discutimos como as etapas do Ciclo de Modelagem estavam presentes ao longo da Sequência Didática. Agradei o engajamento na realização do que foi proposto. Ao fim da aula, problematizei o que a mudança do material condutor e suas dimensões trariam para a sua resistência elétrica. Como resposta, os alunos disseram que a resistência dos materiais iria mudar, atendendo então nossas expectativas.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO - INTERAÇÕES DISCURSIVAS PROPOSTAS EM AULAS MEDIADAS E USABILIDADE DO LABORATÓRIO REMOTO

Neste capítulo, discutiremos os resultados obtidos, quanto à verificação da potencialidade do Laboratório Remoto de Circuitos Elétricos (RLab), para o Ensino de Física, sendo sua utilização parte integrante do desenvolvimento de nossa Sequência Didática.

7.1 Análise das Interações Discursivas na Aula 7 - Laboratório Remoto de Circuitos Elétricos

A Sequência Didática contou no total com oito aulas, sendo a sétima a utilização agendada ao Laboratório Remoto de Circuitos Elétricos. No entanto, apenas três alunos (AL3EF, AL1EM, AL4EM) haviam realizado a Aula 7 – Laboratório Remoto de Circuitos Elétricos, relatando dificuldades em compreender o que era proposto em cada desafio.

Diante dessa dificuldade e baixa participação dos alunos, na realização da Aula 7 de maneira autônoma, decidimos reaplicá-la, porém, na segunda vez de forma mediada, pois, conforme apresentam Cardoso e Takahashi (2011) e Matarrita e Concari (2018), uma utilização agendada com a mediação do professor pode contribuir para um ganho no processo de ensino e de aprendizagem dos estudantes.

Foram agendadas visitas ao Laboratório Remoto de Circuitos Elétricos, para seis dos dez estudantes participantes da realização da Sequência Didática (AL2EF, AL3EF, AL4EF, AL5EF, AL1EM, AL2EM). Quatro alunos não conseguiram realizar alegando compromissos escolares e pessoais (AL1EF, AL3EM, AL4EM, AL5EM).

As aulas mediadas no RLab propiciaram momentos de interações discursivas satisfatórias que serão discorridas a seguir. Analisaremos estas interações a partir da Estrutura de Argumentos *CCnER* (SASSERON, 2020).

Mediante um momento de interação entre o professor e a Aluna AL5EF, buscava-se descobrir o valor da corrente que percorria o circuito denominado Desafio 1, AL5EF apresentou uma relação muito utilizada, no ensino de física, para manipulação de variáveis, associando com a Lei de Ohm, $V = R.i$. Parte do diálogo conduzido está apresentado a seguir:

Aluna AL5EF: “A tensão é 1,47, então a gente tem que descobrir o R que é a Resistência. Então eu tenho que arrumar um jeito de fazer isso. É divisão?”

Professor: “pode sim”

Aluna AL5EF: “Eu sabia que ia entrar divisão em algum lugar, sabe aqueles triângulos que a gente sempre usa, pode usar ele?”

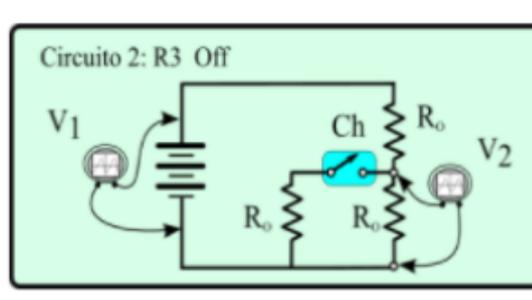
Professor: “Sim”

Aluna AL5EF: “Então fica o V que é 1,47 pelo i que é 0,000197.”

Por essa fala, pode-se salientar que a Aluna AL5EF conseguiu associar as três variáveis da Primeira Lei de Ohm, Tensão e a letra V (ou U como algumas literaturas adotam), R sendo a resistência e i como a corrente elétrica que flui pelo circuito. Com essa associação, notamos um enfoque mais profundo com relação ao conteúdo estudado, que, conforme cita Ruè (2009), os discentes relacionam as ideias e estabelecem conexões com suas experiências anteriores. A partir de então, temos indícios de uma ampliação de seu conceito subsunçor, pois a aluna conseguiu aplicar uma nova equação, em um conceito que já trazia consigo.

No momento de realização do Desafio, a aluna AL5EF foi questionada sobre o que ocorreria com a corrente elétrica em cada resistor, caso a chave fosse fechada. Essa discussão foi direcionada para o PhET, por meio do brilho apresentado pelas três lâmpadas. A seguir, é possível observar como deveria ser feita a comparação pela estudante.

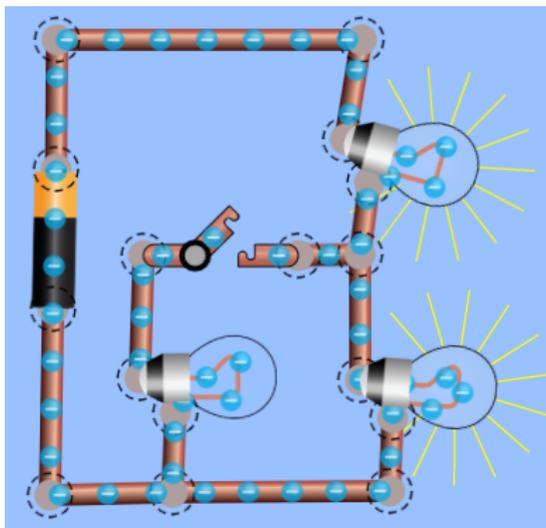
Figura 7.1 – Circuito 2 - Desafio 2



Fonte: Laboratório Remoto de Circuitos Elétricos (RLab) (2020)

O diálogo, a seguir, buscou compreender quais as conexões que a Aluna AL5EF conseguiu realizar entre a prática experimental no Laboratório Remoto de Circuitos Elétricos e sua associação com o Laboratório Virtual *PhET DC Circuitos Elétricos*. Essa discussão foi analisada, a partir da Estrutura Argumentativa *CCnER*, proposta por Sasseron (2020).

Iniciou-se com a seguinte pergunta realizada pelo professor: “Como podemos comparar o circuito do PhET com o circuito do RLab?”

Figura 7.2 – Montagem de circuito elétrico no *PhET* para comparação ao RLab para a Aluna AL5EF

Fonte: *PhET* DC Circuitos Elétricos (2020)

Quadro 7.1 – Análise *CCnER* diálogo Aluna AL5EF

Alegação (C)	Condição (Cn)	Evidência (E)	Raciocínio (R)
<p>Aluna AL5EF: “Pela chavinha abrir e fechar, é como se tivesse passando os elétrons, uma parte ia ter mais.”</p>		<p>Observações realizadas durante a experimentação no RLab.</p>	<p>A partir da “visualização dos elétrons” passando pelo fio condutor, no Laboratório <i>PhET</i> DC Circuitos Elétricos.</p>
	<p>Professor: “Agora, como você me explicaria o valor da tensão estar maior lá quando você fecha a chave que quando você abre a chave?”</p>	<p>Visualização do Laboratório Virtual <i>PhET</i> DC Circuitos Elétricos.</p>	<p>A partir da resposta dada pela Aluna, instigar o que a alteração da posição da Chave, traria para o valor da tensão elétrica</p>
<p>Aluna AL5EF: “Por que tem mais passagem de elétrons.”</p>		<p>Visualização dos elétrons passando pelo fio condutor.</p>	

	<p>Professor: “Por que tem mais passagem de elétrons a corrente aumenta. Então a corrente que você calculou aumentou, porque estão passando mais elétrons” ... “Se a corrente aumentou o que você acha que ocorreu com o valor da resistência (equivalente)?”</p>		<p>Criar uma maneira de prosseguir com o diálogo, acrescentando então perguntas relativas à tensão e resistência elétrica. Buscar estabelecer relações de proporção entre a corrente elétrica e a resistência elétrica.</p>
<p>Aluna AL5EF: “Eu acho que não.”</p>			<p>Por ser uma resposta subjetiva, a pergunta foi então reformulada.</p>
	<p>Professor: Se eu fechar a chave o que vai acontecer?”</p>	<p>Visualização do Laboratório Virtual <i>PhET</i> DC Circuitos Elétricos.</p>	<p>Instigar a aluna a ampliar seu conhecimento acerca da corrente elétrica.</p>
<p>Aluna AL5EF: “Eu acho que se eu fechar a chave uma vai brilhar mais que a outra.”</p>		<p>Visualização do Laboratório Virtual <i>PhET</i> DC Circuitos Elétricos.</p>	<p>Conclusão retirada mediante uma intuição da aluna.</p>

	Professor: “Quais vão ter o brilho igual, ou nenhuma terá o brilho igual à outra?”	Visualização do Laboratório Virtual <i>PhET</i> DC Circuitos Elétricos.	Buscar uma definição com a Aluna AL5EF de como será o brilho das lâmpadas.
Aluna AL5EF: “Eu acho que vai ser as duas debaixo iguais e a de cima diferente, porque a de cima tem outro lugar para sair, aí nas outras duas é só um "lugarzinho", não tem outra "entradinha", então a de cima da direita vai brilhar mais.”		Análise realizada pela Aluna do circuito construído no Laboratório Virtual <i>PhET</i> DC Circuitos Elétricos.	A aluna conseguiu visualizar que o nó permitiria a divisão da corrente para as duas lâmpadas em série.
Aluna AL5EF: “Aumentou?”			Com esse questionamento a Aluna foi então desafiada a reformular sua resposta, instrumento esse muito importante no aprendizado, os erros nos fazem aprender.

	Professor: “Pense comigo, a tensão aumentou, a corrente aumentou e a resistência?”	A Aula 6 – Outros componentes de um circuito, trouxe as relações de proporcionalidade entre a Tensão, Resistência e Corrente elétrica, dando suporte a tal afirmação.	Buscou-se trazer a Aula 6 para a discussão.
Aluna AL5EF: “Diminuiu.”			Mediante as relações de proporcionalidade da Aula 6.
Professor: “Então quando está aberto você tem uma resistência, quando está fechado a resistência equivalente muda”.			Conclusão formalizada a partir do discurso proposto no debate.

Fonte: Autor (2021).

Com base nesse diálogo é possível verificar o domínio da argumentação sobre as relações de proporção direta e inversa, das três variáveis presentes na Primeira Lei de Ohm. Essa proporção foi discutida na Aula 6 da SD, que continha a utilização do simulador *PhET Lei de Ohm* como prática experimental, no qual, ao variar o “tamanho” de alguma letra (V , R ou I), as outras tenderiam a diminuir ou aumentar, estabelecendo então uma relação entre as grandezas. Como apresentado em capítulos anteriores, nossa estratégia de ensino, os Ciclos de Modelagem propostos por Hestenes (1987), apresenta que uma de suas etapas contempla a interação entre as variáveis consideradas.

Partindo então para a análise das interações discursivas apresentadas no quadro anterior, a Alegação apresentada pela Aluna AL5EF “*eu acho que vai ser as duas debaixo iguais e a de cima diferente, porque a de cima tem outro lugar para sair, aí nas outras duas é só um "lugarzinho", não tem outra "entradinha", então a de cima da direita vai brilhar mais*”, demonstra

que a estudante conseguiu verificar que ocorreu uma divisão dos elétrons ao passarem por um nó, embora não tenha conseguido associar a função da chave liga-desliga no circuito. Assim, pode-se propor que essa é uma alegação sólida que, embora não completa, possa apresentar o RLab como um instrumento propiciador de discussões potencialmente significativas. O raciocínio da aluna pôde ser construído, quando a mesma teve a oportunidade de comparar os dois laboratórios, remoto (RLab) e virtual (*PhET*), sendo o último contribuinte para a visualização dos elétrons se dividindo ao passarem pelo nó.

Ainda citando esta interação discursiva, no momento em que o professor cria uma nova condição para a aluna, à de relembrar a utilização do *PhET* na Aula 06, é possível que a sua resposta seja reformulada, sendo então formalizada uma conclusão pelo professor: “*Então quando está aberto você tem uma resistência, quando está fechado a resistência muda*”.

Na busca por verificar novas discussões significativas, estas agora à partir da realização da aula mediada com a Aluna AL1EM, questiona-se qual o papel do interruptor (chave liga-desliga) no circuito. Assim é apresentado a seguir parte deste diálogo, sendo classificado e analisado com base na Estrutura Argumentativa *CCnER* (SASSERON, 2020).

Professor: “Se você clicar no interruptor o que acha que vai acontecer?”

Quadro 7.2 – Análise *CCnER* diálogo Aluna AL1EM

Alegação (C)	Condição (Cn)	Evidência (E)	Raciocínio (R)
Aluna AL1EM: “Vai fechar a chave.”		Visualização do Circuito 3 do RLab.	A aluna pôde ter estabelecido uma relação entre um interruptor da lâmpada de sua casa e a chave liga/desliga do Circuito.

	Professor: “Mas vamos pensar uma coisa, você está com o valor de V_0 de quanto?”	Análise dos dados disponíveis em tempo real no RLab.	Instigar a aluna a ampliar seu conhecimento, de não apenas causa e efeito, mas sim o que essa alteração traria ao circuito.
Aluna AL1EM: “4,2 V.”		Análise dos dados disponíveis em tempo real no RLab.	
	Professor: “E V_3 ?”		
Aluna AL1EM: “2,22 V.”		Análise dos dados disponíveis em tempo real no RLab.	
	Professor: “Será que daria para descobrirmos quanto é a corrente que passa nesse circuito?”		Induzir a aluna a associar os dados coletados, com a Lei de Ohm, estabelecida no decorrer da Aula 5 – Resistência Elétrica.
Aluna AL1EM: “Tem que dividir o valor de V_3 pelo valor de R_0 .”		A aluna conseguiu utilizar seu conhecimento adquirido nas aulas anteriores.	Conhecimento adquirido durante as aulas e a aula mediada no RLab, sendo aplicado para resolução do problema.
Professor: “Pode fazer então.”			

<p>Aluna ALIEM: “Deu 0,000222 A.”</p>		<p>Utilização dos dados para realização do cálculo da corrente elétrica que flui pelo circuito</p>	<p>Induzir a aluna a associar os dados coletados com a Lei de Ohm, estabelecida no decorrer da Aula 5 – Resistência Elétrica.</p>
	<p>Professor: “Agora vamos pensar uma coisa, o que vai acontecer com o valor dessa corrente, quando fecharmos esse circuito?”</p>		<p>Instigar o aluno a refletir o que mudará no valor calculado, quando fecharmos a chave liga/desliga.</p>
<p>Aluna ALIEM: “Eu acho que vai aumentar.”</p>			<p>Concepção alternativa já encontrada em pesquisas anteriores sobre circuitos mistos (ANDRADE et al., 2018).</p>
<p>Professor: “Então pode fechar a chave.”</p>			

<p>Aluna ALIEM: “Diminuiu...”</p>		<p>Análise dos dados disponíveis em tempo real no RLab.</p>	<p>Pelo tom da fala, percebemos que se tratava de um reforço de um resultado já mostrado em pesquisas anteriores, em circuitos elétricos, como uma concepção alternativa (ANDRADE et al., 2018).</p>
	<p>Professor: “Você tinha 2,22 V, caiu para 1,69 V, por que você acha que caiu?”</p>		<p>Instigar o aluno a mudar sua concepção alternativa, que envolve as relações entre a resistência equivalente de uma associação de dois resistores em paralelo, associada em série com um terceiro resistor.</p>

<p>Aluna AL1EM: “Por que a corrente estava concentrada em um só lugar, quando fechou teve que circular por todo o sistema.”</p>		<p>Análise dos dados disponíveis em tempo real no RLab.</p>	<p>A partir dessa mudança de concepção, a Aluna AL1EM conseguiu verificar que, ao passar por um nó, a corrente tende a se dividir, passando, em seguida, por dois ou mais resistores.</p>
---	--	---	---

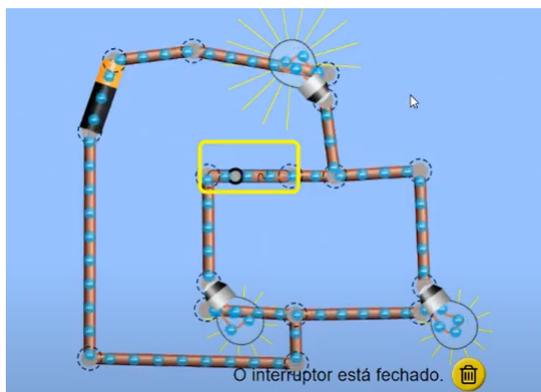
Fonte: Autor (2021).

A discussão é iniciada com uma alegação fraca pela aluna: *"vai fechar a chave"*, porém, na busca por um argumento mais bem elaborado, questiona-se o que ocorreria com os valores visualizados na tela do RLab. Continuando o diálogo da página anterior, é possível perceber que a Aluna AL1EM relaciona as variáveis resistência elétrica e diferença de potencial elétrico de forma satisfatória, assim pôde ser estabelecido que a nova alegação, que é apresentada no fim do quadro, pôde ser construída, mediante um raciocínio desenvolvido, com base nos conhecimentos adquiridos na Aula 6.

Dispondo de uma alegação agora mais sólida, o professor cria uma condição para que a aluna determine a corrente que flui pelo circuito considerado: *"Agora vamos pensar uma coisa, o que vai acontecer com o valor dessa corrente, quando fecharmos esse circuito?"*. Com esta frase, o professor busca criar uma forma de ampliar os conceitos que a Aluna AL1EM traz, com relação ao uso de uma chave liga-desliga em um circuito, sendo esse o raciocínio proposto.

Seguindo pelo diálogo e observando que a Aluna apresenta uma concepção alternativa já encontrada em pesquisas anteriores (ANDRADE et al., 2018), há então o estabelecimento de uma nova condição, comparar os valores de diferença de potencial antes e depois do fechamento da chave liga-desliga no circuito, criando condições para o desenvolvimento de um novo conhecimento, a análise da corrente elétrica que percorre circuitos mistos. Assim, a partir dessa condição, a Aluna AL1EM consegue estabelecer um conclusão sólida, percebendo que a corrente que antes estava concentrada, em apenas um lugar, agora consegue percorrer todo o circuito.

Figura 7.3 – Montagem de circuito elétrico no *PhET* para comparação ao RLab



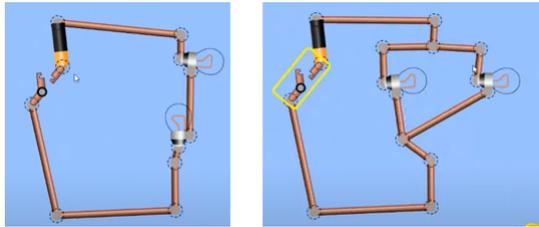
Fonte: *PhET* DC Circuitos Elétricos (2020)

Questionado então o que ocorreria com a corrente ao chegar ao nó, como resposta a Aluna propõe: “Ela divide, então vai para as duas a mesma quantidade de energia, no RLab onde tem R_0 , R_0 , R_0 , é tipo as três lâmpadas, então as duas que estão do lado assim estão como o brilho menor, ou seja, a energia que está indo para elas está sendo compartilhada por ambas, e quando chega em cima se juntam para R_0 que está em cima.”. Pela afirmação da aluna, pode-se perceber que o RLab propiciou uma discussão significativa com ela, no momento em que consegue estabelecer uma relação entre os valores visualizados em tempo real. O *PhET* também teve um papel importante, pois criou condições visuais, mesmo que de forma simbólica, da movimentação dos elétrons no fio condutor.

Circuitos residenciais não é nosso foco de pesquisa, porém a Aluna AL1EM questionou: “Então na minha casa, se eu tiver duas lâmpadas e apagar uma, a outra acesa vai brilhar mais?”. Pelo questionamento, acreditamos que os desafios propostos para utilização do RLab, foram fundamentais para que a aluna se mostrasse tão engajada como mostrou, desenvolvendo uma discussão madura e assimilando conceitos descobertos com o seu próprio cotidiano. Essa habilidade, presente na Base Normal Comum Curricular (BNCC), no item EF08CI02, cita que o aluno deva ser capaz de construir circuitos elétricos com pilha/bateria, fios e lâmpadas ou outros dispositivos e compará-los à circuitos elétricos residenciais (BRASIL, 2018).

A análise de argumentos pôde também ser utilizada, a partir da aula mediada com a Aluna AL4EF que, conforme as duas alunas anteriores (AL1EM e AL5EF), também, foi questionada sobre a função que a chave liga-desliga traria ao circuito proposto no terceiro desafio, quando ela estivesse na posição fechada. Como resposta ao questionamento, aluna apresenta a seguinte alegação: “a corrente vai aumentar, por que aí ela vai poder seguir reto... pegar mais impulso.”

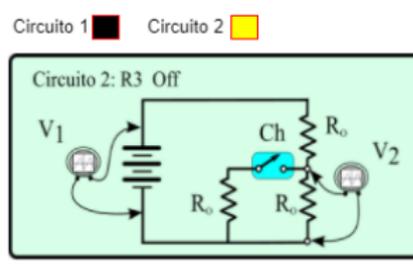
Figura 7.4 – Comparativo entre os circuitos em série e paralelo feita no *PhET* DC Circuitos Elétricos



Fonte: *PhET* DC Circuitos Elétricos (2020)

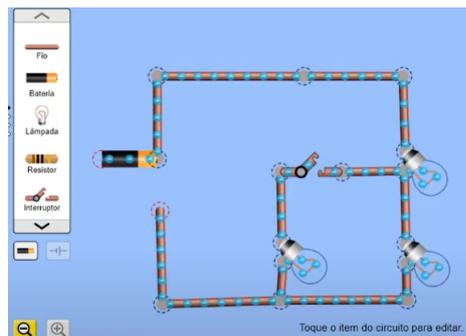
Questionando então o que a aluna define como pegar mais impulso, foi obtida a nova alegação: “*ela vai ter só que seguir reto, então é mais rápido*”. Assim a aluna também apresentou uma concepção alternativa com relação à corrente elétrica, uma vez que o “pegar impulso” seria pelo fato de a corrente estar descendo pelo circuito.

Figura 7.5 – Desafio 03 - RLab



Fonte: Laboratório Remoto de Circuitos Elétricos (RLab) (2020)

Figura 7.6 – Montagem de circuito elétrico no *PhET* para comparação ao RLab para a Aluna AL4EF



Fonte: *PhET* DC Circuitos Elétricos (2020)

Buscando uma maneira de modificar a alegação que a Aluna AL4EF apresentou, com relação à alteração da posição da chave e sua influência no circuito, será analisado o diálogo seguinte, a partir da Estrutura Argumentativa *CCnER* (SASSERON, 2020), buscando coletar indícios de modificações de concepções alternativas sobre os circuitos de corrente contínua.

Antes de ligar a chave liga-desliga, a aluna foi questionada: “*As lâmpadas irão brilhar iguais ou diferentes?*”, como resposta: “*vão brilhar iguais!*” Então foi novamente questionada:

Professor: “E a lâmpada da esquerda irá acender?”

Quadro 7.3 – Análise CCnER diálogo Aluna AL4EF - Parte 1

Alegação (C)	Condição (Cn)	Evidência (E)	Racício (R)
Aluna AL4EF: “Eu acho que não.”			
	Professor: “Se eu fechar a chave o que vai acontecer?”	Visualização do Laboratório Virtual <i>PhET</i> DC Circuitos Elétricos.	
Aluna AL4EF: “Eu acho que se eu fechar a chave uma vai brilhar mais do que a outra.”			Conclusão retirada mediante uma intuição da aluna.
	Professor: “Quais vão ter o brilho igual, ou nenhuma terá o brilho igual à outra?”		Buscar uma definição com a Aluna AL4EF de como será o brilho das lâmpadas.

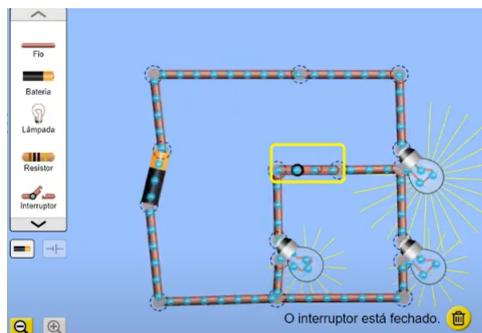
<p>Aluna AA: “Eu acho que vai ser as duas debaixo iguais e a de cima diferente, porque a de cima tem outro lugar para sair aí nas outras duas é só um "lugarzinho não tem outra entradinha", então a de cima da direita vai brilhar mais”.</p>		<p>Análise por parte da Aluna do circuito construído no Laboratório Virtual <i>PhET</i> DC Circuitos Elétricos.</p>	<p>A aluna conseguiu visualizar que o nó permitiria a divisão da corrente para as duas lâmpadas em série.</p>
---	--	---	---

Fonte: Autor (2021).

Como é perceptível, inicialmente a aluna apresenta uma alegação fraca, indicando uma dúvida em sua resposta. Para que essa alegação fosse melhor formalizada, é inserida uma condição, a de fechar a chave do circuito e um questionamento, que instigue ao aluno em melhorar sua resposta: “Se eu fechar a chave o que vai acontecer?”. A resposta proposta pela aluna indica que houve uma possível melhoria no argumento, uma vez que esta já consegue identificar, mesmo que de forma implícita, que a corrente elétrica poderia, agora, fluir por todo o circuito.

Visando descobrir se o argumento da aluna condiz com o resultado esperado fisicamente, é inserida, em seguida pelo professor uma nova condição, em forma de questionamento: “Quais vão ter o brilho igual, ou nenhuma terá o brilho igual à outra?”. Assim a aluna apresenta uma melhoria satisfatória de seu argumento: “Eu acho que vai ser as duas debaixo igual e a de cima diferente, por que a de cima tem outro lugar para sair aí nas outras duas é só um "lugarzinho não tem outra entradinha", então a de cima da direita vai brilhar mais.” Pela resposta, percebe-se que a aluna obtem um raciocínio satisfatório, uma vez que conseguiu visualizar por meio do *PhET*, que ao entrar em um nó, os elétrons buscavam dois caminhos para percorrer, tendo então como evidência, para a melhoria da alegação, a visualização do Laboratório Virtual *PhET* DC Circuitos Elétricos.

Então a chave foi fechada e o diálogo segue: “*Muito bem, mas por que isso aconteceu?*”

Figura 7.7 – Montagem de circuito elétrico no *PhET* para comparação ao RLab - Chave fechada

Fonte: *PhET* DC Circuitos Elétricos (2020)

Quadro 7.4 – Análise *CCnER* diálogo Aluna AL4EF - Parte 2

Conclusão (C)	Condição (Cn)	Evidência (E)	Racício (R)
<p>Aluna AL4EF: “Por que na de cima tem dois lugares para os elétrons passarem, esse do quadrado e tem outro que vai subindo”.</p>		<p>Análise por parte da Aluna do circuito construído no Laboratório Virtual <i>PhET</i> DC Circuitos Elétricos.</p>	<p>A aluna percebe que a corrente representada pelos elétrons (bolinhas) em movimento possui dois caminhos para passar um à direita e outro à esquerda.</p>
	<p>Professor: “Em qual ou quais as lâmpadas está(ão) recebendo maior corrente?”</p>		
<p>Aluna AL4EF: “A direita, no caso a de cima”.</p>		<p>Análise por parte da Aluna do circuito construído no Laboratório Virtual <i>PhET</i> DC Circuitos Elétricos.</p>	<p>Observação de o que ocorre com os elétrons chegarem a um nó, juntando-se e passando todos por um caminho apenas.</p>

	Professor: “A corrente nas outras duas é igual? Se você tivesse, por exemplo, a corrente da de cima passando de 1 A, nessas duas debaixo passaria quanto?”		
Aluna AA: AL4EF: “Talvez meio, porque não está com tanto brilho, porque tem a metade (da quantidade total) dos elétrons passando”.		Análise por parte da Aluna do circuito construído no Laboratório Virtual <i>PhET</i> DC Circuitos Elétricos.	Observação dos elétrons, visto que ora passam por um caminho, ora passam por outro, dando a sensação de uma divisão de corrente elétrica.

Fonte: Autor (2021).

Pela continuação das interações discursivas, observa-se que a aluna conseguiu apropriar do conceito proposto, uma vez que, como resposta à pergunta feita pelo professor, apresenta: “Porque na de cima tem dois lugares para os elétrons passarem, esse do quadradinho e tem outro que vai subindo”. Continuando o diálogo, ao criar uma condição para a aluna, percebe-se que ela conseguiu estabelecer uma relação entre a corrente elétrica que flui por cada lâmpada e o seu brilho, sendo tal alegação confirmada, quando o professor exemplifica com possíveis valores de corrente: “A corrente nas outras duas é igual? Se você tivesse, por exemplo, a corrente da de cima passando de 1 A, nessas duas debaixo passaria quanto?”. O argumento proposto pela aluna é convincente, embora contenha o termo "talvez meio", mas que, no fim, apresenta que por cada trecho estará passando metade da corrente elétrica.

Com base nessa discussão, fica evidente que a Aluna AL4EF se apropriou do conceito discutido, embora tenha encontrado dificuldades, quanto a análise quantitativa, por meio da ex-

perimentação remota no RLab, ao utilizar o *PhET* DC Circuitos Elétricos, agora de maneira qualitativa, conseguiu se apropriar do conhecimento proposto.

A partir das interações discursivas, realizadas com as três alunas citadas anteriormente, foi possível evidenciar que o Laboratório Remoto de Circuitos Elétricos, em conjunto com o Laboratório Virtual *PhET* DC Circuitos Elétricos, propiciaram grandes contribuições na busca pela realização de diálogos significativos, ao tema em questão. Visualizando os valores apresentados, em tempo real no RLab e observando a movimentação simbólica dos elétrons no *PhET*, pôde-se discutir um tema que trás grandes dificuldades, no momento de apresentação em aulas de física, a análise de circuitos mistos.

Usualmente, os alunos apresentam dificuldades em perceber que, ao passar por um nó, a corrente elétrica divide-se inversamente proporcional ao valor de cada uma das resistências em questão e, ao saírem pelo nó esta corrente elétrica se juntará e passará por total no outro resistor.

Assim, acreditamos que os dois laboratórios trabalhados em conjunto têm muito a contribuir para o ensino de circuitos elétricos na disciplina de Física.

7.2 Avaliação da usabilidade do Laboratório Remoto de Circuitos Elétricos (RLab)

Na seção anterior, foram analisadas as aulas realizadas no Laboratório Remoto de Circuitos Elétricos. A Análise de Argumentos da Estrutura *CCnER* trouxe condições de avaliar as alegações propostas por cada aluno, no momento da aula mediada.

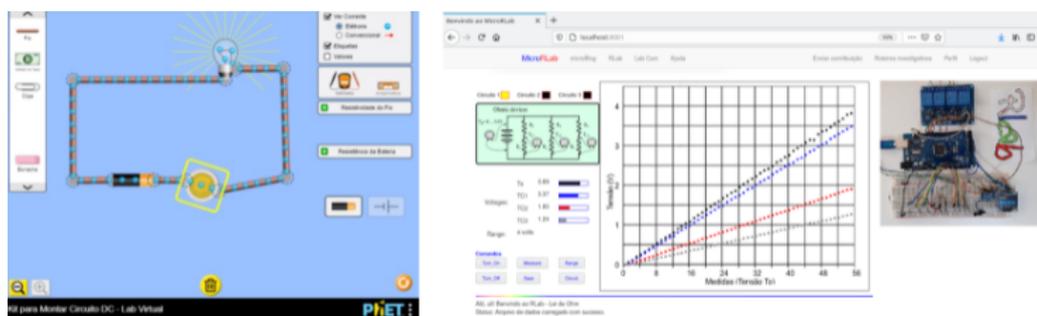
Buscando verificar a usabilidade que o RLab trouxe para cada aluno, após a aula mediada os estudantes foram direcionados à realização de um questionário composto por 13 questões.

A seguir serão apresentadas as respostas propostas pelos alunos, buscando coletar como foi a impressão dos estudantes, no momento de utilização do RLab.

As perguntas compreendem desde as dificuldades encontradas no momento das aulas, comparações a outros laboratórios (físicos ou virtuais) e sugestões de melhorias.

***Pergunta 1:** Temos duas formas de Laboratórios disponíveis na internet, os laboratórios virtuais, por exemplo o PhET e os Laboratórios em formato Remoto, como o RLab. Os Laboratórios virtuais são simulações computacionais, já os laboratórios remotos, experimentos reais. Qual dos tipos de laboratório disponíveis na internet para acesso, você consideraria melhor para sua utilização? Por quê?*

Figura 7.8 – Imagem ilustrativa para a Pergunta 1



Fonte: Google Forms (2021)

Com relação à primeira pergunta, um dos seis alunos optou pela utilização do RLab, alegando que é possível visualizar o circuito em tempo real, observando suas modificações, ao selecionar os comandos. Entre os cinco alunos que optaram pelos Laboratórios Virtuais, um respondeu que o RLab também é interessante, pelo mesmo apontamento citado acima, por possuir uma câmera ligada em tempo real, que mostra as modificações feitas no programa. Os que optaram pelos Laboratórios Virtuais justificaram suas escolhas pelos seguintes apontamentos:

- a) Os Laboratórios Virtuais (neste caso considerando o *PhET*) são de mais fácil utilização;
- b) São mais dinâmicos, chamando mais atenção;
- c) A ilustração foi mais atrativa;
- d) De fácil aprendizado.

Embora a grande maioria optasse pelo laboratório virtual, constatamos, no momento da análise das interações discursivas, que o RLab, em conjunto com o *PhET* teve um papel satisfatório, para a elaboração de argumentos sólidos, pautados conforme propõe a literatura.

Pergunta 2: *Você já teve a oportunidade de utilizar algum tipo de laboratório disponível na internet (virtuais ou remotos) em suas aulas de física? Comente sobre eles.*

A segunda pergunta buscava identificar se o aluno já tinha realizado atividades em Laboratórios disponíveis na internet, sejam eles remotos ou virtuais. Dentre os seis alunos entrevistados, cinco responderam que sim, embora suas respostas fossem baseadas em utilizações do *PhET* e RLab no decorrer de nossa Sequência Didática. Logo serão consideradas suas falas relativas às utilizações dos Laboratórios no decorrer de nossas aulas:

- a) “Eu utilizei um no ano passado para fazer algumas atividades, eles eram bem criativos e me ajudaram a aprender muitas coisas novas;”

b) “Ano passado usamos o *PhET*, quando estávamos estudando sobre condutores e isolantes. Achei bem interessante usá-lo, porque acho melhor para aprender a matéria visualizando, é bem mais dinâmico, fazendo com que me dê mais vontade de prestar atenção;”

c) “Em ambos eu tive uma ótima experiência, no laboratório virtual pra mim foi mais fácil entender e para resolver, já no laboratório remoto confesso que tive mais interesse, ele me deixou bastante intrigada;”

d) “Todos são bem explicativos e didáticos. Com o auxílio do professor fica bem fácil de utilizar;”

e) “Foram aulas mais interativas, onde o aprendizado em minha parte foi melhor e mais agradável;”

f) “A primeira vez que tive esse tipo de experiência foi com esse curso do laboratório RLab.”

Pelas respostas, temos indícios que os Laboratórios, remoto e virtuais, tornaram as aulas mais interativas, mesmo que elas tenham ocorrido de maneira remota, apontando ainda que os Laboratórios Remotos geraram situações desafiadoras, as quais intrigaram uma aluna. Outro ponto apresentado é o caráter motivacional que os Laboratórios têm a oferecer, quando trabalhados de maneira estruturada e desafiadora.

Pergunta 3: *Na ausência de um experimento físico, que possa ser utilizado manualmente, você acredita que um laboratório remoto poderia ser utilizado? Explique.*

A terceira pergunta aponta uma característica muito pertinente, em condições cuja aula presencial não ofereça possibilidade da experimentação física no ensino remoto. Sabemos que grandes são os desafios encontrados em uma experimentação física, seja por insumos, planejamento, estrutura física de laboratórios, entre outros. Esses desafios são ainda mais presentes na experimentação remota ou mesmo virtual. Nesse sentido, questionamos se os Laboratórios Remotos poderiam suprir a necessidade de um experimento físico. Os alunos entrevistados apontaram:

a) “Sim, pois com os laboratórios também é possível aprender muitas coisas novas, muitas vezes de forma mais prática;”

b) “Mesmo um experimento físico sendo melhor, na sua ausência o laboratório consegue substituí-lo, pois também dá para visualizar a matéria estudada de maneira proativa. As

vezes o laboratório pode nos mostrar algumas coisas que no experimento físico não é possível perceber;”

c) “Acredito que sim, já que a experiência foi tão real na medida do possível quanto se estivesse no próprio laboratório;”

d) “Sim, tem os mesmos recursos que um laboratório físico e pode ser usado pela turma com a mesma eficácia;”

e) “Sim, se a pessoa souber mexer direitinho acho sim que tem uma grande possibilidade de dar certo;”

f) “Sim, não vejo diferença entre um laboratório físico e um remoto. Ambos cumprem seu papel.”

Todos os alunos disseram que, embora sejam formatos de laboratórios distintos, os laboratórios físicos e remotos, são de grande importância para sua aprendizagem, para a compreensão dos conteúdos. Apresentaram ainda que os laboratórios remotos possuem recursos de monitoramento que são difíceis de se obter em um experimento físico, com medidas mais precisas. Outro ponto citado é que o laboratório remoto deve ser explicativo, tornando-se então de mais fácil utilização na ausência de um professor mediador.

Assim, constatamos que, na impossibilidade de uma experimentação física real, um laboratório remoto traria a mesma colaboração para o ensino, a citar que traria a possibilidade de acesso para qualquer pessoa que possuísse uma conexão de internet e um login de acesso.

Pergunta 4: *Ao utilizar o RLab você encontrou alguma dificuldade? Cite.*

A quarta pergunta buscava identificar as dificuldades que os discentes encontraram quanto à utilização do RLab. Os relatos serão destacados a seguir:

a) “Não;”

b) “Sim, não estava entendendo o que cada um daqueles desenhos no quadro verde (quadro de comandos) estava mostrando;”

c) “Eu tive sim algumas dificuldades por conta que eu nunca havia tido essa experiência antes;”

d) “Sim, apenas ao logar pelo endereço de IP, mas foi resolvido rapidamente;”

e) “Só no início até conseguir se acostumar com os controles;”

f) “Não.”

Com relação aos desafios propostos, não identificamos dificuldades apontadas pelos alunos, porém é importante destacar que as utilizações foram feitas de forma mediada, que a todo momento era possível o aluno dialogar e indagar o professor. Em momento anterior, percebemos que os estudantes não haviam conseguido utilizá-lo, sendo essa aula feita por apenas três dos 10 alunos pesquisados.

As maiores dificuldades citadas foram individuais, sendo dificuldade em abrir o RLab, pelo bloqueio de IP de computador de aluno; caixas de comandos como difícil compreensão de sua função, talvez, pelo fato de o aluno não traduzir para o português, mediante ao recurso de tradução do Google; e dificuldades normais que nós mesmos encontramos, quando lidamos com algo novo, mas que, aos poucos, vamos nos familiarizando, superando-as.

***Pergunta 5:** O que você sugeriria alterar para que essa dificuldade pudesse ser solucionada?*

Buscando encontrar possíveis soluções, para as dificuldades apresentadas pelos discentes, perguntamos se haveria alguma sugestão de melhoria para elas. Foram feitos os seguintes apontamentos:

- a) “Nada, na verdade, eu gostei bastante do formato do laboratório;”
- b) “Acho que não tem o que sugerir já que para mim foi mesmo questão de tempo;”
- c) “Adicionar outros meios de se acessar o site além do IP;”
- d) “Seria bom se tivesse uma legenda explicando-os;”
- e) “Passar mais vezes que vai da tudo certo;”
- f) “Não tive dificuldade.”

Entre as respostas apresentadas, podemos destacar como pontos importantes: A gestão do tempo para utilização do Laboratório Remoto; realizar mais atividades similares para que seja possível uma maior ambientação com o laboratório; uma legenda mais explicativa com relação aos comandos; e hospedar o laboratório em um site específico (este sendo um problema pontual de apenas um aluno não é tão relevante para a pesquisa).

Com relação ao primeiro ponto citado, a gestão do tempo foi algo que trouxe grande dificuldade aos estudantes, uma vez que, por ser uma atividade independente, o discente teria que gerir seu tempo e seus afazeres de maneira que pudesse realizar tudo. Na Pandemia COVID-19, enfrentada entre os anos de 2020 e 2022, muitos alunos por falta de aulas pre-

senciais, começaram a trabalhar, fato que foi colaborativo para que as atividades não fossem cumpridas em sua totalidade.

O segundo item considerado ressalta a ausência de atividades similares nas aulas regulares. Embora se tenha um número considerável de laboratórios remotos espalhados pelo mundo, poucos são os acessos por grande parte dos professores em suas aulas, em geral alegando falta de tempo para acesso, por terem que cumprir um sistema apostilado, ou ainda desconhecimento de tais recursos de aprendizagem.

Com relação aos comandos, os discentes apontaram grande dificuldades, talvez pela nomenclatura em inglês. Durante as aulas mediadas, esse problema pôde ser solucionado com o professor explicando o que cada comando representaria e a mudança que esse traria para o laboratório.

Pergunta 6: *Você teve dificuldades para utilizar os comandos (turn of, turn of, circuit...) presentes no RLab?*

Figura 7.9 – Imagem ilustrativa para a Pergunta 6



Fonte: Google Forms (2021)

Na quarta pergunta, tivemos como objetivo verificar a familiarização dos estudantes com os comandos utilizados para a manipulação do laboratório remoto. Cabe ressaltar que todos foram apresentados, no momento de nossa aula mediada, logo já tinham mais noção de o que cada comando seria responsável de fazer. Como respostas recebemos:

- a) “Não muita.”
- b) “Não, pois o Samuell me disse para que cada um serve, mas se fosse para eu usar sozinha seria bom ter uma legenda explicando a função de cada um;”
- c) “Não, com o auxílio do professor antes de utilizá-lo a utilização dele foi fácil;”
- d) “Não, com o acompanhamento do professor foi tranquilo;”
- e) “Só até descobrir para o que cada um serve;”

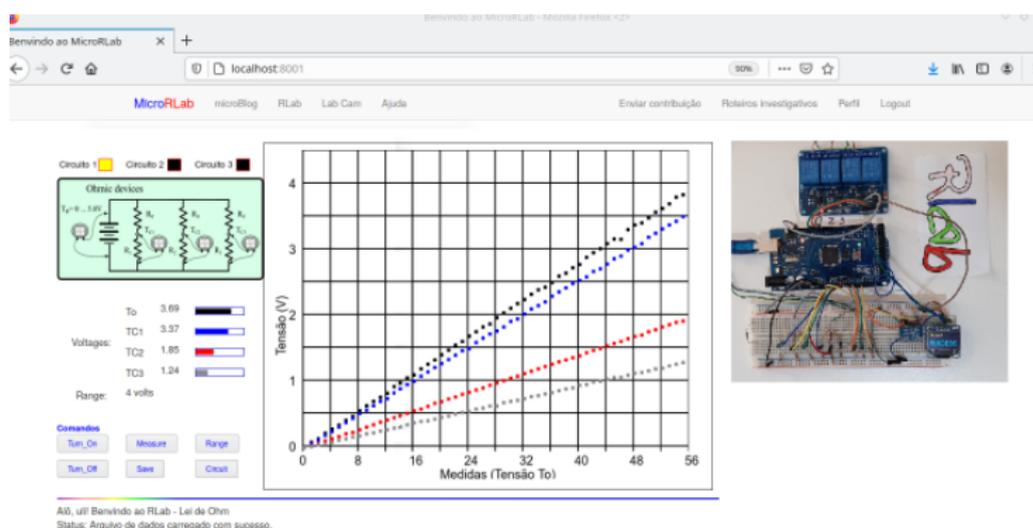
f) “Não, é bem explicativo.”

As respostas, em sua totalidade apontaram não haver dificuldade. Porém, como podemos observar, foi apontada a importância da mediação do professor, durante a experimentação remota, conforme destacamos sua importância em Cardoso e Takahashi (2011) e Matarrita e Concari (2018). Completando essa fala, caso fosse necessária a utilização do Laboratório de maneira autônoma, deveria ser mais explicativo ao discente, com comandos mais simples e atrativos.

Nesse apontamento, reforçamos a fala citada pelo aluno na pergunta cinco, caso a utilização fosse feita de forma autônoma os comandos deveriam ser mais claros aos discentes.

Pergunta 7: *Com relação à câmera? Você conseguiu acessá-la? Comente sobre sua experiência.*

Figura 7.10 – Imagem ilustrativa para a Pergunta 7



Fonte: Google Forms (2021)

A pergunta 7 buscava identificar a atratividade e efetividade da câmera que filma o RLab em tempo real, solicitando ao aluno que apresentasse qual sua impressão e possíveis dificuldades ao acessá-la. Foram então apontados:

a) “Eu consegui acessar de forma rápida, o que achei muito legal, pois geralmente temos que esperar um tempo pra acessar;”

b) “Consegui acessá-la. Tive um pouco de dificuldade de abrir a câmera e o programa ao mesmo tempo. Se fosse possível colocar a câmera no programa seria interessante, pois assim estariam numa mesma aba;”

c) “Consegui, mas estava tendo dificuldades para saber o que estava acontecendo diferente na câmera quando eu usava algum comando como ‘turn off’;”

d) “Sim, era legal ver o que acontecia com o circuito de acordo com a variação dos comandos utilizados;”

e) “Sim, consegui acessar! achei bem interessante;”

f) “Sim.”

Acreditamos que a câmera em tempo real teve muito a contribuir, na experimentação remota, uma vez que apresentava resultados instantâneos dos comandos aplicados. Um ponto pertinente apontado seria a inserção da câmera, na mesma aba do RLab, pois, caso o discente estivesse realizando a atividade do celular, não seria possível abrir duas telas, sendo essa sincronidade de comandos ineficaz.

Pergunta 8: Com relação ao login, você encontrou dificuldades de cadastro?

O login no RLab é feito de maneira muito simples, a partir do cadastro de um e-mail, escola e senha. Os logins foram realizados, no início de nossa aula mediada, sendo os alunos orientados de como proceder. Tendo em vista que a realização de um login é um item muito citado na literatura de laboratórios remotos, entre eles Cardoso e Takahashi (2011) e Matarrita e Concari (2018), questionamos se encontraram dificuldades, em sua realização, com as seguintes respostas:

a) “Não, achei bem simples e fácil, o que me agradou muito, já que não tenho tanta facilidade na computação;”

b) “Não;”

c) “Não tive nenhuma dificuldade em relação à isso;”

d) “Não, o cadastro foi bem simples;”

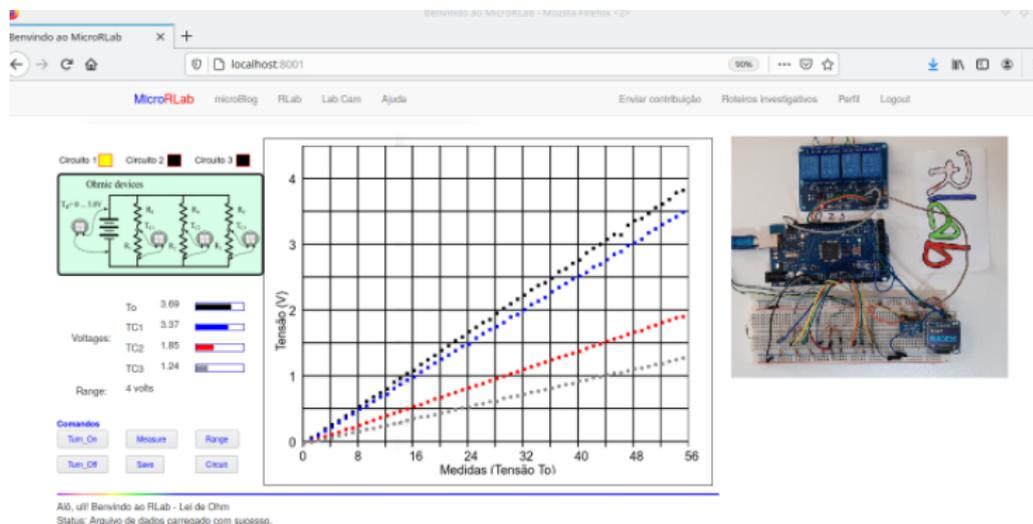
e) “Não, foi tranquilo;”

f) “Não.”

Como observamos nos relatos, os discentes não encontraram dúvidas em relação à realização de login para acesso ao RLab. Caso essa utilização fosse realizada de forma autônoma, acreditamos que também não encontrariam problemas, uma vez que este cadastrado, é realizado de forma bastante simples.

Pergunta 9: Realizamos três desafios no RLab, nos quais iríamos verificar a corrente elétrica presente em cada circuito. Você teve dificuldades na realização dos desafios? Comente.

Figura 7.11 – Imagem ilustrativa para a Pergunta 9



Fonte: Google Forms (2021)

A Pergunta 9, relacionada à realização dos desafios propostos, questionava possíveis dificuldades em sua realização. Como eles foram realizados com a mediação do professor, acreditamos que esse ponto possa amenizar um pouco as respostas apresentadas:

- “Eu tive um pouco de dificuldade com as fórmulas;”
- “No primeiro exercício tive uma pequena dificuldade, mas após a explicação do professor os outros exercício foram fáceis de se resolver;”
- “Sim. Não estava conseguindo entender o que estava sendo identificado com as setas e qual a função;”
- “No primeiro sim, já que envolvia teoria e cálculo, mas depois foi ficando mais fácil;”
- “Tive algumas dificuldades, mas com o auxílio do professor foram rapidamente explicadas;”
- “Tive bastante.”

Observamos que embora os alunos tivessem encontrado dificuldades com a manipulação da fórmula e a compreensão dos Desafios, essa foi amenizada com a mediação do professor. Na ausência do professor mediador, os alunos deveriam ter um momento em que deveria-se explicar o que é proposto em cada desafio, e o que cada comando traria de modificação para o circuito.

Pergunta 10: O que você sugeriria para superar essas dificuldades?

Buscando possíveis sugestões de melhorias as dúvidas encontradas quanto a realização dos 3 Desafios, questionamos o que poderia ser mudado, obtendo as seguintes considerações:

- a) “Acho que não tem muito o que possa ser feito em relação à minha dificuldade;”
- b) “Acho que deixar algum vídeo ou documento explicando essas possíveis dificuldades iria ajudar;”
- c) “Prestar atenção no auxílio e ajudas que o professor dá;”
- d) “Seria bom se tivesse uma legenda explicando eles;”
- e) “Rever a matéria antes de utilizá-lo;”
- f) “Nada, o problema não está nos desafios.”

Como podemos observar os desafios trouxeram algumas dúvidas para os alunos. Uma justificativa poderia ser o fato de os estudantes não se envolverem na realização das atividades anteriores, realizando-as como uma simples obrigação, talvez pela não conciliação com os demais afazeres pessoais. Citaram que a revisão da matéria poderia ajudar, indicando assim uma não apropriação de todo o conteúdo, não obtendo então uma base para realização dos desafios.

Outra possível solução, conforme relato, seria a inserção de legendas explicativas para a imagem de cada desafio, indicando o que seriam os voltímetros, qual a sua aplicação e o que estariam medindo. Embora os valores aparecessem abaixo da caixa de comandos, durante as mediações, apresentaram muita dificuldade de compreender onde na tela apareceriam tais valores.

Como realizamos uma aula mediada, um relato ficou evidente, “prestar atenção no auxílio e ajudas que o professor dá”. Quanto à essa fala, é importante ressaltar que, em uma prática autônoma, a aluna poderia ter dificuldades em compreender o que estaria sendo proposto, apontando então uma possível reformulação da forma dos Desafios.

Pergunta 11: *Se você resolvesse as atividades do RLab sozinho(a), a partir de um roteiro, você teria alguma dificuldade? Comente.*

Ainda citando possíveis dificuldades encontradas durante a realização dos Desafios no RLab, a Pergunta 11, buscava compreender se o aluno teria autonomia em realizar as atividades sozinho. A seguir apresentamos as respostas recebidas:

- a) “Eu teria muitas dificuldades para entender as fórmulas e usá-las;”
- b) “As atividades acho que não tanto, mas se as últimas atividades tivessem que ser pelo roteiro eu teria sim dificuldades;”

c) “Sim, teria dificuldade para saber para que serve aqueles controles e em interpretar o quadrinho verde;”

d) “Acho que sim, pois não sou muito boa em tecnologias, mas o site é bem explicativo;”

e) “Não, com as devidas explicações a resolução das atividades seria simples;”

f) “Sozinha com certeza eu teria dificuldade.”

Podemos identificar pelas falas que os alunos tiveram dificuldades em acompanhar o que estaria sendo solicitado descobrirem, o valor do Resistor desconhecido, sendo obtido a partir do cálculo de corrente elétrica em cada circuito. O roteiro se mostrou de difícil compreensão para os estudantes, sendo possível uma posterior adequação ao mesmo, para que as experimentações possam ser realizadas com maior destreza para o discente.

***Pergunta 12:** Nós utilizamos o RLab de forma mediada, ou seja, fomos trocando ideias para a realização dos desafios propostos. Em uma posterior utilização, como você descreveria o papel do professor na utilização do Laboratório?*

A Pergunta 12 buscava levantar considerações sobre o papel do professor mediador na experimentação remota. Logo foram feitos os seguintes comentários:

a) “Poderia ser da mesma forma, gosto muito dessa forma de ensino, e consigo aprender mais com ela;”

b) “Eu diria que foi um ótimo papel, já que sempre que estava com alguma dúvida ele respondia com a maior rapidez possível;”

c) “Muito importante, para me auxiliar precisei da ajuda do professor e acho muito importante essa interação;”

d) “O professor deveria utilizar o Laboratório para uma aula prática e apresentar exemplos;”

e) “Utilizar do RLab como explicações e exemplos para a explicação da matéria;”

f) “Essencial.”

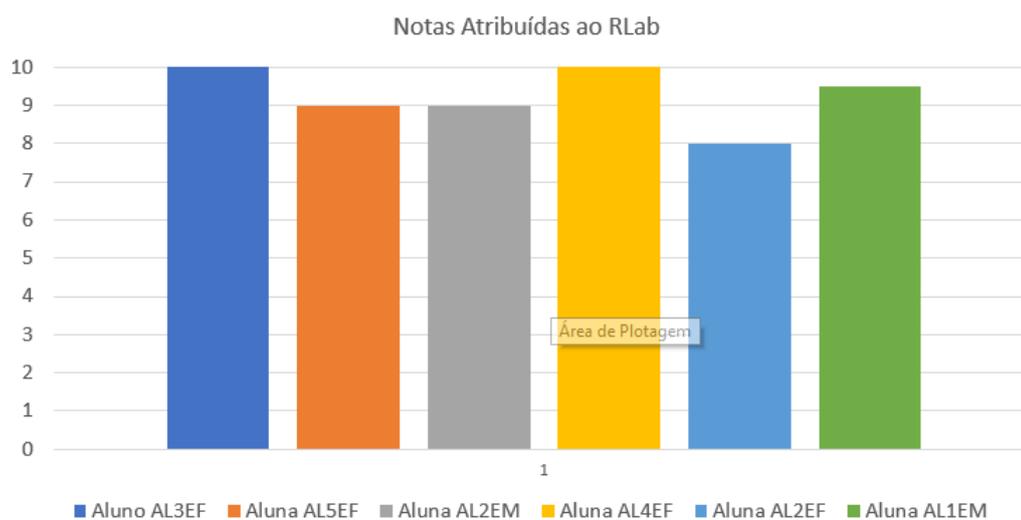
Conforme os relatos, notamos a importância que os discentes deram a presença de um professor mediador à sua prática laboratorial remota. Sabemos que essa fala de o aluno ser protagonista do seu aprendizado está muito presente no âmbito educacional, logo acreditamos que cabe ao professor mediar, ao contrário de ensinar, pois conhecimento não pode ser transmitido mas, sim desenvolvido, assim como as habilidades e competências são individuais de cada aluno.

Acreditamos que com esse momento de mediação podemos propiciar ao aluno um momento individualizado de aquisição de conhecimento, uma abertura de discussão, gerando grande aprendizado e um apoio quando surgirem dúvidas pontuais. Porém é importante salientarmos que a presença de um professor mediador é algo que envolve muitas transformações. Nosso sistema educacional está aos poucos mudando sua filosofia, de professor transmissor de conteúdo para professor mediador.

Pergunta 13: *Por fim, atribua uma nota de 0 a 10, ao RLab.*

Por fim, para quantificar, mesmo que maneira superficial, solicitamos que os alunos avaliassem o RLab com notas variando entre 0 e 10. O gráfico, a seguir apresenta estas pontuações atribuídas pelos seis alunos entrevistados.

Figura 7.12 – Avaliação realizada pelos alunos quanto a sua utilização do RLab



Fonte: Google Forms (2021)

A partir da análise das notas atribuídas, notamos que os discentes gostaram da proposta apresentada de Laboratório Remoto, uma vez que a nota média foi de 9,3. Embora seja uma informação superficial, podemos acrescentá-la aos relatos apresentados, nas questões antecedentes, apontando que os alunos gostaram de realizar a aula em fomato mediado e da utilização do RLab, em substituição à uma prática física, embora apontem que, ao comparar com o *PhET*, alegam este último ser mais visual e atrativo.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Preparamos e desenvolvemos uma Sequência Didática com o objetivo de desenvolver o tópico de eletricidade, com ênfase no conceito de corrente elétrica. Esta proposta foi prevista para os estudantes do 9º ano do Ensino Fundamental e 2º ano do Ensino Médio. A SD contou com um total de oito aulas, disponibilizadas em um Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA), em intervalos de três ou quatro dias. Com o decorrer das aulas, percebemos que os estudantes tiveram algumas dificuldades de planejar sua rotina de estudos, acompanhar as postagens e entregar as devolutivas no tempo adequado, o que provocou uma perda considerável no aprendizado sobre o tema proposto, a corrente elétrica.

No Capítulo 6, "Relato do Desenvolvimento da Sequência Didática", foi evidente uma redução do número de estudantes que estavam realizando as atividades ao longo das oito aulas. Essa não realização comprometeu a preparação dos estudantes para a utilização do Laboratório Remoto de Circuitos Elétricos (RLab). Esse fato foi constatado, quando apenas um estudante realizou a Aula 7, com autonomia. Assim, percebemos que essa aula ocorreria com maior eficácia, de forma mediada pelo professor.

Planejamos e agendamos com os discentes a utilização do RLab - O Laboratório Remoto de Circuitos Elétricos e Lei de Ohm, com a finalidade de analisar, por meio dos diálogos, quais os caminhos argumentativos os estudantes trilharam para chegar à resposta final. Conforme já esperávamos, de acordo com os relatos de literatura apresentados, em nosso referencial bibliográfico, os desafios de uma experimentação remota eram diversos: uma infraestrutura de rede que atendesse, de maneira satisfatória, à visualização e manipulação do experimento; dificuldades em compreender a interface e os comandos a serem executados e em entender o que lhes é desafiado; agendamento para realização do experimento (que embora esteja disponível 24 horas por dia, todos os dias da semana, ainda dependa de um servidor, que, em algum momento, pode sofrer paradas inesperadas, até mesmo pela chuva); tempo para realização do experimento pré-definido ou não; um roteiro investigativo que tenha o potencial instigador desafiando o estudante a querer buscar uma solução; e ainda, dedicação do estudante em realizar a tarefa com o empenho esperado.

Nesta pesquisa, focamos na análise dos argumentos apresentados na utilização do RLab. A partir da realização das aulas mediadas no RLab, buscamos por evidências que apontassem respostas para a seguinte pergunta: "os Laboratórios Remotos são instrumentos eficazes, para realização de práticas experimentais no Ensino de Física na busca pelo aprendizado?"

Constatamos que os estudantes se mostraram mais engajados com a realização da aula mediada, uma vez que dispunham de um orientador "ao lado". Seis estudantes se prontificaram a utilizar o Laboratório Remoto em dias e horários definidos, de acordo com o professor/estudante. Os discursos transcritos e analisados, com base na Análise de Argumentos *CCnER*, mostraram que a atividade mediada criou possibilidades de melhoria argumentativa dos discentes, tornando argumentos antes fracos em argumentos mais bem elaborados, conforme o conceito físico. Esta forma de atividade colaborou também para que as aulas anteriores fossem lembradas e, com isso, novas ligações fossem estabelecidas aos conhecimentos prévios de cada estudante.

Embora os discentes tenham apontado que os Laboratórios Virtuais sejam mais atrativos que os Laboratórios Remotos, acreditamos que o RLab possui seu potencial, propiciando discussões satisfatórias, geradas por aulas mediadas. Na utilização do RLab, em paralelo ao *PhET*, foi possível notar que o visual do segundo laboratório chamou mais atenção, uma vez que seria possível observar de forma representativa os elétrons se movendo no interior do fio condutor. Para um dos estudantes, a câmera em tempo real foi um atrativo do RLab, uma vez que era possível acompanhar qual circuito estaria sendo analisado, pelo brilho dos LED's e mensagens que apareciam na tela do Arduino.

Por mais que encontremos diversos Laboratórios Remotos espalhados por todo o mundo, conforme realizamos e apresentamos nossas pesquisas, carecíamos de resultados que apontassem sua real efetividade no processo de ensino e de aprendizagem, reforçando então a importância de nosso trabalho. A atual pesquisa, ao verificar a efetividade do RLab, ao fomentar argumentações dos estudantes, contribui positivamente para corroborar a relevância de Laboratórios Remotos no ensino de Física.

Temos muitos desafios com a Experimentação Remota, mas acreditamos que ela tem sim, um grande potencial no Ensino de Física. O RLab pode ser utilizado então para três segmentos da educação: estudantes dos anos finais do Ensino Fundamental (possuindo os conceitos prévios necessários para a realização do experimento, com um roteiro experimental adequado a sua faixa etária e de conhecimento); estudantes de nível médio (contemplando os três anos do Ensino Médio) e estudantes do Ensino Superior, em cursos de Engenharias e licenciaturas em áreas de Física e afins, que possuem em sua grade curricular disciplinas, que abordem temas como corrente elétrica, diferença de potencial elétrico e resistência.

Os diálogos colhidos e apresentados, em nossos resultados trazem essa visão da potencialidade que o RLab tem a contribuir para o Ensino de Física, quando em momentos de discussão os estudantes puderam perceber que aquele desafio que fora proposto poderia ser associado em seu cotidiano, como uma ligação elétrica de duas lâmpadas em sua casa, reforçando o conceito de que se o estudante consegue associar um experimento ao seu dia a dia, podemos dizer então que esse obteve um aprendizado significativo.

Percebemos que o AVA pode ser um instrumento de ensino e de aprendizagem muito útil em situações similares a que presenciamos nesses anos de Pandemia, não só para cursos superiores (como é amplamente utilizado) mas, também para cursos do Ensino Fundamental e Médio. Reforçamos então que o professor mediador deva estar, em todos os momentos presentes, durante a realização do curso, motivando, questionando, acompanhando, se possível o desenvolvimento individual dos estudantes, para que possa intervir em seu aprendizado, na busca constante pela ampliação do conhecimento de seu estudante.

Embora ainda carregamos resquícios de uma Pandemia, com lembranças pesarosas dos dois últimos anos, trazemos também a esperança de que a educação possa melhorar e muito, tendo o seu devido reconhecimento e importância na formação do sujeito, tendo seu caráter formador de uma pessoa atuante em sua sociedade na busca por um mundo melhor. Com essas atividades realizadas, possibilitamos uma maneira, para que nossos estudantes possam ser protagonistas de seu aprendizado, mudando aquela visão estereotipada de um professor à frente, que detêm toda a razão e colocando, em seu lugar, a premissa de que cada estudante possa construir o aprendizado no seu tempo, de acordo com os seus conceitos subsunçores.

Concluimos, então, com o desejo de que esse trabalho possa ser orientativo para posteriores pesquisas na área, trazendo reflexões em como podemos realizar práticas experimentais e investigativas, não dispendo de kits educacionais de grande valor, mas, sim, materiais de baixo custo e, ainda, podendo realizar esse experimento do aconchego de seu lar, em seu tempo, em sua hora.

Com esta dissertação finalizamos com a ideia de que o sujeito não deva ser imutável, porém, deva ser alguém que possa transformar sua maneira de pensar e lecionar, trazendo, cada vez mais, o estudante em contato com o saber. Citamos ainda que o conteúdo abordado em questão, não deva ser superior às habilidades individuais adquiridas pelo estudante, mas, sim, aliado no processo de aprendizado.

9 ANEXOS

Quadro 9.1 – Entrevista com a Aluna AL5EF

<p>Pergunta 01: Temos duas formas de Laboratórios disponíveis na internet, os laboratórios virtuais, por exemplo o <i>PhET</i> e os Laboratórios em formato Remoto, como o RLab. Os Laboratórios virtuais são simulações computacionais, já os laboratórios remotos, experimentos reais. Qual dos tipos de laboratório disponíveis na internet para acesso, você consideraria melhor para sua utilização? Por quê?</p>	<p>O RLab, gosto, pois, mostra o aparelho, e de acordo com suas modificações na parte digital o aparelho também muda.</p>
<p>Pergunta 02: Você já teve a oportunidade de utilizar algum tipo de laboratório disponível na internet (virtuais ou remotos) em suas aulas de física? Comente sobre eles.</p>	<p>Sim, todos são bem explicativos e didáticos. Com o auxílio do professor fica bem fácil de utilizar!</p>
<p>Pergunta 03: Na ausência de um experimento físico, que possa ser utilizado manualmente, você acredita que um laboratório remoto poderia ser utilizado? Explique.</p>	<p>Sim, tem os mesmos recursos que um laboratório físico e pode ser usado pela turma com a mesma eficácia.</p>
<p>Pergunta 04: Ao utilizar o RLab você encontrou alguma dificuldade? Cite.</p>	<p>Não.</p>
<p>Pergunta 05: O que você sugeriria alterar para que essa dificuldade pudesse ser solucionada?</p>	<p>Não tive dificuldade.</p>
<p>Pergunta 06: Você teve dificuldades para utilizar os comandos (<i>turn of, turn of, circuit...</i>) presentes no RLab?</p>	<p>Não, é bem explicativo.</p>
<p>Pergunta 07: Com relação à câmera? Você conseguiu acessá-la? Comente sobre sua experiência.</p>	<p>Sim, consegui acessar! Achei bem interessante.</p>
<p>Pergunta 08: Com relação ao login, você encontrou dificuldades de cadastro?</p>	<p>Não.</p>

<p>Pergunta 09: Realizamos 3 desafios no RLab, nos quais iríamos verificar a corrente elétrica presente em cada circuito. Você teve dificuldades na realização dos desafios? Comente.</p>	<p>No primeiro sim, já que envolvia teoria e cálculo, mas depois foi ficando mais fácil.</p>
<p>Pergunta 10: O que você sugeriria para superar essas dificuldades?</p>	<p>Prestar atenção no auxílio e ajudas que o professor da.</p>
<p>Pergunta 11: Se você resolvesse as atividades do RLab sozinho, a partir de um roteiro, você teria alguma dificuldade? Comente.</p>	<p>Acho que sim, pois não sou muito boa em tecnologias, mas o site é bem explicativo.</p>
<p>Pergunta 12: Nós utilizamos o RLab de forma mediada, ou seja, fomos trocando ideias para a realização dos desafios propostos. Em uma posterior utilização, como você descreveria o papel do professor na utilização do Laboratório?</p>	<p>Muito importante, para me auxiliar precisei da ajuda do professor e acho muito importante essa interação!</p>
<p>Pergunta 13: Por fim, atribua uma nota de 0 a 10, ao RLab.</p>	<p>9.</p>

Fonte: Autor (2021).

Quadro 9.2 – Entrevista com a Aluna ALIEM

<p>Pergunta 01: Temos duas formas de Laboratórios disponíveis na internet, os laboratórios virtuais, por exemplo o <i>PhET</i> e os Laboratórios em formato Remoto, como o RLab. Os Laboratórios virtuais são simulações computacionais, já os laboratórios remotos, experimentos reais. Qual dos tipos de laboratório disponíveis na internet para acesso, você consideraria melhor para sua utilização? Por quê?</p>	<p>Eu gostei mais do <i>PhET</i> porque a ilustração é melhor e também é mais fácil e rápido de aprender.</p>
<p>Pergunta 02: Você já teve a oportunidade de utilizar algum tipo de laboratório disponível na internet (virtuais ou remotos) em suas aulas de física? Comente sobre eles.</p>	<p>Não, a primeira vez que tive esse tipo de experiência foi com esse curso do laboratório RLab.</p>
<p>Pergunta 03: Na ausência de um experimento físico, que possa ser utilizado manualmente, você acredita que um laboratório remoto poderia ser utilizado? Explique.</p>	<p>Acredito que sim, já que a experiência foi tão real na medida do possível quanto se estivesse no próprio laboratório.</p>
<p>Pergunta 04: Ao utilizar o RLab você encontrou alguma dificuldade? Cite.</p>	<p>Só no início até conseguir se acostumar com os controles.</p>
<p>Pergunta 05: O que você sugeriria alterar para que essa dificuldade pudesse ser solucionada?</p>	<p>Acho que não tem o que sugerir já que para mim foi mesmo questão de tempo.</p>
<p>Pergunta 06: Você teve dificuldades para utilizar os comandos (<i>turn of, turn of, circuit...</i>) presentes no RLab?</p>	<p>Só até descobrir para o que cada um serve.</p>
<p>Pergunta 07: Com relação à câmera? Você conseguiu acessá-la? Comente sobre sua experiência.</p>	<p>Consegui, mas estava tendo dificuldades para saber o que estava acontecendo diferente na câmera quando eu usava algum comando como "<i>turn off</i>".</p>
<p>Pergunta 08: Com relação ao login, você encontrou dificuldades de cadastro?</p>	<p>Não tive nenhuma dificuldade em relação à isso.</p>

<p>Pergunta 09: Realizamos 3 desafios no RLab, nos quais iríamos verificar a corrente elétrica presente em cada circuito. Você teve dificuldades na realização dos desafios? Comente.</p>	<p>Tive algumas dificuldades, mas com o auxílio do professor foram rapidamente explicadas.</p>
<p>Pergunta 10: O que você sugeriria para superar essas dificuldades?</p>	<p>Acho que deixar algum vídeo ou documento explicando essas possíveis dificuldades iria ajudar.</p>
<p>Pergunta 11: Se você resolvesse as atividades do RLab sozinho, a partir de um roteiro, você teria alguma dificuldade? Comente.</p>	<p>As atividades acho que não tanto, mas se as últimas atividades tivessem que ser pelo roteiro eu teria sim dificuldades.</p>
<p>Pergunta 12: Nós utilizamos o RLab de forma mediada, ou seja, fomos trocando ideias para a realização dos desafios propostos. Em uma posterior utilização, como você descreveria o papel do professor na utilização do Laboratório?</p>	<p>Eu diria que foi um ótimo papel, já que sempre que estava com alguma dúvida ele respondia com a maior rapidez possível.</p>
<p>Pergunta 13: Por fim, atribua uma nota de 0 a 10, ao RLab.</p>	<p>9,5.</p>

Fonte: Autor (2021).

Quadro 9.3 – Entrevista com a Aluna AL2EM

<p>Pergunta 01: Temos duas formas de Laboratórios disponíveis na internet, os laboratórios virtuais, por exemplo o <i>PhET</i> e os Laboratórios em formato Remoto, como o RLab. Os Laboratórios virtuais são simulações computacionais, já os laboratórios remotos, experimentos reais. Qual dos tipos de laboratório disponíveis na internet para acesso, você consideraria melhor para sua utilização? Por quê?</p>	<p>Eu achei os laboratórios virtuais mais fáceis e menos complicados de entender então se fosse pra escolher um com certeza seria esse.</p>
<p>Pergunta 02: Você já teve a oportunidade de utilizar algum tipo de laboratório disponível na internet (virtuais ou remotos) em suas aulas de física? Comente sobre eles.</p>	<p>Sim, em ambos eu tive uma ótima experiência no laboratório virtual pra mim foi mais fácil entender e pra resolver já no laboratório remoto confesso que tive mais interesse ele me deixou bastante intrigada.</p>
<p>Pergunta 03: Na ausência de um experimento físico, que possa ser utilizado manualmente, você acredita que um laboratório remoto poderia ser utilizado? Explique.</p>	<p>Sim, se a pessoa souber mexer direitinho acho sim que tem uma grande possibilidade de dar certo.</p>
<p>Pergunta 04: Ao utilizar o RLab você encontrou alguma dificuldade? Cite.</p>	<p>Eu tive sim algumas dificuldades por conta que eu nunca havia tido essa experiência antes.</p>
<p>Pergunta 05: O que você sugeriria alterar para que essa dificuldade pudesse ser solucionada?</p>	<p>Passa mais vezes que vai da tudo certo.</p>
<p>Pergunta 06: Você teve dificuldades para utilizar os comandos (<i>turn of, turn of, circuit...</i>) presentes no RLab?</p>	<p>Não, com o acompanhamento do professor foi tranquilo.</p>
<p>Pergunta 07: Com relação à câmera? Você conseguiu acessá-la? Comente sobre sua experiência.</p>	<p>Sim.</p>
<p>Pergunta 08: Com relação ao login, você encontrou dificuldades de cadastro?</p>	<p>Não, foi tranquilo.</p>

<p>Pergunta 09: Realizamos 3 desafios no RLab, nos quais iríamos verificar a corrente elétrica presente em cada circuito. Você teve dificuldades na realização dos desafios? Comente.</p>	<p>Tive bastante.</p>
<p>Pergunta 10: O que você sugeriria para superar essas dificuldades?</p>	<p>Nada, o problema não “ta” nos desafios.</p>
<p>Pergunta 11: Se você resolvesse as atividades do RLab sozinho, a partir de um roteiro, você teria alguma dificuldade? Comente.</p>	<p>Sozinha com certeza eu teria dificuldade.</p>
<p>Pergunta 12: Nós utilizamos o RLab de forma mediada, ou seja, fomos trocando ideias para a realização dos desafios propostos. Em uma posterior utilização, como você descreveria o papel do professor na utilização do Laboratório?</p>	<p>Essencial.</p>
<p>Pergunta 13: Por fim, atribua uma nota de 0 a 10, ao RLab.</p>	<p>9.</p>

Fonte: Autor (2021).

Quadro 9.4 – Entrevista com o Aluno AL3EF

<p>Pergunta 01: Temos duas formas de Laboratórios disponíveis na internet, os laboratórios virtuais, por exemplo o <i>PhET</i> e os Laboratórios em formato Remoto, como o RLab. Os Laboratórios virtuais são simulações computacionais, já os laboratórios remotos, experimentos reais. Qual dos tipos de laboratório disponíveis na internet para acesso, você consideraria melhor para sua utilização? Por quê?</p>	<p>Os laboratórios virtuais, acho o laboratório virtual mais simples de se usar do que o laboratório remoto.</p>
<p>Pergunta 02: Você já teve a oportunidade de utilizar algum tipo de laboratório disponível na internet (virtuais ou remotos) em suas aulas de física? Comente sobre eles.</p>	<p>Sim, foram aulas mais interativas, onde o aprendizado em minha parte foi melhor e mais agradável.</p>
<p>Pergunta 03: Na ausência de um experimento físico, que possa ser utilizado manualmente, você acredita que um laboratório remoto poderia ser utilizado? Explique.</p>	<p>Sim, não vejo diferença entre um laboratório físico e um remoto. Ambos cumprem seu papel.</p>
<p>Pergunta 04: Ao utilizar o RLab você encontrou alguma dificuldade? Cite.</p>	<p>Sim, apenas ao logar pelo endereço de IP, mas foi resolvido rapidamente.</p>
<p>Pergunta 05: O que você sugeriria alterar para que essa dificuldade pudesse ser solucionada?</p>	<p>Adicionar outros meios de se acessar o site além do IP.</p>
<p>Pergunta 06: Você teve dificuldades para utilizar os comandos (<i>turn of, turn of, circuit...</i>) presentes no RLab?</p>	<p>Não, com o auxílio do professor antes de utilizá-lo a utilização dele foi fácil.</p>
<p>Pergunta 07: Com relação à câmera? Você conseguiu acessá-la? Comente sobre sua experiência.</p>	<p>Sim, era legal ver o que acontecia com o circuito de acordo com a variação dos comandos utilizados.</p>
<p>Pergunta 08: Com relação ao login, você encontrou dificuldades de cadastro?</p>	<p>Não, o cadastro foi bem simples.</p>

<p>Pergunta 09: Realizamos 3 desafios no RLab, nos quais iríamos verificar a corrente elétrica presente em cada circuito. Você teve dificuldades na realização dos desafios? Comente.</p>	<p>No primeiro exercício tive uma pequena dificuldade, mas após a explicação do professor os outros exercícios foram fáceis de se resolver.</p>
<p>Pergunta 10: O que você sugeriria para superar essas dificuldades?</p>	<p>Rever a matéria antes de utilizá-lo.</p>
<p>Pergunta 11: Se você resolvesse as atividades do RLab sozinho, a partir de um roteiro, você teria alguma dificuldade? Comente.</p>	<p>Não, com as devidas explicações a resolução das atividades seria simples.</p>
<p>Pergunta 12: Nós utilizamos o RLab de forma mediada, ou seja, fomos trocando ideias para a realização dos desafios propostos. Em uma posterior utilização, como você descreveria o papel do professor na utilização do Laboratório?</p>	<p>Utilizar do RLab como explicações e exemplos para a explicação da matéria.</p>
<p>Pergunta 13: Por fim, atribua uma nota de 0 a 10, ao RLab.</p>	<p>9.</p>

Fonte: Autor (2021).

Quadro 9.5 – Entrevista com a Aluna AL4EF

<p>Pergunta 01: Temos duas formas de Laboratórios disponíveis na internet, os laboratórios virtuais, por exemplo o <i>PhET</i> e os Laboratórios em formato Remoto, como o RLab. Os Laboratórios virtuais são simulações computacionais, já os laboratórios remotos, experimentos reais. Qual dos tipos de laboratório disponíveis na internet para acesso, você consideraria melhor para sua utilização? Por quê?</p>	<p>O primeiro, pois eu consigo compreender melhor quando utilizei ele.</p>
<p>Pergunta 02: Você já teve a oportunidade de utilizar algum tipo de laboratório disponível na internet (virtuais ou remotos) em suas aulas de física? Comente sobre eles.</p>	<p>Sim, eu utilizei um no ano passado para fazer algumas atividades, eles eram bem criativos e me ajudaram a aprender muitas coisas novas.</p>
<p>Pergunta 03: Na ausência de um experimento físico, que possa ser utilizado manualmente, você acredita que um laboratório remoto poderia ser utilizado? Explique.</p>	<p>Sim, pois com os laboratórios também é possível aprender muitas coisas novas, muitas vezes de forma mais prática.</p>
<p>Pergunta 04: Ao utilizar o RLab você encontrou alguma dificuldade? Cite.</p>	<p>Não.</p>
<p>Pergunta 05: O que você sugeriria alterar para que essa dificuldade pudesse ser solucionada?</p>	<p>Nada, na verdade, eu gostei bastante do formato do laboratório.</p>
<p>Pergunta 06: Você teve dificuldades para utilizar os comandos (<i>turn of, turn of, circuit...</i>) presentes no RLab?</p>	<p>Não muita.</p>
<p>Pergunta 07: Com relação à câmera? Você conseguiu acessá-la? Comente sobre sua experiência.</p>	<p>Eu consegui acessar de forma rápida, o que achei muito legal, pois geralmente temos que esperar um tempo pra acessar.</p>
<p>Pergunta 08: Com relação ao login, você encontrou dificuldades de cadastro?</p>	<p>Não, achei bem simples e fácil, o que me agradau muito, já que não tenho tanta facilidade na computação.</p>

<p>Pergunta 09: Realizamos 3 desafios no RLab, nos quais iríamos verificar a corrente elétrica presente em cada circuito. Você teve dificuldades na realização dos desafios? Comente.</p>	<p>Eu tive um pouco de dificuldade com as fórmulas.</p>
<p>Pergunta 10: O que você sugeriria para superar essas dificuldades?</p>	<p>Acho que não tem muito o que possa ser feito em relação à minha dificuldade.</p>
<p>Pergunta 11: Se você resolvesse as atividades do RLab sozinho, a partir de um roteiro, você teria alguma dificuldade? Comente.</p>	<p>Sim, eu teria muitas dificuldades para entender as fórmulas e usá-las.</p>
<p>Pergunta 12: Nós utilizamos o RLab de forma mediada, ou seja, fomos trocando ideias para a realização dos desafios propostos. Em uma posterior utilização, como você descreveria o papel do professor na utilização do Laboratório?</p>	<p>Poderia ser da mesma forma, gosto muito dessa forma de ensino, e consigo aprender mais com ela.</p>
<p>Pergunta 13: Por fim, atribua uma nota de 0 a 10, ao RLab.</p>	<p>10.</p>

Fonte: Autor (2021).

Quadro 9.6 – Entrevista com a Aluna AL2EF

<p>Pergunta 01: Temos duas formas de Laboratórios disponíveis na internet, os laboratórios virtuais, por exemplo o <i>PhET</i> e os Laboratórios em formato Remoto, como o RLab. Os Laboratórios virtuais são simulações computacionais, já os laboratórios remotos, experimentos reais. Qual dos tipos de laboratório disponíveis na internet para acesso, você consideraria melhor para sua utilização? Por quê?</p>	<p><i>PhET</i>. Porque acho ele mais dinâmico (chama mais atenção) e é mais fácil de mexer. Mesmo assim, o outro também é muito interessante! principalmente, por ter uma câmera mostrando em tempo real as modificações feitas no programa.</p>
<p>Pergunta 02: Você já teve a oportunidade de utilizar algum tipo de laboratório disponível na internet (virtuais ou remotos) em suas aulas de física? Comente sobre eles.</p>	<p>Sim, ano passado usamos o <i>PhET</i>, quando estávamos estudando sobre condutores e isolantes. Achei bem interessante usá-lo, porque acho melhor para aprender a matéria visualizando, é bem mais dinâmico, fazendo com que me dê mais vontade de prestar atenção.</p>
<p>Pergunta 03: Na ausência de um experimento físico, que possa ser utilizado manualmente, você acredita que um laboratório remoto poderia ser utilizado? Explique.</p>	<p>Sim. Mesmo um experimento físico sendo melhor, na sua ausência o laboratório consegue substituí-lo pois também dá para visualizar a matéria estudada de maneira proativa. As vezes o laboratório pode nos mostrar algumas coisas que no experimento físico não é possível perceber.</p>
<p>Pergunta 04: Ao utilizar o RLab você encontrou alguma dificuldade? Cite.</p>	<p>Sim. Não estava entendendo o que cada um daqueles desenhos no quadro verde estava mostrando.</p>
<p>Pergunta 05: O que você sugeriria alterar para que essa dificuldade pudesse ser solucionada?</p>	<p>Seria bom se tivesse uma legenda explicando eles.</p>

<p>Pergunta 06: Você teve dificuldades para utilizar os comandos (<i>turn of, turn of, circuit...</i>) presentes no RLab?</p>	<p>Não, pois o Samuell me disse para que cada um serve, mas se fosse para eu usar sozinha seria bom ter uma legenda explicando a função de cada um.</p>
<p>Pergunta 07: Com relação à câmera? Você conseguiu acessá-la? Comente sobre sua experiência.</p>	<p>Consegui acessá-la. Tive um pouco de dificuldade de abrir a câmera e o programa ao mesmo tempo. Se fosse possível colocar a câmera no programa seria interessante, pois assim estariam numa mesma aba.</p>
<p>Pergunta 08: Com relação ao login, você encontrou dificuldades de cadastro?</p>	<p>Não.</p>
<p>Pergunta 09: Realizamos 3 desafios no RLab, nos quais iríamos verificar a corrente elétrica presente em cada circuito. Você teve dificuldades na realização dos desafios? Comente.</p>	<p>Sim. Não estava conseguindo entender o que estava sendo identificado com as setas e qual a função.</p>
<p>Pergunta 10: O que você sugeriria para superar essas dificuldades?</p>	<p>Seria bom se tivesse uma legenda explicando eles.</p>
<p>Pergunta 11: Se você resolvesse as atividades do RLab sozinha, a partir de um roteiro, você teria alguma dificuldade? Comente.</p>	<p>Sim. Teria dificuldade para saber para que serve aqueles controles e em interpretar o quadrinho verde.</p>
<p>Pergunta 12: Nós utilizamos o RLab de forma mediada, ou seja, fomos trocando ideias para a realização dos desafios propostos. Em uma posterior utilização, como você descreveria o papel do professor na utilização do Laboratório?</p>	<p>O professor deveria utilizar o Laboratório para uma aula prática e apresentar exemplos.</p>
<p>Pergunta 13: Por fim, atribua uma nota de 0 a 10, ao RLab.</p>	<p>8.</p>

REFERÊNCIAS

- ADÚRIZ-BRAVO, A.; R., C. A. Language, discourse, argumentation, and science education. In: **TABER K.S., e AKPAN B. (ed.)**. [S.l.]: Rotterdam: SensePublishers, 2017.
- ALCÁCER, L. **Física do Estado Sólido**. Lisboa: IST, 2013.
- AMARILLA, P. F. Educação a distância: Uma abordagem metodológica e didática a partir dos ambientes virtuais. **Educação em Revista**, v. 27, n. 2, p. 41–72, ago 2011.
- ANDRADE, F. A. L. et al. Recorrência de concepções alternativas sobre corrente elétrica em circuitos simples. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 3, 2018.
- ANDRADE, J. E.; OLIVEIRA, R. A. P. Reflexões sobre educação a distância: Concepções no ensino de física. **Revista Desafios**, v. 1, n. 3, 2016.
- ASHCROFT, N.; NERMIN, D. N. **Física do Estado Sólido**. 3. ed. Stamford: Cengage Learning, 2010.
- AUSUBEL D. P.; NOVAK, J. D. **Educational Psychology: A Cognitive View**. 2. ed. New York: Holt McDougal, 1980.
- BAGNATO, V. S. O análogo mecânico da lei de ohm. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 16, n. 1-4, p. 129–131, 1994.
- BEISENHERZ, P.; DANTONIO, M. **Using the learning cycle to teach physical science**. Portsmouth: Heinemann, 2016.
- BESSA, V. H. **Teorias de Aprendizagem**. 3. ed. Curitiba: IESDE Brasil, 2018.
- BRASIL, M. d. E. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: Ministério da Educação, 2018.
- BRISON, J. R. A further characterization of empirical research related to learning outcome achievement in remote and virtual science labs. **Journal of Science Education and Technology**, v. 26, p. 546–560, 2017.
- CAPELETTI, A. M. Ensino a distância: Desafios encontrados por alunos do ensino superior. **Revista Eletrônica Saberes da Educação**, v. 5, n. 1, 2014.
- CARMEL, N. J. C.; PACCA, J. L. A. Concepções alternativas em eletroquímica e circulação da corrente elétrica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 7–26, abr 2011.
- CARDOSO, D. C.; TAKAHASHI, E. K. Experimentação remota em atividades de ensino formal: um estudo a partir de periódicos qualis a. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 11, n. 3, p. 185–208, 2011.
- CARVALHO, A. M. P. Ensino e aprendizagem de ciências: referenciais teóricos e dados empíricos das sequências de ensino investigativa - sei. In: LONGHINI, M. D. e. a. (Ed.). **O uno e o diverso na educação**. [S.l.]: EDUFU, 2011.
- CARVALHO, A. M. P. **Ensino de Ciências por investigação**. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

CHACON, J. et al. Design of a low-cost air levitation system for teaching control engineering. *Sensors*, v. 17, n. 2321, oct 2017.

CRUZ, C. G. M. **Fundamentos teóricos e práticos do ensino de ciências**. Curitiba: IESDE Brasil, 2009.

DAMACENA, D. M. et al. Condutividade elétrica em uma abordagem problematizadora. *Scientia Plena*, v. 11, n. 6, jun 2015.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. C. P. **Metodologia do ensino de ciências**. São Paulo: Cortez, 1994.

ETKINA, E.; WARREN, A.; GENTILLE, M. The role of models in physics instruction. **The Physics Teacher**. *Rutgers University*, I, n. 1, p. 1–8, dec 2006. Disponível em: <http://www.ftc.br/revistafsa/resumo.asp?art_cod=1>.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de Pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GRÖBER, S.; ECKERT, B.; JODL, H. J. A new medium for physics teaching: results of a worldwide study of remotely controlled laboratories (rcls). **European Journal of Physics**, v. 35, n. 1, 2014.

HEIDMANN, L. A. et al. Embedding virtual and remote experiments into a cooperative embedding virtual and remote experiments into a cooperative knowledge space. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, p. 3–32, abr 2016.

HESTENES, D. Toward a modeling theory of physics instruction. **Am. J. Phys**, v. 55, n. 5, p. 440–454, 1987.

HOYER, C.; THOMS, L. J.; GIRWIDZ, R. Field of a permanent magnet: Remotely controlled measurement and multiple representations. In: **21st International Conference on Multimedia in Physics Teaching and Learning (MPTL 2017), Resumes**. [S.l.]: The Open University, 2017.

JESCHKE, S.; RICHTER, T.; SINHA, U. Embedding virtual and remote experiments into a cooperative embedding virtual and remote experiments. In: **Into a Cooperative knowledge space**. [S.l.]: Annual Frontiers in Education Conference, 2008.

JILIAN, L. Comparative study of hands on and remote physics labs for first year university level physics students. **Transformative Dialogues: Teaching e Learning Journal**, v. 6, n. 1, p. 1–25, ago 2012.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P.; CRUJEIRAS, B. Epistemic practices and scientific practices in science education. in: Taber, k., and akpan, b. (ed.). **Science Education**, p. 69–80, 2017. Disponível em: <DOI:10.1007/978-94-6300-749-8_5>.

KARPLUS, R. Science teaching and the development of reasoning. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 14, p. 169, 1962.

KELLY, G. J.; LICONA, P. Epistemic practices and science education. In: M., M. (Ed.). **History, Philosophy and Science Teaching**. [S.l.]: Springer, 2018.

KNIGHT, R. D. **Física: Uma abordagem estratégica Volume 3**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

LEITÃO U. A.; PINTO, A. C. Interatividades e transposição didática com recursos do moodle: Uma proposta de critérios e análise. **Revista Teoria e Prática da Educação**, I16, n. 1, p. 57–70, jan/abr 2013.

LIMA, F. C. B. **Experimentos de baixo custo para abordar concepções alternativas sobre corrente elétrica em circuitos simples**. Tese (Tese (Mestrado em Ensino de Física)) — Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA), São Paulo, SP, 2018.

MATARRITA, C. A.; CONCARI, S. B. Características deseables en un laboratorio remoto para la enseñanza de la física: indagando a los especialistas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 3, p. 702–720, dez 2018.

MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999.

PELLIZARI, A. et al. Teorias da aprendizagem significativa segundo ausubel. **Revista PEC**, v. 2, n. 1, p. 37–42, jul 2002.

PHET. **PhET Interactive Simulations**. 2020. Last accessed 20 September 2020. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/>.

RODRIGUES, E. V.; LAVINO, D. Modelagem no ensino de física via produção de stop motion, com o computador raspberry pi. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, n. e20190012, 2020.

RUÈ, J. D. Aprender com autonomia no ensino superior. In: ARAUJO, U.; SASTRE, G. (Ed.). **Aprendizagem baseada em problemas no ensino superior**. [S.l.]: Summus, 2009.

SASSERON, L. H. Interações discursivas e argumentação em sala de aula: A construção de conclusões, evidências e raciocínios. **Revista Ensaio**, v. 22, p. 29p, 2020.

SILVA, I. P.; MERCADO, L. P. L. Laboratórios de ensino de física mediados por interfaces digitais. **Revista Multidisciplinar em Educação**, v. 17, p. 3–22, jan/dez 2020.

SOUZA, E. S. R. A teoria da modelagem de david hestenes: Considerações no ensino de física. In: **X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação e Ciências – X ENPEC**. [S.l.]: UFOPA, 2015.

SOUZA, J. B. A. Os desafios no estudo on line em salas virtuais: uma análise das ferramentas do ava na ead da ufgd e unigranet. **EaD e Tecnologias Digitais na Educação**, v. 3, n. 2, jan/nov 2014.

SUART, R. C.; MARCONDES, M. E. R. A manifestação de habilidades cognitivas em atividades experimentais investigativas no ensino médio de química. **Ciências e Cognição**, v. 14, n. 1, p. 50–74, 2009.

TOULMIN, S. **Os Usos do Argumento**. São Paulo: Martins Fontes, 2006.

ZÚBIA, J. G.; ALVES, G. R. **Using Remote Labs in Education - Two Little Ducks in Remote Experimentation**. [S.l.]: University of Desto, 2011.