

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 09

Marcus Henrique Teixeira Lima

**Uso de laboratórios virtuais desenvolvidos no Excel como estratégia didático-
metodológica para o ensino de conceitos da eletricidade**

Marcus Henrique Teixeira Lima

**Uso de laboratórios virtuais desenvolvidos no Excel como estratégia didático-
metodológica para o ensino de conceitos da eletricidade**

Dissertação apresentada ao Polo 9 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Ensino de Física.

Orientador: Dr. Lázaro Luis de Lima Sousa
Coorientador: Dr. Taciano Amaral Sorrentino

Mossoró-RN
2026

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

L732u Lima, Marcus Henrique Teixeira.
Uso de laboratórios virtuais desenvolvidos no
Excel como estratégia didático-metodológica para o
ensino de conceitos da eletricidade / Marcus
Henrique Teixeira Lima. - 2026.
129 f. : il.

Orientador: Lázaro Luis de Lima Sousa.
Coorientador: Taciano Amaral Sorrentino.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
--Selecione um Curso ou Programa--, 2026.

1. ensino de Física. 2. Tecnologias Digitais da
Informação e Comunicação. 3. laboratórios virtuais
de aprendizagem. 4. simulações computacionais. I.
Sousa, Lázaro Luis de Lima , orient. II.
Sorrentino, Taciano Amaral , co-orient. III.
Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

Marcus Henrique Teixeira Lima

**Uso de laboratórios virtuais desenvolvidos no Excel como estratégia didático-
metodológica para o ensino de conceitos da eletricidade**

Dissertação apresentada ao Polo 9 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Ensino de Física.

Aprovada em 27 de fevereiro de 2026.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Lázaro Luis de Lima Sousa - Orientador
Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Dra. Luciana Angélica da Silva Nunes – Examinadora 1
Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Dr. Igo Tôres Lima – Examinadora 2
Universidade Federal do Maranhão

AGRADECIMENTOS

Foram muitos os desafios, mas também muito aprendizado, renúncias e crescimento até que esta dissertação chegasse ao seu término. Nenhuma conquista é feita sozinha e, portanto, agradeço imensamente a todos que, de alguma forma, contribuíram ao longo desse caminho.

À minha família, que sempre me amou, me apoiou e esteve ao meu lado em todos os momentos, principalmente nos mais difíceis. Vocês foram meu suporte quando o cansaço e a incerteza ameaçaram me desanimar.

Ao meu orientador, agradeço de coração pela confiança em meu trabalho, pela dedicação, pelas orientações e pela sensibilidade em compreender meus limites e potencialidades. O que aprendi com você vai muito além desta dissertação e, certamente, permanecerá em minha formação humana e profissional. Você não apenas me orientou, mas também contribuiu significativamente para o meu crescimento pessoal. Sem o seu apoio, nada disso teria sido possível.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e aos professores, sou grato pelos saberes compartilhados e pela constante inspiração na luta por uma educação pública de qualidade e por um ensino de Física mais relevante e transformador.

Aos queridos colegas de caminhada, agradeço pelas conversas, pelas trocas de experiências, pelos momentos de apoio e pelas palavras de encorajamento que tornaram essa trajetória mais leve e mais humana.

Agradeço também aos meus alunos, que todos os dias me fazem perceber o valor da minha profissão, inspirando-me a querer sempre aprender mais, ensinar melhor e acreditar na força transformadora da educação.

Minha gratidão à Sociedade Brasileira de Física e às instituições mantenedoras do programa pela oportunidade de crescimento acadêmico e profissional proporcionada por este mestrado.

Por fim, agradeço a Deus por me conceder força, sabedoria e persistência para superar cada desafio e chegar até aqui.

Esta dissertação não representa apenas a conclusão de uma etapa acadêmica, mas a concretização de um sonho construído com dedicação, fé e a colaboração de muitas pessoas que foram fundamentais em minha caminhada.

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

RESUMO

A crescente presença das Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC) no cotidiano educacional tem ampliado as possibilidades de inovação no ensino de Física, especialmente por meio do uso de simuladores, ambientes virtuais e laboratórios virtuais de aprendizagem. Contudo, a efetiva integração desses recursos às práticas pedagógicas ainda enfrenta limitações significativas, relacionadas à infraestrutura física e à conectividade com a internet, particularmente em escolas públicas. Diante desse cenário, esta dissertação teve como objetivo desenvolver, aplicar e avaliar um conjunto de Laboratórios Virtuais de Aprendizagem (LVA), baseados em planilhas eletrônicas de uso offline, voltados ao ensino médio, como uma alternativa pedagógica de baixo custo e de fácil implementação. A pesquisa adotou uma abordagem quali-quantitativa, envolvendo o desenvolvimento de protótipos de LVAs para os conteúdos de Eletricidade, sua aplicação em contexto real de sala de aula e a análise das contribuições desses recursos para a aprendizagem conceitual dos estudantes. Os dados foram coletados por meio de instrumentos diversificados, incluindo questionários de percepção, registros observacionais, atividades investigativas e análises das respostas dos estudantes durante o uso dos laboratórios virtuais. Os resultados indicam que os LVAs favoreceram a compreensão de conceitos físicos, estimularam o engajamento e a motivação dos estudantes, além de possibilitarem a realização de atividades experimentais mesmo em condições de restrição tecnológica. Observou-se, ainda, que os ambientes virtuais promoveram práticas investigativas, como a formulação de hipóteses, a análise de dados e o confronto de concepções prévias, contribuindo para uma aprendizagem significativa. A avaliação dos estudantes revelou percepções positivas quanto à usabilidade, à relevância das situações propostas e à equivalência entre a observação dos fenômenos no ambiente virtual e em contextos reais. Conclui-se que os LVAs, baseados em planilhas eletrônicas, configuram-se como uma estratégia pedagógica viável e eficaz para o ensino de Física, especialmente em contextos marcados por limitações de infraestrutura e conectividade, reforçando a importância do design pedagógico e da mediação docente no uso das TDIC em sala de aula.

Palavras-chave: ensino de Física; Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação; laboratórios virtuais de aprendizagem; simulações computacionais.

ABSTRACT

The growing presence of Digital Information and Communication Technologies (DICT) in the educational context has expanded the possibilities for innovation in Physics teaching, particularly through the use of simulators, virtual environments, and virtual learning laboratories. However, the effective integration of these resources into pedagogical practices still faces significant limitations related to physical infrastructure and internet connectivity, especially in public schools. In this context, this dissertation aimed to develop, implement, and evaluate a set of Virtual Learning Laboratories (VLLs) based on offline electronic spreadsheets, designed for high school education, as a low-cost and easily implementable pedagogical alternative. The research adopted a qualitative-quantitative approach, involving the development of VLL prototypes for Electricity content, their application in a real classroom context, and the analysis of their contributions to students' conceptual learning. Data were collected using a variety of instruments, including perception questionnaires, observational records, investigative activities, and analyses of students' responses during the use of the virtual laboratories. The results indicate that the VLLs enhanced the understanding of physical concepts, stimulated student engagement and motivation, and enabled the performance of experimental activities even under conditions of technological constraints. It was also observed that the virtual environments promoted investigative practices, such as hypothesis formulation, data analysis, and the confrontation of prior conceptions, contributing to meaningful learning. Students' evaluations revealed positive perceptions regarding usability, the relevance of the proposed situations, and the equivalence between observing phenomena in the virtual environment and in real contexts. It is concluded that Virtual Learning Laboratories based on electronic spreadsheets constitute a viable and effective pedagogical strategy for Physics teaching, especially in contexts marked by limitations in infrastructure and connectivity, reinforcing the importance of pedagogical design and teacher mediation in the use of DICT in the classroom.

Keywords: Physics teaching; Digital Information and Communication Technologies; virtual learning laboratories; computer simulations.

LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Porcentagem de professores e os meios de autoformação e formação em serviço para o uso de tecnologias digitais	17
Figura 2 - Mapa conceitual para aprendizagem significativa.....	19
Figura 3 - Página de LVAs do PhET.....	21
Figura 4 - Página inicial do laboratório virtual da UFC.....	22
Figura 5 - Página inicial do SimuFísica	23
Figura 6 - Detalhes de uma corrente i que atravessa um resistor em formato cilíndrico	27
Figura 7 - Sentidos da corrente: (a) virtual, dada por iv ; e (b) real, dada por ir	28
Figura 8 - Curva da tensão versus a corrente para o comportamento ôhmico de um componente, em (a); e para o comportamento não ôhmico, em (b)	29
Figura 9 - Exemplos de baterias: (a) pilhas; (b) bateria de moto; e (c) bateria de celular.....	31
Figura 10 - Circuito formado por uma bateria, de fem ε e resistência interna r , e um resistor R , atravessado por uma corrente i	32
Figura 11 - Exemplos de capacitores	33
Figura 12 - Capacitor de placas paralelas ligada a uma bateria	34
Figura 13 - (a) Circuito RC com uma fonte com a chave a aberta; (b) com a chave a fechada;.....	35
Figura 14 - Comportamento da tensão sobre o capacitor no processo de carga.....	35
Figura 15 - (a) Circuito RC com o capacitor carregado, com a chave a aberta; (b) com a chave a fechada;	36
Figura 16 - Comportamento da tensão sobre o capacitor no processo de descarga	37
Figura 17 - Mapa conceitual para aprendizagem segundo Glasser	42
Figura 18 - Capa do produto educacional	44
Figura 19 - Frentes dos roteiros produzidos	46
Figura 20 - Interface do Laboratório Virtual - Lei de Ohm	47
Figura 21 - Laboratório Virtual Descarga de um Capacitor.....	49
Figura 22 - Laboratório Virtual - Resistência Interna	50
Figura 23 - Registros da aplicação dos roteiros-guia	53
Figura 24 - Nível de usabilidade dos LVAs propostos	66
Figura 25 - Nível de dificuldade técnica nos LVAs propostos	67
Figura 26 - Contribuição para a compreensão dos apontamentos abordados nos LVAs	68
Figura 27 - Nível de adequação entre os LVAs e o conhecimento discente	69
Figura 28 - Nível de motivação discente.....	70
Figura 29 - Nível de engajamento discente	71
Figura 30 - Recomendação do produto para outros usuários	73
Figura 31 - Nível de representação dos fenômenos estudados.....	74
Figura 32 - Situações relevantes abordados pelos LVAs para o ensino de Física	75
Figura 33 - Comparação com laboratório presencial	76
Figura 30 - Sequência de passos para usar o laboratório virtual no Excel.....	101
Figura 31 - (a) Movimento aleatório de um elétron em um meio condutor; (b) representação do movimento ordenado dos elétrons.....	102
Figura 32 - Sentido da corrente elétrica: (a) convencional; (b) real.....	103
Figura 33 - Multímetro digital.....	104
Figura 34 - (a) Resistor de uso comum; (b) simbologia eletrônica do resistor	105
Figura 35 - Interface do “Laboratório virtual – Lei de Ohm”	107
Figura 36 - Fonte de alimentação do “Laboratório virtual – Lei de Ohm”	108

Figura 37 - Caixa de seleção do “Laboratório virtual - Lei de Ohm”	108
Figura 38 - Código de cores para leitura da resistência	108
Figura 39 - Detalhes do multímetro digital do “Laboratório virtual - Lei de Ohm”	109
Figura 40 - Botões de controle do “Laboratório virtual - Lei de Ohm”	111
Figura 41 - Resistor do “Laboratório virtual - Lei de Ohm”	111
Figura 42 - Protoboard do “Laboratório virtual - Lei de Ohm”, em (a); Em (b) é mostrada as conexões que existem nos trilhos.....	112
Figura 43 - Capacitor de uso comum em (a); em (b) a sua simbologia eletrônica.....	114
Figura 44 - Capacitores de diferentes geometrias ligados a uma bateria	115
Figura 45 - Campo elétrico entre as placas do capacitor com um dielétrico entre suas placas	116
Figura 46 - Circuito para o estudo da carga do capacitor.....	117
Figura 47 - Gráficos do processo de carga do capacitor em função do tempo, em um circuito RC, da carga q e da tensão V em função do tempo t	118
Figura 48 - Circuito para o estudo da descarga do capacitor	119
Figura 49 - Gráficos do processo de descarga do capacitor em função do tempo, em um circuito RC, da carga q e da tensão V em função do tempo t	119
Figura 50 - Ambiente do Laboratório Virtual Descarga de um Capacitor.....	120
Figura 51 - Exemplos de baterias/pilhas	123
Figura 52 - Representação de uma pilha real com resistência interna	124
Figura 53 - Medindo a tensão de circuito aberto da pilha	125
Figura 54 - Pilha em curto-circuito	125
Figura 55 - Ambiente do “Laboratório Virtual - Resistência Interna”	127

LISTAS DE QUADROS

Quadro 1 - Diferenças entre as teorias piagetianas e vygotskiana	39
Quadro 2 - Comparação Online versus Offline.....	52
Quadro 3 - Análise das respostas dos estudantes às questões investigativas do Roteiro 1, sobre a 1ª Lei de Ohm.....	57
Quadro 4 - Análise das respostas dos estudantes às questões do Roteiro 2, sobre a descarga de capacitores	59
Quadro 5 - Análise das respostas dos estudantes às questões do Roteiro 3, sobre a resistência interna da pilha.....	62

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	OBJETIVOS	13
1.1.1	OBJETIVO GERAL	14
1.1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	OS LABORATÓRIOS VIRTUAIS DE APRENDIZAGEM - LVAs	15
2.2	O PROFESSOR E O ENSINO POR LVAs	17
2.3	EXEMPLOS DE LVAs E SUAS POTENCIALIDADES	20
3	FUNDAMENTAÇÃO FÍSICA	26
3.1	RESISTÊNCIA, TENSÃO E CORRENTE ELÉTRICA.....	26
3.2	A RESISTÊNCIA INTERNA DE UMA BATERIA	30
3.3	CAPACITORES E O CIRCUITO RC	33
4	TEORIA DA APRENDIZAGEM CONSTRUTIVISTA	38
4.1	PRINCÍPIOS DA TEORIA CONSTRUTIVISTA	38
4.2	DESENVOLVIMENTO DE HABILIDADES COM A TEORIA CONSTRUTIVISTA	40
4.3	O ENSINO DE FÍSICA E A TEORIA DA APRENDIZAGEM CONSTRUTIVISTA	41
5	METODOLOGIA.....	44
5.1	DESCRIÇÃO DOS ROTEIROS E DOS LVAs DO PRODUTO EDUCACIONAL	45
5.2	JUSTIFICATIVA DE USO DO PRODUTO EDUCACIONAL	51
5.3	SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	52
5.4	DESCRIÇÃO DO PÚBLICO-ALVO	54
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	55
6.1	ANÁLISE DAS RESPOSTAS DOS ROTEIROS-GUIA.....	55
6.1.1	ANÁLISE DAS RESPOSTAS SOB A PERSPECTIVA VYGOTSKYANA.....	64
6.2	AVALIAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL PELOS ALUNOS	66
6.3	RELATO DE EXPERIÊNCIA NA PERSPECTIVA DO PROFESSOR	76
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
	REFERÊNCIAS	80
	APÊNDICE - PRODUTO EDUCACIONAL	84

1 INTRODUÇÃO

É incontestável, na contemporaneidade, a presença das tecnologias na vida cotidiana e, de modo particular, no contexto educacional, no qual os estudantes se encontram profundamente imersos no mundo digital por meio do uso de celulares, tablets e computadores. Nesse cenário, a adoção das Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC), como simuladores, plataformas digitais e ambientes virtuais de aprendizagem, possibilita o acesso a experiências didáticas mesmo diante de limitações de infraestrutura física nas escolas. Conforme destacam Melo et al. (2020), “vivemos em uma sociedade em que os avanços tecnológicos são notáveis, trazendo mudanças significativas no contexto educacional”.

O uso das TDIC tem se consolidado como um componente relevante no processo de modernização do ensino de Física. Silva (2022) observam que “os laboratórios virtuais despertam a curiosidade dos alunos, apresentando-se como ferramentas capazes de tornar as aulas mais atrativas”. No entanto, estratégias que envolvem o uso dessas tecnologias exigem planejamento criterioso e objetivos pedagógicos bem definidos, a fim de evitar que sua utilização se restrinja a um caráter meramente instrumental. O potencial das TDIC vai além do “uso pelo uso”, constituindo-se como uma alternativa pedagógica relevante para a superação de práticas excessivamente tradicionais.

Dados analisados por Machado (2022) indicam um crescimento na utilização das TDIC entre os anos de 2006 e 2019, embora tenha sido registrada uma queda em 2020. Ademais, o uso de Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVA) tem se mostrado um fator significativo para a motivação e o engajamento dos estudantes, ao favorecer a interatividade e a contextualização dos conteúdos, conforme apontam Ferreira e Carvalho (2023).

Não há dúvidas de que o uso da internet amplia as possibilidades pedagógicas associadas aos Laboratórios Virtuais de Aprendizagem (LVAs), como exemplificado pela plataforma PhET Interactive Simulations ou simplesmente PhET¹, que disponibiliza diversas simulações interativas de fenômenos físicos e de outras áreas do conhecimento. Entretanto, a efetiva integração dessas tecnologias ao cotidiano escolar enfrenta entraves importantes, sobretudo no que se refere à infraestrutura das escolas públicas. Melo et al. (2020) ressalta que o uso efetivo das TDIC é frequentemente inviabilizado pela insuficiência de recursos e pela ausência de condições mínimas de infraestrutura. Cabe destacar que o conceito de infraestrutura não se limita aos aspectos físicos, incluindo também a conectividade à internet, a qual, apesar

¹ https://phet.colorado.edu/pt_BR/

dos avanços decorrentes de políticas públicas, ainda constitui um desafio em muitos contextos escolares.

Nesse contexto, Cruz et al. (2024) destacam que a conectividade das escolas brasileiras desempenha um papel central na democratização do acesso à internet. Segundo os autores, iniciativas como o GESAC e o PIEC têm como objetivo ampliar a conexão das instituições de ensino, embora ainda enfrentem limitações relacionadas à abrangência e à qualidade dos serviços oferecidos. Além disso, tais desafios evidenciam a necessidade de investimentos contínuos em infraestrutura tecnológica, bem como de políticas públicas mais eficazes que garantam não apenas o acesso, mas também a estabilidade e a velocidade adequadas para o uso pedagógico das TDIC. A limitação ou ausência de conectividade pode desestimular o uso das TDIC por parte dos docentes. Por outro lado, o desenvolvimento de recursos pedagógicos offline apresenta-se como uma alternativa viável para garantir maior equidade no acesso às tecnologias educacionais.

Fontes Neto e Carvalho (2022) destacam que a incorporação de recursos tecnológicos, como animações e simulações computacionais, em sala de aula contribui para uma melhor articulação entre o conhecimento teórico e sua aplicação prática, favorecendo o processo de aprendizagem. Estudos como o de Cavalcante e Alexandria (2024) indicam, inclusive, que o uso do simulador PhET apresentou desempenho significativamente superior em comparação com métodos tradicionais, com vantagem de até 95% na eficácia do ensino, considerando abordagens teóricas e experimentais

1.1 OBJETIVOS

Diante desse contexto, caracterizado por fragilidades na infraestrutura física e por limitações no acesso à internet em muitas instituições de ensino, e tendo em vista o potencial pedagógico das TDIC, dos AVA e dos LVA, o presente trabalho propõe o desenvolvimento, a implementação e a avaliação de um conjunto de Laboratórios Virtuais de Aprendizagem estruturados a partir de planilhas eletrônicas com funcionamento offline, direcionados ao ensino médio. Essa proposta configura-se como uma alternativa pedagógica acessível, de baixo custo e de simples operacionalização, especialmente adequada a realidades educacionais com restrições tecnológicas. Além disso, busca-se ampliar as possibilidades de aprendizagem, favorecendo o acesso dos estudantes a práticas experimentais em Física, mesmo em contextos nos quais a infraestrutura laboratorial e a conectividade são limitadas. Ao mesmo tempo, a

proposta contribui para a integração significativa das tecnologias ao ensino, promovendo maior autonomia discente, exploração investigativa e articulação entre teoria e prática.

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver, aplicar e avaliar um conjunto de LVAs, baseados em planilhas eletrônicas de uso offline, como estratégia pedagógica para o ensino de Física no nível médio, visando ampliar o acesso a atividades experimentais em contextos marcados por limitações de infraestrutura e de conectividade.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver protótipos de Laboratórios Virtuais de Aprendizagem, utilizando planilhas eletrônicas, com foco em conteúdos de Física do ensino médio;
- Analisar o potencial pedagógico dos LVAs como recurso didático mediado por TDIC em contextos escolares com restrições de acesso à internet;
- Aplicar os LVAs em contexto real de sala de aula, junto a estudantes do ensino médio;
- Investigar as contribuições dos LVAs para a aprendizagem conceitual em Física;
- Avaliar a percepção dos estudantes quanto à usabilidade, à motivação e ao engajamento proporcionados pelos LVAs.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os LVAs têm se consolidado como importantes recursos pedagógicos no contexto da educação contemporânea, especialmente diante da crescente inserção das TDIC nos processos educativos. Esses ambientes digitais possibilitam a realização de experimentações simuladas, favorecendo a visualização de fenômenos, a exploração conceitual e a construção ativa do conhecimento, além de ampliarem o acesso a práticas experimentais em contextos nos quais os laboratórios físicos são limitados ou inexistentes. Nesse sentido, compreendê-los como espaços de mediação pedagógica contribui para a ressignificação do ensino de Ciências e de Física, tornando-o mais interativo, significativo e inclusivo. Este capítulo apresenta conceitos fundamentais, ainda que introdutórios, considerados essenciais para a compreensão do papel e da relevância dos laboratórios virtuais no ensino.

2.1 OS LABORATÓRIOS VIRTUAIS DE APRENDIZAGEM - LVAs

Os LVAs são simuladores virtuais que têm como finalidade reproduzir virtualmente uma realidade em que seja viável, principalmente a aprendizagem do aluno. Neste contexto, os simuladores virtuais, são empregados como ferramentas pedagógicas para despertar o interesse dos estudantes e fortalecer a compreensão de conceitos Lopes (2023). Eles são capazes de sanar as deficiências da falta de exemplos práticos, permitindo aos alunos analisarem os conceitos e não somente fórmulas, apresentando dinamismo e animação, o que para os alunos da Educação Básica se torna um incentivo a aprender manipulando os simuladores e analisando os resultados (Sobrinho; Oliveira, 2023).

No uso de LVAs o estudante tem a oportunidade de manipular variáveis, observar fenômenos e testar hipóteses, o que normalmente não é permitido em laboratórios reais. Muitos conceitos em Física são extremamente abstratos dificultando a compreensão dos fenômenos naturais por parte do aluno. Nos LVAs, o estudante pode interagir com situações em que se fossem realizadas em um espaço físico seria difícil, usar materiais caros sem preocupações ou até mesmo indisponíveis para o ambiente escolar, simular experimentos com diferentes acelerações da gravidade, garante ao aluno segurança em atividades que requeiram habilidades manuais e atenção na manipulação de alguns materiais, e a possibilidade de refazer várias vezes o mesmo experimento (Silva; Souza; Lopes, 2023).

Uma aula com níveis elevados de abstração e conceitos que não fazem sentido no cotidiano do aluno faz com que ele deixe de gostar de Física (Moreira, 2021). Resende et al. (2024) nos diz que apesar do aumento do desenvolvimento e uso de LVAs, um ponto

preocupante também foi identificado: muitos estudos nessa área se concentram apenas nos aspectos técnicos do projeto, tanto em seu desenvolvimento quanto em sua apresentação, ficando em segundo plano a pedagogia envolvida no uso de LVAs.

Uma análise feita por Silveira e Santos (2023) sobre a formação de professores com respeito ao uso de TDICs mostrou que grande parte dos docentes não tem formação em informática. A utilização de tecnologias digitais nas práticas pedagógicas exige capacitação de professores, que surge como um dos desafios a serem vencidos (Silva; Ramos, 2023).

Para se obter um uso mais eficiente dos recursos digitais em sala de aula, é imprescindível que os docentes possuam conhecimentos e habilidades relevantes, além de serem capazes de desenvolvê-las com o objetivo de integrar as TDICs em suas atividades cotidianas (Silva et al., 2021), segundo a pesquisa TIC Educação na edição de 2022 a porcentagem de professores que afirmavam que não ter uma formação específica para o uso de tecnologias digitais que os auxiliassem na adoção desses recursos em suas aulas era cerca de 80% professores de escolas públicas e 55% de escolas particulares (Comitê Gestor da Internet no Brasil, 2022).

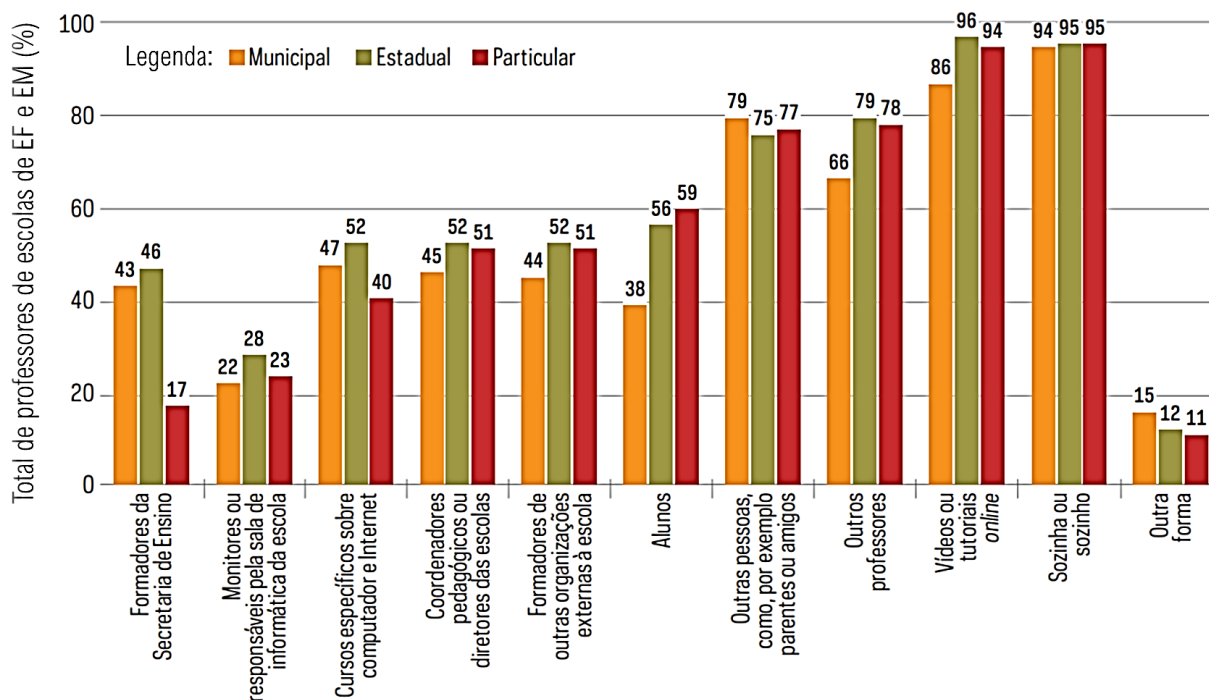
Na Figura 1 são apresentadas as contribuições das redes de ensino, das escolas e dos alunos nos processos de formação e autoformação docente para o uso de tecnologias digitais, considerando a dependência administrativa das instituições em que os professores atuavam no momento da pesquisa, sendo possível observar que o principal meio de formação adotado são vídeos, tutoriais online e a autoformação. Essa figura permite compreender alguns aspectos relevantes sobre os processos de formação continuada de professores nas redes municipal, estadual e particular. De modo geral, observa-se que a formação docente ocorre de maneira bastante diversificada, envolvendo tanto iniciativas institucionais, como cursos oferecidos por secretarias de educação, escolas e outras organizações, quanto estratégias mais autônomas. No entanto, há uma tendência clara, que os meios mais utilizados pelos professores são aqueles baseados em acesso digital e iniciativa individual.

Destaca-se que vídeos e tutoriais online aparecem como a principal fonte de formação nas três redes de ensino, com percentuais bastante elevados. Isso indica uma forte adesão a recursos digitais, possivelmente pela facilidade de acesso, flexibilidade de horário e variedade de conteúdos disponíveis.

Além disso, a autoformação, aquela realizada sozinha ou de forma autônoma, também apresenta índices muito altos, praticamente no mesmo nível dos vídeos online. Esse dado reforça a ideia de que muitos professores assumem protagonismo em seu próprio

desenvolvimento profissional, buscando aprender de forma independente, fora de estruturas formais.

Figura 1 - Porcentagem de professores e os meios de autoformação e formação em serviço para o uso de tecnologias digitais



Fonte: adaptado de Comitê Gestor da Internet no Brasil (2022)

Outro ponto relevante é que formas mais tradicionais e institucionalizadas de formação, como cursos oferecidos por secretarias, escolas ou outras organizações, aparecem com percentuais menores em comparação às estratégias autônomas. Isso pode indicar limitações de oferta, dificuldades de acesso ou menor atratividade dessas modalidades.

Por fim, percebe-se que há variações entre as redes municipal, estadual e particular, mas o padrão geral se mantém de que a formação docente está cada vez mais associada ao uso de tecnologias digitais e à iniciativa individual, indicada por uma mudança no perfil da formação continuada de professores, que passa a ser mais flexível, descentralizada e mediada por tecnologias digitais, com destaque para o papel central da autoaprendizagem.

2.2 O PROFESSOR E O ENSINO POR LVAs

Quando um professor decide incorporar os LVAs em sua prática pedagógica, geralmente busca potencializar e facilitar a compreensão de determinados fenômenos físicos, além de dispor de uma alternativa didática acessível, rápida e de baixo custo. No entanto, para

que essa utilização seja efetiva, torna-se indispensável a adoção de uma sequência didática estruturada, que oriente o desenvolvimento das atividades e favoreça o alcance dos objetivos de aprendizagem.

No estudo desenvolvido por Cavalcanti (2023), realizado com 24 alunos do 3º ano do ensino médio de uma escola pública do Ceará, foi utilizada a plataforma PhET. A metodologia consistiu na disponibilização de vídeos curtos, com duração máxima de 10 minutos, contendo orientações para que os estudantes pudessem compreender e manipular a plataforma. Posteriormente, os alunos receberam roteiros baseados nesses vídeos, que orientavam a realização de experimentos virtuais sobre corrente elétrica. A intervenção ocorreu ao longo de quatro aulas, com a utilização do laboratório de informática da escola.

Em outro estudo, Sousa (2024) utilizou o software Modellus para a realização de simulações envolvendo conteúdos como Movimento Retilíneo Uniforme (MRU), Movimento Uniformemente Variado (MUV), queda livre e lançamento oblíquo. Cada simulação foi precedida por uma aula expositiva tradicional, com o objetivo de introduzir os conceitos teóricos. A pesquisa foi desenvolvida com uma turma do 1º ano do ensino médio de uma escola particular de Fortaleza, durante o primeiro semestre letivo, e organizada em duas etapas interdependentes.

A primeira etapa consistiu em quatro aulas de 50 minutos no laboratório de informática, nas quais os estudantes utilizaram um material didático elaborado pelo autor em conjunto com os LVAs. A segunda etapa foi dedicada à elaboração de um relatório, no qual os alunos deveriam abordar aspectos como objetivos, fundamentação teórica, análise dos resultados, questionário e conclusões. Esse relatório constituiu o principal instrumento de avaliação da aprendizagem.

Tanto no estudo de Cavalcanti (2023) quanto no de Sousa (2024), o professor assume um papel central como mediador do processo de ensino e aprendizagem, sendo responsável por planejar as atividades, selecionar os recursos digitais, estruturar a sequência didática e orientar a exploração dos ambientes virtuais. Ao propor roteiros investigativos e selecionar materiais de apoio, o docente promove a participação ativa dos estudantes e possibilita a realização de uma avaliação formativa, com base nas respostas e nas interações observadas durante as atividades.

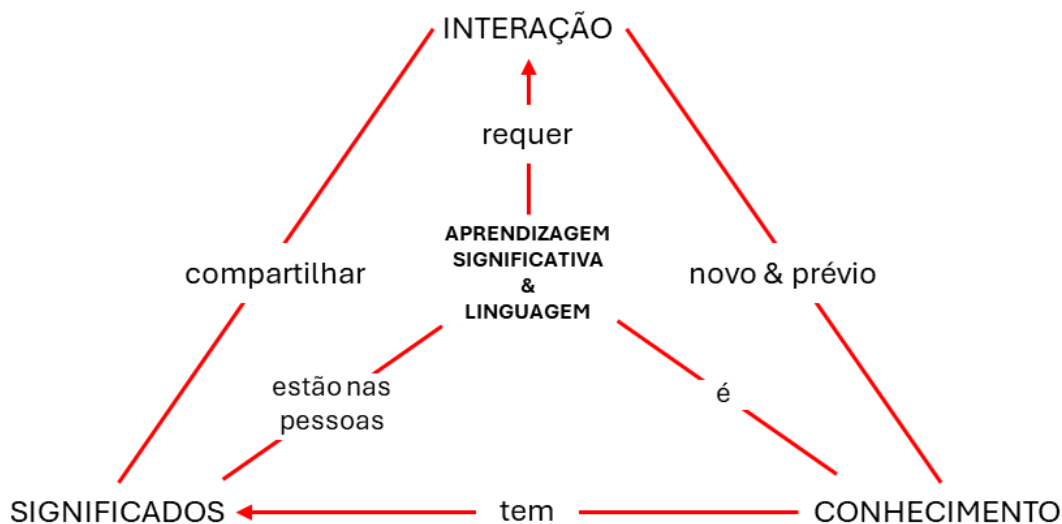
Os LVAs desempenham, portanto, um papel relevante tanto no ensino quanto na aprendizagem, na medida em que ampliam as possibilidades de experimentação e favorecem a construção do conhecimento. Contudo, sua eficácia depende diretamente da mediação docente, que transforma a simulação em uma experiência de aprendizagem significativa, orientando o que deve ser observado, como interpretar os dados obtidos e como estabelecer relações

conceituais. Assim, os LVAs, por si só, não ensinam; eles constituem ambientes propícios para a aprendizagem, enquanto os estudantes desenvolvem o pensamento científico por meio da análise crítica dos resultados.

Apesar dessas potencialidades, o ensino de Física ainda apresenta, em muitos contextos, características tradicionais, centradas no professor, com ênfase na transmissão de conteúdos e na resolução mecânica de exercícios, frequentemente desvinculados do cotidiano dos estudantes e pouco articulados ao uso das TDIC (Moreira, 2021). Esse modelo tende a limitar o desenvolvimento de aprendizagens mais profundas e significativas.

Nesse sentido, a aprendizagem significativa, ilustrada na Figura 2, refere-se a um processo que envolve compreensão, atribuição de sentido e a capacidade de explicar e aplicar o conhecimento adquirido (Moreira, 2021). Conforme destaca Moreira (2023), seus fundamentos estão na relação entre conceitos, significados, interação e conhecimentos prévios. Tais elementos são favorecidos em propostas pedagógicas que incorporam os LVAs, uma vez que esses ambientes possibilitam a exploração ativa, a experimentação e a construção de relações entre teoria e prática.

Figura 2 - Mapa conceitual para aprendizagem significativa



Fonte: Adaptado de Moreira (2023)

Considerado um dos principais referenciais epistemológicos do construtivismo, Jean Piaget desenvolveu uma teoria que explica a aprendizagem como um processo contínuo de interação e adaptação entre o sujeito e o meio. Nessa perspectiva, a construção do conhecimento ocorre por meio das interações do indivíduo com o ambiente físico e social, sendo mediada por mecanismos cognitivos como a assimilação e a acomodação. Ao entrar em contato

com novos objetos ou situações, o sujeito busca compreendê-los a partir de estruturas cognitivas já existentes, podendo modificá-las diante de desafios cognitivos que exigem reorganização do pensamento (Coutinho, 2022).

A partir dos estudos de Piaget, o construtivismo configura-se como uma teoria da aprendizagem segundo a qual o conhecimento não é simplesmente transmitido, mas construído ativamente pelo indivíduo com base em suas experiências (Alixandre, 2022). Nessa abordagem, o conhecimento não é concebido como algo pronto a ser depositado pelo professor, mas como resultado de um processo dinâmico, no qual o estudante assume papel central na construção de significados.

Desse modo, o aluno torna-se protagonista do próprio processo de aprendizagem, ao interagir com o meio, confrontar ideias, lidar com conflitos cognitivos e reorganizar suas estruturas mentais por meio dos processos de assimilação e acomodação (Abreu, 2010). A construção do conhecimento, portanto, ocorre de forma ativa, a partir da interação com problemas, materiais didáticos e outros sujeitos.

Além disso, a interação social desempenha um papel relevante nesse processo, uma vez que possibilita a troca de experiências, a construção coletiva do conhecimento e o desenvolvimento de habilidades cognitivas e sociais. Nesse contexto, o professor assume a função de mediador, orientando as interações e promovendo situações de aprendizagem que favoreçam o desenvolvimento dos estudantes (Silva, 2022).

No ensino de Física, práticas pedagógicas alinhadas a essa perspectiva devem priorizar a participação ativa dos estudantes, estimulando-os a investigar, formular hipóteses, testar ideias e construir explicações. O uso de simuladores, Laboratórios Virtuais de Aprendizagem (LVA) e sequências didáticas baseadas no ensino por investigação constitui um exemplo dessas práticas, ao favorecer a aprendizagem ativa e significativa (Santos; Ney, 2025).

Como exemplificado no trabalho de Santos e Ney (2025), a aplicação de uma Sequência de Ensino por Investigação (SEI) voltada à compreensão dos conceitos de referencial inercial e não inercial demonstrou potencial para promover uma aprendizagem mais efetiva, ao envolver os estudantes em atividades investigativas que exigem reflexão, argumentação e construção de conceitos.

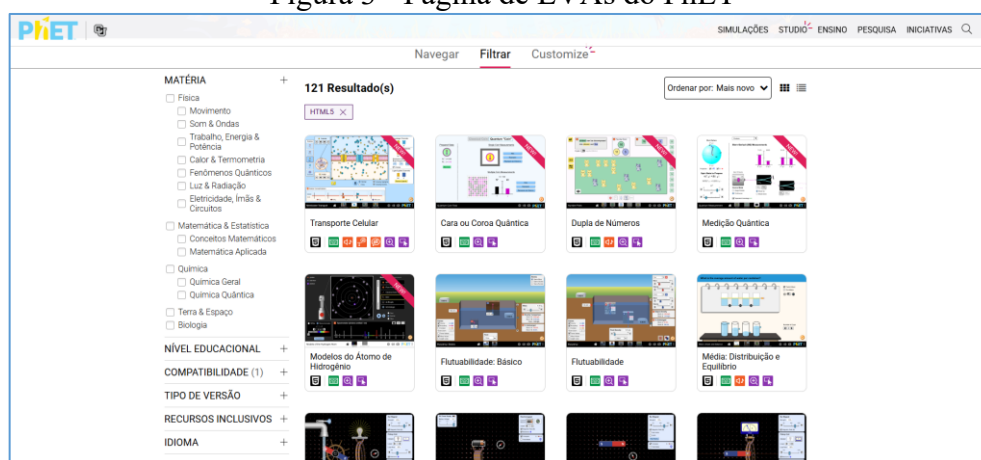
2.3 EXEMPLOS DE LVAs E SUAS POTENCIALIDADES

Os LVAs têm se consolidado como ferramentas pedagógicas relevantes no ensino de Ciências e, em particular, no ensino de Física, por possibilitarem a simulação de fenômenos,

a manipulação de variáveis e a visualização de processos que, muitas vezes, são de difícil realização em ambientes experimentais tradicionais. Esses ambientes digitais ampliam as possibilidades de aprendizagem ao integrar recursos interativos, multimodais e adaptativos, favorecendo tanto a compreensão conceitual quanto o desenvolvimento de habilidades investigativas e cognitivas dos estudantes.

Um exemplo amplamente difundido de LVA é o PhET (De Medeiros Jr; Naia; Lopes, 2024), desenvolvido pela Universidade do Colorado Boulder. Suas simulações permitem que os estudantes explorem conceitos como circuitos elétricos, capacitores, campos elétricos e ondas de forma intuitiva, ajustando parâmetros e observando, em tempo real, as consequências dessas alterações. A principal potencialidade desse tipo de ambiente reside na promoção da aprendizagem ativa, uma vez que o estudante deixa de ser um observador passivo e passa a assumir o papel de investigador, testando hipóteses e construindo explicações com base nas evidências geradas pela simulação. A Figura 3 mostra a página com a disponibilidade de LVAs do PhET, existentes até a data de acesso.

Figura 3 - Página de LVAs do PhET



Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/filter?type=html, acesso em abril de 2026

O PhET destaca-se como um dos LVAs mais utilizados internacionalmente, oferecendo simulações interativas e gratuitas que abrangem diversas áreas da Física (Araújo et al., 2021). A possibilidade de manipulação direta de grandezas físicas, como força, massa e resistência elétrica, contribui significativamente para a compreensão de conceitos abstratos, tornando o processo de aprendizagem mais dinâmico e acessível.

Outro exemplo são os LVAs de Física da Universidade Federal do Ceará (UFC), chamado de Laboratório virtual da UFC. Elas constituem uma importante iniciativa voltada à ampliação do acesso a práticas experimentais no ensino de Física, especialmente em contextos

educacionais que enfrentam limitações de infraestrutura. Esses recursos foram desenvolvidos com o objetivo de oferecer alternativas didáticas aos experimentos tradicionais, por meio de simulações interativas e experimentos filmados (Cavalcanti, 2022). O ambiente de apresentação é mostrado na Figura 4.

Figura 4 - Página inicial do laboratório virtual da UFC



Fonte: <https://www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/>, acesso em abril de 2026

A proposta do ambiente baseia-se na ideia de que o estudante pode explorar fenômenos físicos de maneira investigativa, seja interagindo com simulações que reproduzem condições próximas às de um laboratório real, seja analisando experimentos previamente realizados e registrados em vídeo (Silva, 2025). As simulações buscam manter fidelidade aos experimentos físicos correspondentes, permitindo ao usuário manipular variáveis, coletar dados e observar resultados, enquanto os experimentos filmados possibilitam a análise detalhada de fenômenos reais, mesmo sem acesso direto ao laboratório.

Um aspecto pedagógico relevante dessa plataforma é a disponibilização de roteiros experimentais, que orientam o estudante durante a realização das atividades. Esses roteiros funcionam de forma semelhante aos utilizados em laboratórios presenciais, guiando a coleta e a análise de dados, e incentivando uma postura investigativa. Além disso, os materiais são de livre acesso para fins educacionais, o que reforça seu potencial de democratização do ensino.

A organização dos conteúdos abrange diversas áreas da Física, como Mecânica, Termodinâmica, Óptica, Ondulatória, Eletricidade e Magnetismo e Física Moderna, contemplando desde conceitos básicos até temas mais avançados. Entre as atividades disponíveis, destacam-se simulações de queda livre, leis de Newton, pêndulos, movimento de

rotação e difração da luz, nas quais o estudante pode, por exemplo, variar parâmetros como massa, gravidade, tempo e distância, analisando suas influências nos resultados.

Do ponto de vista pedagógico, os Laboratórios virtuais da UFC não se limitam à simples visualização de fenômenos. A própria plataforma destaca que a interação com as simulações, por si só, pode não garantir a aprendizagem completa, sendo fundamental o uso orientado por roteiros e mediação docente para uma compreensão mais aprofundada dos conceitos. Esse aspecto reforça a importância do professor como mediador do processo de ensino e aprendizagem, alinhando-se a perspectivas construtivistas.

Como último exemplo de LVAs, o SimuFísica é uma plataforma digital que reúne simulações computacionais e laboratórios virtuais voltados ao ensino e à aprendizagem de Física. Desenvolvido no âmbito acadêmico, o ambiente oferece diferentes tipos de aplicações, incluindo simulações interativas de fenômenos físicos e laboratórios virtuais baseados em dados experimentais reais, permitindo ao estudante explorar conceitos de forma dinâmica e investigativa. Além disso, a plataforma organiza seus conteúdos por áreas como Mecânica, Termodinâmica, Óptica e Eletromagnetismo, atendendo tanto ao ensino médio quanto ao ensino superior. A Figura 5 mostra a página inicial da SimuFísica.

Figura 5 - Página inicial do SimuFísica



Fonte: <https://simufisica.com/>, acesso em abril de 2026

Do ponto de vista pedagógico, o SimuFísica (De Souza; Oliveira; Araújo, 2024) destaca-se por possibilitar a manipulação de variáveis e a observação de resultados em tempo real, favorecendo a compreensão de conceitos abstratos e a articulação entre teoria e prática. Ao integrar simulações e experimentos virtuais, a ferramenta contribui para o desenvolvimento

do pensamento científico e amplia o acesso a atividades experimentais, especialmente em contextos com limitações de infraestrutura, configurando-se como um recurso relevante para o ensino de Física mediado por tecnologias digitais.

Esses e outros ambientes existente, embora não citados aqui, permitem que os estudantes não apenas utilizem modelos prontos, mas também construam e modifiquem representações matemáticas e físicas dos fenômenos estudados. Tal abordagem favorece o desenvolvimento do pensamento científico, a compreensão das relações entre grandezas físicas e a articulação entre teoria, modelagem matemática e simulação.

Além dos LVAs, as plataformas de realidade virtual (PRV) (Ferreira et al., 2021) e de realidade aumentada (PRA) (França; Da Silva, 2019) também vêm sendo incorporadas como LVAs, especialmente em contextos que demandam maior imersão e visualização espacial. No estudo de circuitos elétricos, por exemplo, esses ambientes possibilitam a exploração tridimensional de componentes, conexões e fluxos de corrente, contribuindo para a compreensão de conceitos abstratos. Apesar de seu potencial, ainda existem desafios relacionados ao acesso a equipamentos e à formação docente para sua utilização pedagógica adequada.

Destacam-se, ainda, os laboratórios remotos (Nicolette et al., 2019) que, embora utilizem equipamentos físicos reais, são acessados virtualmente por meio da internet, configurando-se como uma modalidade híbrida de LVA. Nesses ambientes, os estudantes podem controlar experimentos à distância, coletar dados e analisar resultados em tempo real. Essa abordagem aproxima o virtual do real, permitindo a realização de práticas experimentais autênticas mesmo em contextos com limitações de infraestrutura.

No estudo de Rodrigues (2026), observou-se uma boa aceitação da plataforma Tinkercad pelos estudantes, especialmente em função de sua interface intuitiva e facilidade de navegação, quando comparada ao PhET. No entanto, foram relatados problemas pontuais de conexão, o que pode comprometer a experiência do usuário, sobretudo em contextos escolares com infraestrutura limitada. Por outro lado, o PhET apresentou maior estabilidade e fluidez de funcionamento. Ainda assim, os resultados indicaram avanços conceituais significativos, uma vez que os estudantes puderam formular hipóteses, testar diferentes configurações de circuitos e analisar seus efeitos, articulando teoria e prática. Ressalta-se que dificuldades técnicas podem interferir no processo de aprendizagem, ao passo que o engajamento e a motivação dos estudantes são fatores fundamentais para a promoção de uma aprendizagem significativa.

Em estudo conduzido por Guimarães, verificou-se que, em um primeiro momento, os estudantes apresentaram explicações variadas, baseadas em conhecimentos prévios, ao

serem questionados sobre o motivo de uma lâmpada queimar, mencionando desde “sobrecarga na resistência” até o “esgotamento do tempo de funcionamento”. A mediação docente foi fundamental para a reestruturação desses conceitos à luz da Física. Em um segundo momento, observou-se um avanço na compreensão de circuitos em série e paralelo, com os alunos sendo capazes de explicar corretamente que, em um circuito em série, a interrupção de uma lâmpada compromete todo o circuito, enquanto, no paralelo, as demais permanecem em funcionamento devido às ligações independentes.

De modo geral, as potencialidades dos LVAs vão além da simples substituição dos laboratórios presenciais. Esses recursos contribuem para a democratização do acesso à experimentação, reduzem riscos e custos associados ao uso de materiais e equipamentos, permitem a repetição de experimentos sem restrições e favorecem a personalização do ritmo de aprendizagem. Quando integrados de forma planejada a sequências didáticas e articulados a atividades de reflexão, discussão e avaliação, os LVAs podem desempenhar um papel central na promoção de uma aprendizagem significativa, crítica e contextualizada no ensino de Física e de Ciências.

É importante que os LVAs sejam construídos dentro de referenciais teóricos bem estabelecidos e, para isso, devem seguir as leis naturais propostas pelos modelos teóricos. A seguir, são apresentados os conteúdos físicos escolhidos para constituir os LVAs que serão aplicados no produto educacional.

3 FUNDAMENTAÇÃO FÍSICA

O estudo dos capacitores e dos circuitos elétricos constitui um dos pilares para a compreensão dos fenômenos eletromagnéticos e do funcionamento de dispositivos presentes no cotidiano e em sistemas tecnológicos mais complexos. Ao analisar como a energia elétrica pode ser armazenada, transferida e dissipada em circuitos, torna-se possível estabelecer conexões entre conceitos fundamentais da Física e suas aplicações práticas, favorecendo uma compreensão mais aprofundada do comportamento dos sistemas elétricos, tanto em regime estacionário quanto em regime transitório.

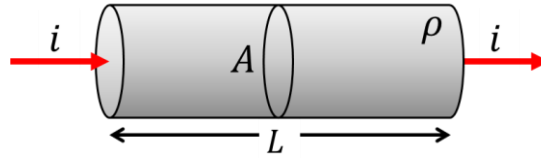
Este capítulo introduz os princípios teóricos essenciais e as bases conceituais necessárias à análise e à modelagem de circuitos que envolvem capacitores, contribuindo para uma formação sólida e integrada em eletricidade. Eles servirão de base para a construção e aplicação do LVAs do produto educacional. Os tópicos a seguir foram feitos com base na literatura de Halliday, Resnick e Walker (2016).

3.1 RESISTÊNCIA, TENSÃO E CORRENTE ELÉTRICA

A carga elétrica é definida como uma propriedade intrínseca das partículas fundamentais que constituem a matéria (Young; Freedman, 2009). No nível atômico, essa propriedade manifesta-se nos prótons (carga positiva) e nos elétrons (carga negativa), cujas magnitudes são idênticas e correspondem à chamada carga elementar, $e \approx 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$. Um princípio central da Física é a Lei de Conservação da Carga Elétrica, que estabelece que a soma algébrica das cargas em um sistema isolado permanece constante; a carga não pode ser criada nem destruída, apenas transferida entre corpos. No Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de medida da carga elétrica é o coulomb, representado por C.

Um resistor é um elemento limitador de corrente e a resistência elétrica R é a medida da oposição que um corpo oferece à passagem da corrente elétrica i . Microscopicamente, essa oposição decorre das colisões frequentes entre os elétrons de condução e os íons que constituem a rede cristalina do material condutor. De acordo com o modelo de Drude, a resistência depende da natureza do material, representada pela resistividade ρ , e de sua geometria, geralmente considerada cilíndrica, caracterizada pelo comprimento L e pela área da seção transversal A , conforme ilustrado na Figura 6 e expresso na Equação 1.

Figura 6 - Detalhes de uma corrente i que atravessa um resistor em formato cilíndrico



Fonte: Fonte: autor

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad \text{Equação 1}$$

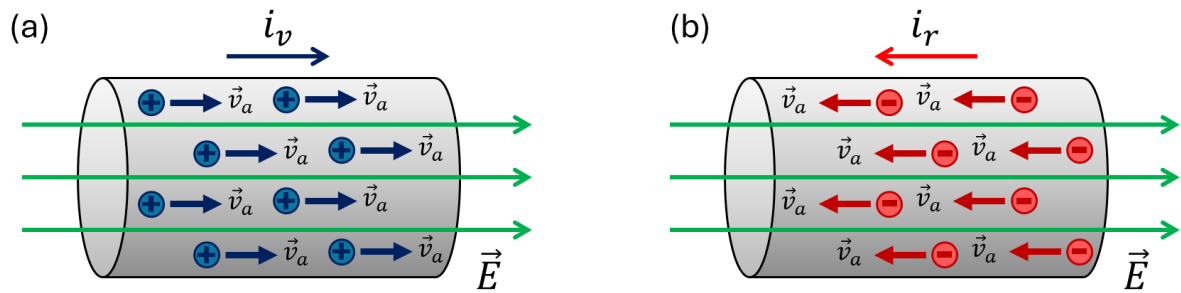
A corrente elétrica, i , é definida, fundamentalmente, como o fluxo líquido de carga que atravessa uma seção transversal de um condutor por unidade de tempo. Matematicamente, ela é expressa pela derivada da carga em relação ao tempo, conforme apresentado na Equação 2, onde dq é o elemento diferencial que representa a quantidade de portadores de carga que fluem pelo conduto no tempo dt . Embora as partículas carregadas em um material condutor, como os elétrons, estejam em constante movimento devido à agitação térmica, esse movimento aleatório não constitui uma corrente, pois não resulta em um fluxo líquido em uma direção específica. Para que a corrente exista, é necessário um movimento ordenado dos portadores de carga, geralmente provocado pela aplicação de um campo elétrico ou de uma diferença de potencial.

$$i = \frac{dq}{dt} \quad \text{Equação 2}$$

A unidade de medida no SI da corrente elétrica i é o ampère (A), que corresponde ao fluxo de um coulomb por segundo ($[A] = [C]/[s]$). Fisicamente, uma corrente de 1 A equivale à passagem de aproximadamente $6,2 \times 10^{18}$ elétrons por segundo através da seção de um condutor (Nussenzveig, 2014).

Quanto à sua natureza e direção, distinguem-se dois conceitos: o sentido real, no qual, em condutores metálicos, a corrente é constituída pelo movimento de elétrons (cargas negativas), que se deslocam do potencial menor para o potencial maior; e o sentido convencional, em que, por razões históricas, convencionou-se que a corrente flui no sentido em que cargas positivas se moveriam (do potencial maior para o menor), sendo este o sentido adotado na análise de circuitos elétricos. A Figura 7 ilustra os sentidos da corrente convencional, em (a), e da corrente real, em (b), onde $\vec{E}$ é o campo elétrico no interior do condutor, i_v é a corrente virtual, i_r é a corrente real e $\vec{v}_a$ é a velocidade de arrasto ou de deriva.

Figura 7 - Sentidos da corrente: (a) virtual, dada por i_v ; e (b) real, dada por i_r



Fonte: adaptado de Halliday, Resnick e Walker (2016)

Microscopicamente, o estabelecimento de um campo elétrico faz com que os elétrons adquiram uma velocidade de deriva ($\vec{v}_a$), caracterizada por um movimento de arrasto lento e ordenado que se sobrepõe ao movimento térmico caótico. Embora essa velocidade de deriva seja surpreendentemente baixa (da ordem de mm/h), a energia elétrica propaga-se no circuito com velocidade próxima à da luz, pois o campo elétrico atua sobre todos os elétrons do condutor quase instantaneamente.

A Lei de Ohm estabelece que existe uma relação direta entre a tensão V e a corrente i em componentes ditos ôhmicos, desde que sejam mantidas constantes as condições físicas do sistema, especialmente a temperatura, fator frequentemente negligenciado. A Lei de Ohm pode ser expressa pela Equação 3.

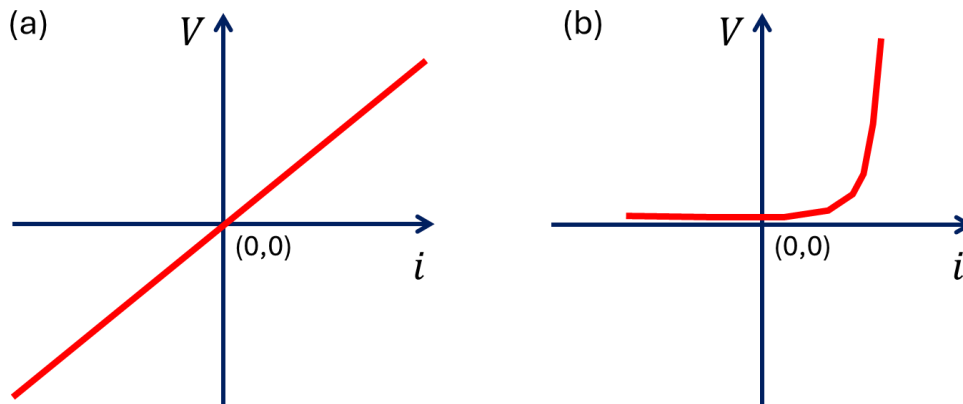
$$R = \frac{V}{i} \quad \text{Equação 3}$$

Do ponto de vista microscópico, a Lei de Ohm mostra que a densidade de corrente $\vec{j}$ em um condutor isotrópico é proporcional ao campo elétrico aplicado $\vec{E}$, sendo expressa pela equação constitutiva $\vec{j} = \sigma \vec{E}$, em que σ é a condutividade do material (Nussenzveig, 2014).

Para materiais denominados ôhmicos, a resistência R é independente da diferença de potencial V aplicada. Por outro lado, existem materiais cuja resistência varia com a tensão, sendo classificados como não ôhmicos. A compreensão adequada dessa lei requer o reconhecimento de seus limites e alcances: embora seja uma excelente aproximação para a maioria dos metais sob campos elétricos moderados, ela não descreve adequadamente dispositivos não ôhmicos, como semicondutores e diodos, nos quais a relação entre corrente e tensão é não linear.

A Figura 8(a) apresenta um comportamento linear típico de um componente ôhmico, como um resistor, enquanto a curva mostrada na Figura 8(b), por seu formato não linear, está associada a componentes não ôhmicos, como, por exemplo, o diodo.

Figura 8 - Curva da tensão versus a corrente para o comportamento ôhmico de um componente, em (a); e para o comportamento não ôhmico, em (b)



Fonte: autor

A Lei de Ohm, tradicionalmente expressa na forma macroscópica pela Equação 3, pode ser compreendida, em nível microscópico, a partir da dinâmica dos portadores de carga em um material condutor, que descreve os elétrons como partículas livres sujeitas a colisões com a rede cristalina.

Quando um campo elétrico $\vec{E}$ é aplicado a um condutor, os elétrons de carga $-e$ e massa m passam a sofrer a ação de uma força elétrica $\vec{F} = -e\vec{E}$. A dinâmica desses portadores pode ser descrita pela equação de movimento, descrita na Equação 4, que incorpora um termo dissipativo associado às colisões, caracterizadas por um tempo médio entre eventos, denominado tempo de relaxação τ , com velocidade $\vec{v}$.

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = -e\vec{E} - \frac{m\vec{v}}{\tau} \quad \text{Equação 4}$$

No regime estacionário, em que a velocidade média dos elétrons $\vec{v}$ não varia no tempo, obtém-se a chamada velocidade de arrasto $\vec{v}_a$, como mostra a Equação 5, que mostra o campo elétrico é capaz de induzir um movimento ordenado dos elétrons, sobreposto ao movimento térmico aleatório.

$$\vec{v}_a = -\frac{e\tau}{m}\vec{E} \quad \text{Equação 5}$$

Define-se a densidade de corrente elétrica $\vec{j}$ como uma grandeza vetorial que descreve como a corrente elétrica se distribui em uma área de um material condutor. Em outras palavras, ela indica quanto de corrente passa por unidade de área de uma seção transversal. Assim, matematicamente, a densidade de corrente é descrita pela Equação 6, onde n é o número de portadores por unidade de volume, e é a carga do elétron e $\vec{v}_a$ é a velocidade de arrasto.

$$\vec{J} = -ne\vec{v}_a \quad \text{Equação 6}$$

Substituindo a Equação 5 na Equação 6, temos a densidade de corrente escrita como dependente do campo elétrico e, deste modo, identifica-se a condutividade elétrica do material como σ , descrito pela relação mostrada na Equação 7, que mostra a Lei de Ohm como uma lei constitutiva que emerge das interações entre os elétrons e a estrutura do material.

$$\vec{J} = \left(\frac{ne^2\tau}{m} \right) \vec{E} = \sigma \vec{E} \rightarrow \vec{J} = \sigma \vec{E} \quad \text{Equação 7}$$

A Equação 7 estabelece uma conexão direta entre grandezas microscópicas, como a densidade de portadores n , o tempo de relaxação τ e a massa do elétron, e o comportamento macroscópico observado. Além disso, a resistência elétrica, descrita pela Equação 1, pode ser relacionada à condutividade por meio da Equação 8 e, por consequência, a condutividade e a resistividade se relacionam por $\sigma = 1/\rho$.

$$R = \frac{L}{\sigma A} \quad \text{Equação 8}$$

Essa perspectiva apresenta limitações, uma vez que se baseia em pressupostos clássicos. Embora forneça uma descrição qualitativa adequada para metais em condições moderadas, ele não explica satisfatoriamente fenômenos observados em semicondutores e outros materiais não ôhmicos, como por exemplo, àquele mostrado na Figura 8(b). Para tais casos, torna-se necessário recorrer a modelos mais sofisticados, fundamentados na mecânica quântica e a teoria de bandas.

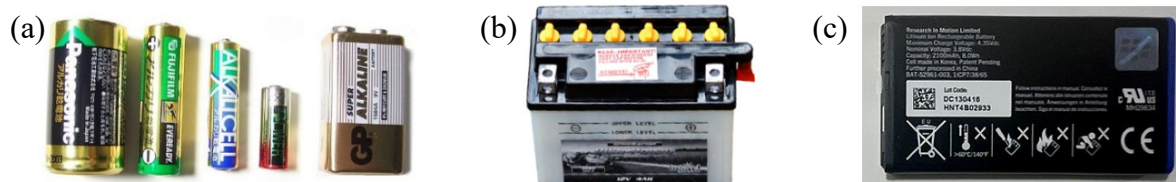
3.2 A RESISTÊNCIA INTERNA DE UMA BATERIA

Uma bateria é um dispositivo capaz de converter energia química em energia elétrica, fornecendo uma diferença de potencial entre seus terminais e possibilitando o estabelecimento de corrente elétrica em um circuito. Esse processo ocorre por meio de reações químicas internas, especificamente reações de oxirredução, nas quais há transferência de elétrons entre substâncias químicas.

Em termos estruturais, uma bateria é composta por dois eletrodos, chamados de ânodo e o cátodo, imersos em um meio condutor iônico denominado eletrólito. No ânodo, ocorre a oxidação, processo no qual há liberação de elétrons. No cátodo, ocorre a redução, caracterizada pela recepção desses elétrons. Quando os terminais da bateria são conectados a um circuito

externo, estabelece-se um fluxo ordenado de elétrons através do condutor, originando a corrente elétrica. A Figura 9 mostra alguns exemplos de baterias de conhecimento comum.

Figura 9 - Exemplos de baterias: (a) pilhas; (b) bateria de moto; e (c) bateria de celular



Fonte: Adaptado de <https://pixabay.com/pt/>, acesso em abril de 2026

Do ponto de vista físico, a bateria atua como uma fonte de força eletromotriz, chama de *fem*, mantendo uma diferença de potencial constante entre seus polos. Essa diferença de potencial gera um campo elétrico no interior do circuito, que exerce força sobre os portadores de carga, promovendo seu movimento ordenado. Assim, a corrente elétrica não é criada pela bateria, mas resulta da ação do campo elétrico estabelecido por ela, que fornece energia às cargas para que se desloquem ao longo do circuito, como apresentado anteriormente quando discutido a Lei de Ohm.

É importante destacar que, no interior da bateria, o transporte de carga ocorre predominantemente por meio de íons no eletrólito, enquanto, no circuito externo, a condução é realizada por elétrons. Esse mecanismo garante a continuidade do fluxo de cargas e a conservação da carga elétrica no sistema como um todo.

A *fem*, comumente representada por ε , não é uma força no sentido dinâmico, mas sim uma grandeza escalar que representa o trabalho realizado pela fonte por unidade de carga para transferir portadores do terminal de menor potencial para o de maior potencial. Utilizando o cálculo diferencial, definimos ε como a taxa de variação do trabalho (W) em relação à carga (q), assim como mostra a Equação 9.

$$\varepsilon = \frac{dW}{dq} \quad \text{Equação 9}$$

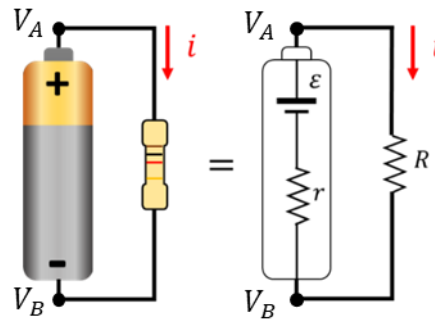
Para manter uma corrente estacionária $i = dt/dq$ durante um intervalo de tempo dt , a fonte deve realizar um trabalho infinitesimal dW , como mostra a Equação 10.

$$dW = (\varepsilon i) dt \quad \text{Equação 10}$$

Diferente de uma fonte de tensão ideal, que manteria uma diferença de potencial constante independentemente da demanda do circuito, uma fonte real apresenta uma limitação física intrínseca: a oposição ao movimento das cargas em seu próprio interior. Esse fenômeno

é modelado pela resistência interna (r), que decorre da constituição química (em baterias) ou física (em geradores) dos materiais que compõem o dispositivo. A Figura 10 mostra uma ilustração de uma bateria, de *fem* ε e resistência interna representada por r , ligada a um resistor R com diferença de potencial dada por $(V_A - V_B)$ e é atravessada por uma corrente i .

Figura 10 - Circuito formado por uma bateria, de *fem* ε e resistência interna r , e um resistor R , atravessado por uma corrente i



Fonte: autor

A Figura 10 mostra que em uma fonte real percorrida por uma corrente i , a diferença de potencial $(V_A - V_B)$ medida entre seus terminais da fonte, denominada voltagem terminal, é sempre menor que a *fem* ε devido à queda de tensão interna (ir). O resultado da aplicação da lei das malhas de Kirchhoff em um circuito de malha única com uma carga externa R é mostrado na Equação 11.

$$(V_A - V_B) = (\varepsilon - ir) = iR \quad \text{Equação 11}$$

Isolando a corrente i na Equação 11, é obtida a expressão da corrente do circuito i como dependente tanto do resistor de carga externa e da resistência interna da bateria, como mostra a Equação 12.

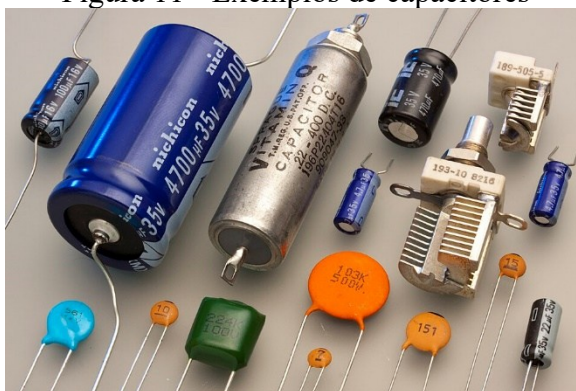
$$i = \frac{\varepsilon}{R + r} \quad \text{Equação 12}$$

Estudar a análise de um circuito com uma bateria real é importante porque permite compreender o comportamento mais próximo da realidade, considerando efeitos como a resistência interna, quedas de tensão e perdas de energia. Isso torna as previsões mais precisas e ajuda a explicar diferenças entre modelos ideais e circuitos reais observados em experimentos e aplicações práticas. A Equação 12 indica que nem todo circuito terá a mesma resposta para diferentes baterias, vai depender de como será comparada os valores de R e r .

3.3 CAPACITORES E O CIRCUITO RC

Um capacitor é um dispositivo eletrônico capaz de armazenar energia elétrica na forma de campo elétrico. Ele é formado, de maneira geral, por dois condutores, normalmente placas metálicas, separados por um material isolante chamado dielétrico, que pode ser ar, cerâmica, papel, plástico, mica ou outros materiais. A Figura 11 mostra que os capacitores podem ser encontrados em diferentes modelos, tamanhos e formas.

Figura 11 - Exemplos de capacitores



Fonte: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Capacitors_\(7189597135\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Capacitors_(7189597135).jpg), acesso em abril de 2026

A capacitância, C , de um capacitor é definida como a razão entre o módulo da carga elétrica Q armazenada em qualquer um dos condutores e a diferença de potencial V entre eles, conforme apresentado na Equação 13.

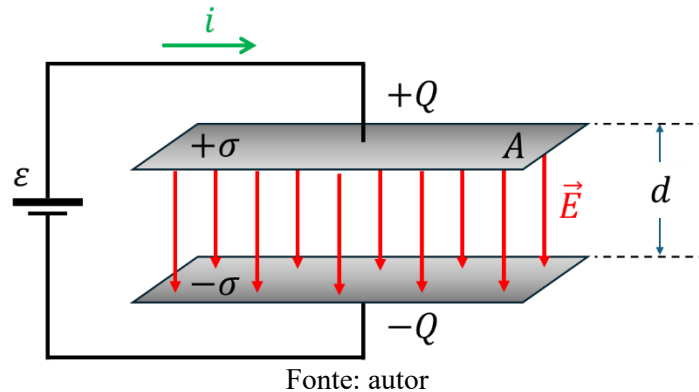
$$C = \frac{Q}{V} \quad \text{Equação 13}$$

É importante ressaltar que a capacitância é uma propriedade que depende exclusivamente da geometria das placas (forma, dimensões e separação) e do material isolante presente entre elas, não dependendo diretamente do valor da carga armazenada nem da tensão aplicada. No SI, a unidade de capacitância é o farad (F), definido como coulomb por volt, ou seja, $[F]=[C]/[V]$. Como o farad é uma unidade muito grande para a maioria das aplicações práticas, utilizam-se frequentemente seus submúltiplos, como o microfarad (μF), o nanofarad (nF) e o picofarad (pF).

O capacitor de placas paralelas consiste em um par de placas metálicas condutoras, paralelas, com área A , separadas por uma distância d , como mostrado na Figura 12, que ilustra um circuito formado por uma bateria de tensão ε e um capacitor de placas paralelas, as superfícies internas das placas apresentam cargas de mesmo módulo Q e sinais opostos ($+Q$ e

$-Q$). Na região central entre as placas, o campo elétrico $\vec{E}$ pode ser considerado uniforme, apresentando linhas de campo paralelas e igualmente espaçadas. A intensidade desse campo é proporcional à densidade superficial de carga, definida por $\sigma = Q/A$, sendo expressa pela relação $E = \sigma/\epsilon_0 = Q/(\epsilon_0 A)$, em que ϵ_0 representa a permissividade elétrica do vácuo.

Figura 12 - Capacitor de placas paralelas ligada a uma bateria



Fonte: autor

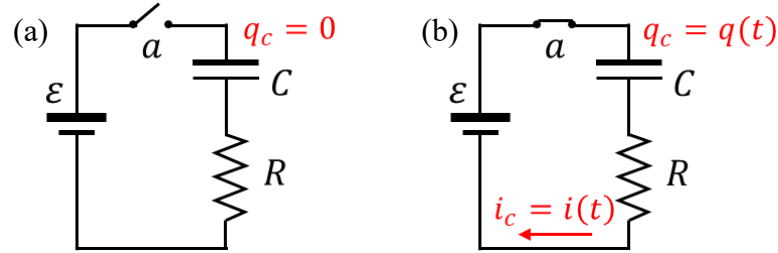
A capacitância do capacitor de placas paralelas, C_p , é definida como na Equação 14, substituindo as relações de campo e potencial ($E = V/d$). Outros tipos de capacitores têm outras equações que descrevem o comportamento da capacitância, ou seja, são fortemente dependentes de suas características de forma.

$$C_p = \frac{\epsilon_0 A}{d} \quad \text{Equação 14}$$

Um circuito RC é um circuito elétrico formado, basicamente, por um resistor, R , e um capacitor, C , conectados em série ou em paralelo a uma fonte de tensão. O circuito RC pode ser usado nos processos de carga e descarga sobre o capacitor. As expressões característica de cada processo descrevem como a carga elétrica varia no tempo sobre o capacitor.

Na análise de um circuito RC durante o processo de carga, a representação mostrada na Figura 13(a) considera uma fonte de tensão ϵ , uma chave a , um capacitor C e um resistor R , todos conectados em série. Inicialmente, o capacitor encontra-se descarregado, isto é, apresenta carga igual a zero no instante $t = 0$. Enquanto a chave a permanece aberta, não há circulação de corrente elétrica no circuito. Entretanto, ao fechar a chave, como mostra a Figura 13(b), estabelece-se uma corrente elétrica i_c que promove o carregamento gradual do capacitor até atingir sua carga máxima. Nesse estado final, a corrente no circuito torna-se nula.

Figura 13 - (a) Circuito RC com uma fonte com a chave a aberta; (b) com a chave a fechada;



Fonte: autor

A partir da aplicação das Leis de Kirchhoff ao circuito, obtém-se a Equação 15, que descreve matematicamente o comportamento da tensão V_{CC} no capacitor em função do tempo t . A solução da equação diferencial associada à Equação 15 fornece a expressão analítica para a evolução temporal de V_{CC} durante a carga, apresentada na Equação 16. Nessa expressão, o parâmetro τ , definido pela Equação 17, corresponde à constante de tempo do circuito. Sua unidade dimensional é de tempo, pois resulta do produto entre resistência e capacitância. No SI, τ é expresso em segundos (s).

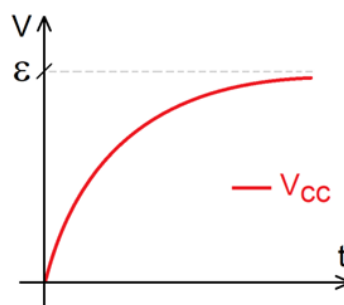
Fisicamente, a constante de tempo representa o intervalo necessário para que a diferença de potencial no capacitor atinja a fração $(1 - e^{-1})$ de seu valor final, o que corresponde aproximadamente a 63% da tensão máxima ε . A curva descrita pela Equação 16 é apresentada na Figura 14. No limite em que $t \rightarrow \infty$, verifica-se que $V_{CC} \rightarrow \varepsilon$, indicando que o capacitor atingiu o estado de carga completa.

$$\frac{dV_{CC}}{dt} + \frac{1}{RC}V_{CC} - \frac{\varepsilon}{RC} = 0 \quad \text{Equação 15}$$

$$V_{CC}(t) = \varepsilon \left[1 - \exp \left(-\frac{t}{\tau} \right) \right] \quad \text{Equação 16}$$

$$\tau = RC \quad \text{Equação 17}$$

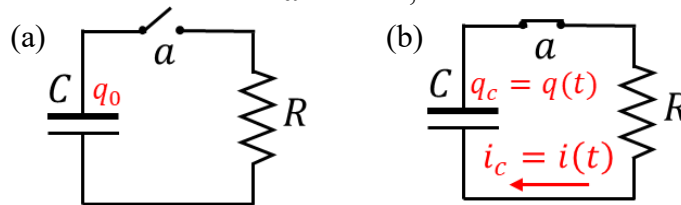
Figura 14 - Comportamento da tensão sobre o capacitor no processo de carga



Fonte: autor

A Figura 15(a) apresenta um capacitor inicialmente carregado com carga q_0 , possuindo, portanto, uma diferença de potencial entre seus terminais igual a $V_0 = q_0/C$. Esse capacitor está conectado em série com um resistor R e uma chave a , que inicialmente permanece aberta. Nessa condição, não há circulação de corrente elétrica no circuito. Ao fechar a chave a , como mostra a Figura 15(b) inicia-se o processo de descarga do capacitor ao longo do tempo t . Nesse momento, surge uma corrente elétrica variável no tempo, representada por i_c , responsável pela transferência gradual das cargas armazenadas. Como consequência, a diferença de potencial nos terminais do capacitor decresce continuamente com o passar do tempo. Quando o capacitor estiver completamente descarregado, tanto a carga armazenada quanto a corrente elétrica tornam-se nulas.

Figura 15 - (a) Circuito RC com o capacitor carregado, com a chave a aberta; (b) com a chave a fechada;



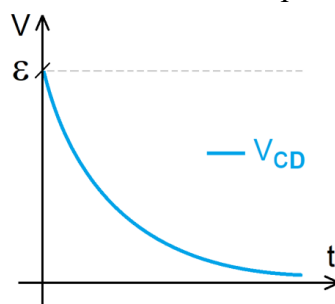
Fonte: autor

Aplicando a Lei das Malhas de Kirchhoff ao circuito, obtém-se a equação diferencial que descreve esse processo, apresentada na Equação 18, onde V_{CD} é a tensão sobre o capacitor. A solução dessa equação, dada pela Equação 18, mostra que a tensão no capacitor decai exponencialmente ao longo do tempo, partindo de seu valor inicial máximo V_0 até tender a zero quando $t \rightarrow \infty$, isto é, $V_{CD} \rightarrow 0$. O comportamento gráfico dessa função é ilustrado na Figura 16. Nesse contexto, o parâmetro τ corresponde à constante de tempo do circuito, já definida anteriormente na Equação 17. Seu valor permanece o mesmo tanto nos processos de carga quanto de descarga, desde que as características elétricas do circuito sejam mantidas constantes, isto é, a capacitância C do capacitor e a resistência R associada ao circuito não sejam alteradas.

$$\frac{dV_{CD}}{dt} + \frac{1}{RC}V_{CD} = 0 \quad \text{Equação 18}$$

$$V_{CD}(t) = \varepsilon \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad \text{Equação 19}$$

Figura 16 - Comportamento da tensão sobre o capacitor no processo de descarga



Fonte: autor

Estudar a carga e a descarga de um capacitor é importante porque esse processo concentra, de forma simples e controlável, vários conceitos fundamentais da Física e da Engenharia, além de ter aplicações diretas no cotidiano e na tecnologia.

O uso de LVAs para simular a carga e a descarga de capacitores mostra-se particularmente relevante no ensino de circuitos elétricos, pois possibilita a visualização dinâmica de fenômenos que, em experimentos tradicionais, muitas vezes são difíceis de observar em detalhes devido à rapidez das variações de corrente e tensão. Por meio dessas simulações, os estudantes podem acompanhar, em tempo real, o decaimento exponencial da diferença de potencial e da corrente elétrica, relacionando diretamente as expressões matemáticas aos fenômenos físicos observados.

Além disso, ambientes virtuais permitem manipular parâmetros que favorecem a investigação de como as grandezas envolvidas influenciam a constante de tempo do circuito. Essa abordagem contribui para uma aprendizagem mais ativa e significativa, ao integrar teoria, experimentação e análise gráfica, reduzindo limitações associadas à disponibilidade de equipamentos físicos, custos laboratoriais e riscos de montagem inadequada dos circuitos.

4 TEORIA DA APRENDIZAGEM CONSTRUTIVISTA

Este capítulo tem como objetivo apresentar os fundamentos teóricos que sustentam a perspectiva construtivista no processo de ensino e aprendizagem, com ênfase nas contribuições de Jean Piaget e Lev Vygotsky. Serão discutidos conceitos centrais, como a construção ativa do conhecimento. Além disso, o capítulo abordará o ensino de física dentro da aprendizagem construtivista, que servem para destacar a importância de práticas investigativas, do uso de tecnologias digitais e de ambientes interativos, como os LVAs, na promoção de uma aprendizagem com mais significância e contextualizada.

4.1 PRINCÍPIOS DA TEORIA CONSTRUTIVISTA

Considerado um dos principais referenciais epistemológicos do construtivismo, Jean Piaget desenvolveu uma teoria que explica a aprendizagem como um processo contínuo de adaptação entre o sujeito e o meio. A construção do conhecimento ocorre por meio da interação do estudante com o ambiente físico e social, sendo mediada por mecanismos cognitivos como a assimilação e a acomodação. Ao entrar em contato com novos objetos ou situações, o sujeito busca compreendê-los a partir de estruturas cognitivas já existentes, podendo transformá-las diante de desafios cognitivos que exigem reorganização do pensamento (Coutinho, 2022).

A partir dos estudos de Piaget, o construtivismo configura-se como uma teoria da aprendizagem segundo a qual o conhecimento é resultado de um processo em que o indivíduo constrói seu próprio saber com base em suas experiências (Alixandre, 2022). Nessa perspectiva, o conhecimento não é um produto acabado a ser transmitido pelo professor, mas sim construído ativamente pelo estudante, que assume papel protagonista ao interagir com o meio e com outras pessoas, enfrentando conflitos cognitivos e reorganizando suas estruturas mentais por meio dos processos de assimilação e acomodação (Abreu, 2010).

A construção do conhecimento ocorre, portanto, de forma ativa, a partir da interação com problemas, materiais didáticos e outros sujeitos. Além disso, a interação social desempenha papel fundamental nesse processo, pois favorece práticas colaborativas de aprendizagem, nas quais o estudante desenvolve seu conhecimento em diálogo com os colegas, sob a mediação do professor, que orienta e potencializa essas interações (Silva, 2022).

Fundamentada nos trabalhos de Piaget e Vygotsky (Dongo-Montoya, 2013), a teoria construtivista compreende a aprendizagem como um processo de construção ativa do conhecimento pelo aprendiz, e não como uma simples recepção dos conteúdos. Nessa perspectiva, o estudante assume o papel de protagonista, construindo seu conhecimento por meio da interação com o meio, seja por experiências diretas ou por relações sociais, em oposição a modelos tradicionais de ensino que atribuem ao professor uma posição central no processo educativo (Abreu et al., 2010).

Entre os princípios centrais do construtivismo, destaca-se a atividade do estudante, uma vez que é por meio da interação com o meio que o conhecimento é construído, fundamento este baseado na epistemologia genética de Piaget. Outro princípio fundamental é a mediação sociocultural, proposta por Vygotsky, segundo a qual a aprendizagem ocorre em contextos sociais, por meio da interação com pares e com indivíduos mais experientes. Nesse contexto, a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) constitui um conceito-chave para compreender como a mediação contribui para a ampliação das capacidades potenciais dos estudantes (Moreira, 1999).

Embora construtivistas, as teorias de Piaget e Vygotsky são diferentes em muitos aspectos. Um resumo destas diferenças é apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 - Diferenças entre as teorias piagetianas e vygotskiana

Aspecto	Piaget (Construtivismo)	Vygotsky (Socioconstrutivismo)
Origem do desenvolvimento	Interna ao sujeito; resulta da interação entre maturação biológica e ação sobre o meio.	Social; o desenvolvimento tem origem nas interações sociais e culturais.
Fonte para o desenvolvimento	Conflito cognitivo (desequilíbrio) que leva à assimilação e acomodação.	Interação social e mediação por sujeitos mais experientes.
Papel do professor	Facilitador que organiza situações-problema e estimula a descoberta.	Mediador ativo que orienta, intervém e promove a aprendizagem na ZDP.
Papel do aluno	Protagonista ativo que constrói seu conhecimento ao interagir com o meio.	Sujeito ativo que aprende por meio da interação social e colaboração.
O que é aprender	Processo de construção individual do conhecimento por reorganização mental.	Processo de internalização de conhecimentos socialmente construídos.
Foco da teoria	Estruturas cognitivas e estágios do desenvolvimento.	Processos sociais, linguagem e cultura no desenvolvimento cognitivo.
Conceito central	Assimilação, acomodação e equilíbrio.	ZDP e mediação.
Ensino de Física	Ênfase na descoberta, experimentação e resolução de problemas que gerem conflito cognitivo.	Ênfase na aprendizagem colaborativa, mediação docente e uso de linguagem para construção de conceitos.

Fonte: compilado de informações de Moreira (1999)

O Quadro 1 sintetiza as principais diferenças e aproximações entre as perspectivas de Piaget e Vygotsky (Moreira, 1999) no que se refere ao processo de ensino e aprendizagem. Enquanto Piaget enfatiza a construção individual do conhecimento a partir da interação do

sujeito com o meio, destacando os processos de assimilação, acomodação e o papel do conflito cognitivo, Vygotsky atribui centralidade às interações sociais, à mediação e ao contexto cultural, tendo como conceito-chave a ZDP. Em ambas as abordagens, o aluno assume papel ativo no processo de aprendizagem, embora com ênfases distintas: mais individual em Piaget e mais social em Vygotsky. No ensino de Física, essas perspectivas se complementam ao valorizar tanto a experimentação e a resolução de problemas quanto a mediação docente e o trabalho colaborativo, contribuindo para a construção de uma aprendizagem mais significativa e contextualizada.

Dessa forma, o papel do professor deixa de ser o de uma autoridade transmissora de conhecimentos para assumir a função de mediador do processo de aprendizagem, criando situações problematizadoras e contextualizadas que favoreçam a construção de significados. Essa mediação pode envolver, inclusive, o uso de tecnologias e de atividades experimentais, potencializando a aprendizagem dos estudantes.

4.2 DESENVOLVIMENTO DE HABILIDADES COM A TEORIA CONSTRUTIVISTA

Ao assumir o papel de facilitador no construtivismo, o professor orienta o processo educativo para o desenvolvimento integral do estudante, promovendo competências que vão além da simples memorização dos conteúdos. Nessa perspectiva, a interação ativa com o ambiente favorece o desenvolvimento de processos cognitivos mais elaborados, conforme apontam estudos inspirados na teoria de Piaget (Moreira, 1999). Pesquisas brasileiras recentes também indicam que essa abordagem contribui para o aprimoramento de habilidades intelectuais e sociais desde os primeiros anos da escolarização (Silva, 2022).

A abordagem construtivista estimula o desenvolvimento de habilidades cognitivas superiores, como pensamento crítico, resolução de problemas e criatividade, por meio da exploração reflexiva e da problematização (Moreira, 1999). Em situações-problema, o estudante é levado a formular hipóteses, testar ideias e analisar resultados, o que dialoga com os estágios do desenvolvimento cognitivo propostos por Piaget. Nesse processo, o pensamento crítico e a criatividade são fortalecidos à medida que o aluno confronta diferentes perspectivas e constrói interpretações próprias (Coutinho, 2022).

Além disso, o construtivismo favorece o desenvolvimento da metacognição, permitindo que o estudante tome consciência de seus próprios processos de pensamento, refletindo sobre como aprende e por que chega a determinadas conclusões (Moreira, 1999). Essa capacidade contribui para a autorregulação da aprendizagem, envolvendo planejamento, monitoramento e

autoavaliação, aspectos alinhados à perspectiva sociocultural de Vygotsky. No contexto brasileiro, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) valoriza essas competências como fundamentais para uma formação integral e dinâmica (BRASIL, 2018).

Inspiradas em Vygotsky, as abordagens socioconstrutivistas enfatizam a importância da interação social no processo de aprendizagem, valorizando atividades colaborativas, como debates e trabalhos em grupo. A ZDP evidencia o papel das interações entre pares e com sujeitos mais experientes na ampliação das capacidades cognitivas dos estudantes. Nesse contexto, desenvolvem-se também habilidades comunicativas, como a argumentação, a expressão de ideias e a construção coletiva do conhecimento (Moreira, 1999).

Desse modo, o construtivismo contribui para a formação de sujeitos autônomos, críticos e colaborativos, preparados para uma aprendizagem contínua ao longo da vida, competências essenciais no século XXI (Silva, 2022). Evidências recentes no contexto educacional brasileiro reforçam a relevância dessa abordagem, ao priorizar a construção ativa do conhecimento em detrimento de práticas passivas e transmissivas (Coutinho, 2022).

No contexto deste trabalho, adota-se uma perspectiva construtivista para compreender de que forma o produto educacional contribui para o desenvolvimento cognitivo dos estudantes, sem a vinculação exclusiva a uma teoria específica. Em atividades mediadas por laboratórios virtuais, os alunos mobilizam seus conhecimentos prévios, como a concepção de que a tensão de uma pilha é sempre constante, para interpretar os fenômenos observados nas simulações. Esse processo favorece a emergência de conflitos cognitivos e situações de desequilíbrio, especialmente quando os resultados obtidos divergem de suas expectativas, como ocorre na análise de fontes reais de tensão.

Nesse sentido, o laboratório virtual configura-se como um ambiente propício à problematização e à investigação, atuando como um catalisador de reestruturações cognitivas, nas quais o estudante é levado a revisar, ajustar e reconstruir seus esquemas de pensamento, promovendo, assim, a construção ativa do conhecimento. Essas situações de aprendizagem são potencializadas pela mediação do professor e pelas interações sociais entre os estudantes, que, por meio do diálogo, da argumentação e da colaboração, constroem significados de forma compartilhada.

4.3 O ENSINO DE FÍSICA E A TEORIA DA APRENDIZAGEM CONSTRUTIVISTA

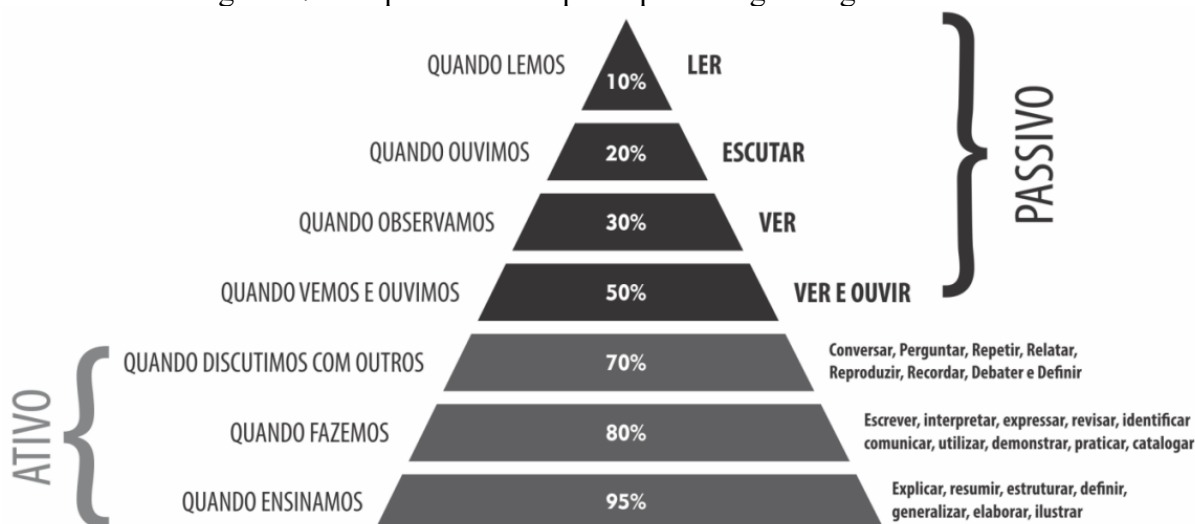
É comum que estudantes encontrem dificuldades na compreensão de conceitos abstratos em Física, o que pode se tornar uma barreira significativa à aprendizagem, gerando

desinteresse e distanciamento em relação à disciplina. Para enfrentar esse desafio, uma abordagem promissora consiste na adoção de princípios construtivistas, fundamentados nos trabalhos de Piaget e Vygotsky, que colocam o aluno no centro do processo educativo e promovem a construção ativa do conhecimento (Moreira, 1999).

O processo de ensino deve iniciar-se com um diagnóstico cuidadoso dos conhecimentos prévios dos estudantes. Antes da introdução de novos conteúdos, como as leis do movimento, é fundamental compreender as concepções iniciais da turma, como, por exemplo, a ideia, historicamente associada à física aristotélica, de que um corpo em movimento necessita de uma força constante para continuar se movendo (Coutinho, 2022).

William Glasser, embora não seja classificado estritamente como um teórico construtivista, tem a sua abordagem educacional com fortes afinidades a este movimento. Ele propôs uma pirâmide de aprendizagem mostrando que métodos passivos, como ler, ver e escutar, apresentam menor eficácia na retenção do conhecimento, enquanto métodos ativos, como discutir, praticar e ensinar, favorecem uma aprendizagem mais duradoura (Trevisan, 2022). A Figura 17 mostra um mapa conceitual que valoriza práticas e o ensino, em relação à outras ações, na perspectiva de Glasser.

Figura 17 - Mapa conceitual para aprendizagem segundo Glasser



Fonte: Trevisan (2022)

A partir desse levantamento, diferentes estratégias pedagógicas podem ser mobilizadas, como experimentos investigativos, nos quais os alunos testam hipóteses sobre fenômenos como a queda livre ou a montagem de circuitos elétricos; o uso de analogias, como a comparação entre corrente elétrica e fluxo de água; a utilização de simulações interativas, incluindo o produto educacional proposto, que permite a manipulação de variáveis e a

visualização de fenômenos; e a resolução de problemas contextualizados, relacionados a situações do cotidiano, como esportes e trânsito.

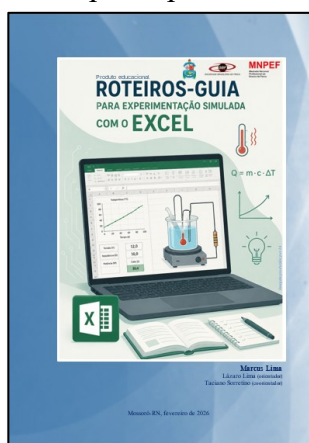
O produto educacional, que será apresentado neste trabalho, foi concebido de modo a colocar o estudante como protagonista de sua aprendizagem. Ao interagir com os laboratórios virtuais e seguir roteiros orientadores, o aluno deixa de assumir uma postura passiva e passa a atuar como investigador. Nesse processo, os roteiros incentivam a manipulação autônoma, a coleta e análise de dados, bem como a formulação e verificação de hipóteses, favorecendo a construção do conhecimento a partir da experiência e da reflexão.

Nesse modelo construtivista, o professor deixa de ocupar o papel de autoridade central e passa a atuar como mediador do processo de aprendizagem, intervindo de forma estratégica para orientar a observação, esclarecer dúvidas e promover discussões coletivas, que contribuem significativamente para a consolidação do conhecimento, especialmente após o uso de simuladores.

5 METODOLOGIA

O produto educacional *Roteiros-guia para Experimentação Simulada com Excel* foi desenvolvido no âmbito do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) com o propósito de contribuir para a melhoria do processo de ensino e aprendizagem da Física, especialmente em contextos educacionais que apresentam limitações estruturais para a realização de atividades experimentais presenciais. A proposta surge da necessidade de oferecer alternativas pedagógicas que possibilitem a integração entre teoria e prática mesmo em escolas que enfrentam dificuldades relacionadas à infraestrutura laboratorial e à conectividade digital (CETIC.BR, 2023; Cruz et al., 2024). A Figura 18 mostra a capa do produto educacional que se encontra em detalhes no Apêndice desta dissertação.

Figura 18 - Capa do produto educacional



Fonte: autor

A realidade de muitas instituições de ensino brasileiras ainda é marcada pela ausência ou insuficiência de laboratórios de Ciências adequadamente equipados, o que frequentemente leva à adoção de metodologias centradas na exposição teórica dos conteúdos, na memorização de fórmulas e na resolução mecânica de exercícios. Essa situação tende a dificultar a compreensão de conceitos abstratos da Física e a limitar o desenvolvimento de habilidades investigativas por parte dos estudantes (Moreira, 2021; Machado; Pastorio, 2022). Somam-se a esse cenário os problemas relacionados ao acesso à internet, uma vez que muitas escolas públicas convivem com restrições de conectividade ou com redes de baixa qualidade, dificultando a utilização de recursos educacionais que dependem de acesso contínuo à web (CETIC.BR, 2023; Cruz et al., 2024).

Nesse contexto, os LVAs desenvolvidos em Excel apresentam-se como uma alternativa didática acessível, flexível e de baixo custo. Por utilizar um software amplamente

difundido no ambiente educacional e profissional, a proposta reduz barreiras tecnológicas e possibilita a realização de atividades experimentais simuladas mesmo em ambientes com infraestrutura limitada. Além disso, a utilização de simulações virtuais tem demonstrado potencial para favorecer a compreensão conceitual, estimular a investigação científica e ampliar o engajamento dos estudantes durante as aulas de Física (Rebouças; Oliveira; Sousa, 2023; De Medeiros Jr.; Naia; Lopes, 2024; Cavalcante; Alexandria, 2025).

Com o objetivo de orientar a implementação pedagógica do produto, foi elaborada uma sequência didática estruturada em etapas de exploração, experimentação virtual, análise de dados e reflexão sobre os fenômenos estudados. Essa organização busca promover uma aprendizagem ativa, permitindo que os estudantes participem da construção do conhecimento por meio da observação, da manipulação de variáveis e da interpretação dos resultados obtidos nas simulações (Silva, 2022; Santos; Ney, 2025).

Para o desenvolvimento das atividades de exploração, análise e reflexão, foram previstas duas aulas de 50 minutos para cada roteiro, podendo esse planejamento ser adaptado de acordo com as necessidades e condições de cada instituição de ensino. Durante as atividades, os estudantes recebem roteiros-guia que orientam a utilização dos laboratórios virtuais, favorecendo a autonomia na realização das tarefas e estimulando a investigação dos fenômenos físicos abordados. Nesse processo, o professor assume o papel de mediador da aprendizagem, acompanhando as interações dos estudantes, esclarecendo dúvidas conceituais e promovendo discussões coletivas que contribuam para a construção significativa do conhecimento (Moreira, 2023; Coutinho, 2022).

A aplicação do produto educacional ocorreu na Escola Estadual de Educação Profissional Eusébio de Queiroz, localizada no município de Eusébio, Ceará, envolvendo turmas da 1ª e da 2ª série do Ensino Médio do curso técnico em Eletromecânica. Participaram da implementação 18 estudantes de ambos os sexos, selecionados aleatoriamente. A escolha desse curso mostrou-se particularmente adequada devido à estreita relação entre sua formação técnica e os conteúdos de eletricidade abordados nos laboratórios virtuais, favorecendo a contextualização dos conceitos físicos e sua aproximação com situações presentes na futura atuação profissional dos estudantes.

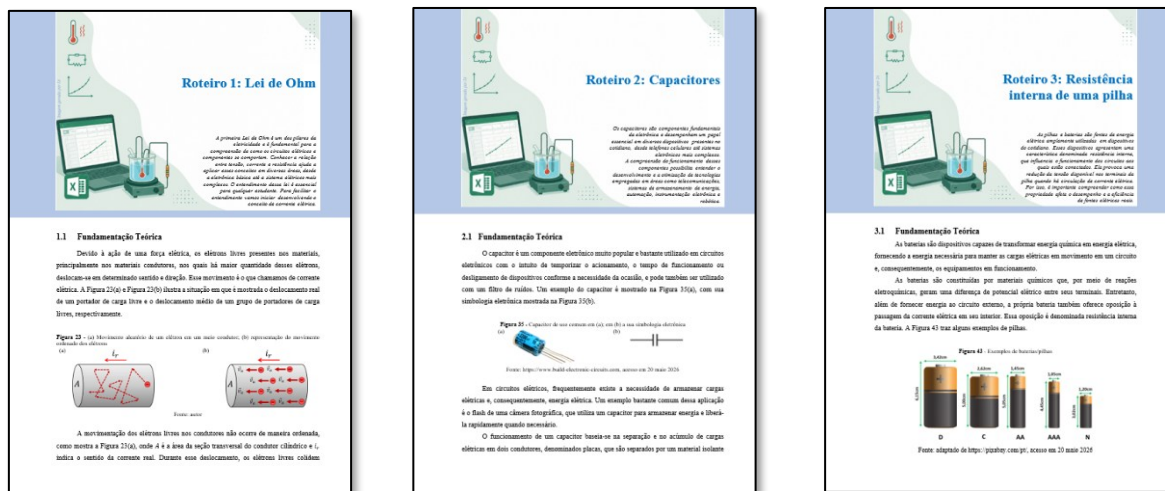
5.1 DESCRIÇÃO DOS ROTEIROS E DOS LVAs DO PRODUTO EDUCACIONAL

Os roteiros de atividades desenvolvidos para os LVAs constituem o núcleo operacional do produto educacional, desempenhando papel fundamental na organização e

condução das atividades propostas. Sua elaboração foi pautada na necessidade de oferecer aos estudantes orientações claras e sistematizadas para todas as etapas do processo investigativo, favorecendo a construção do conhecimento por meio da interação com as simulações virtuais e da análise dos fenômenos físicos estudados. A utilização de roteiros estruturados contribui para a mediação pedagógica, promovendo maior autonomia dos estudantes e favorecendo o desenvolvimento de habilidades relacionadas à investigação científica, à interpretação de dados e à resolução de problemas (Moreira, 2023; Silva, 2022; Santos; Ney, 2025).

A Figura 19 apresenta as capas dos roteiros elaborados para compor o produto educacional. Cada roteiro foi organizado de forma a integrar momentos de estudo teórico, experimentação virtual e reflexão crítica, permitindo que os estudantes estabeleçam relações entre os conceitos físicos e os resultados observados nas simulações. Essa organização está alinhada às recomendações da literatura sobre o uso de laboratórios virtuais no ensino de Física, que destaca a importância de atividades orientadas para potencializar a aprendizagem conceitual e o engajamento dos alunos (Simão et al., 2025; Sobrinho; Oliveira, 2023).

Figura 19 - Frentes dos roteiros produzidos



Fonte: autor

Os roteiros são constituídos por três seções principais. A primeira corresponde à fundamentação teórica, que apresenta os conceitos científicos necessários para a compreensão dos fenômenos abordados e fornece subsídios para a realização das atividades experimentais. A segunda seção contempla as instruções experimentais, organizadas em uma sequência lógica de procedimentos que orientam a manipulação das simulações, a coleta de dados e a realização das observações necessárias para atingir os objetivos propostos. Por fim, a terceira seção reúne as questões para reflexão, elaboradas com o propósito de estimular a análise crítica dos

resultados, a interpretação dos gráficos produzidos e a construção de explicações fundamentadas nos conceitos físicos estudados. Essa estrutura favorece uma abordagem investigativa da aprendizagem, na qual os estudantes assumem papel ativo na construção do conhecimento, enquanto o professor atua como mediador do processo educativo (Moreira, 2023; Coutinho, 2022; Cavalcante; Alexandria, 2025).

Os roteiros produzidos são chamados de roteiros-guia (Leite; Sousa; Sorretino, 2023), pois buscam articular, de forma integrada, os fundamentos teóricos presentes em cada atividade com a exploração prática dos fenômenos físicos, promovendo aproximações entre modelos ideais e situações reais. Essa abordagem favorece uma aprendizagem mais significativa, ao mesmo tempo em que estimula a autonomia dos estudantes e o desenvolvimento de competências científicas e investigativas.

De maneira geral, todos os roteiros são iniciados com momentos de exploração livre por parte dos estudantes, permitindo que eles interajam com os LVAs e construam percepções iniciais acerca dos fenômenos estudados. Ao final de cada roteiro, é apresentado um questionário destinado à avaliação da percepção dos alunos sobre os conteúdos abordados e sobre a experiência de utilização das atividades simuladas.

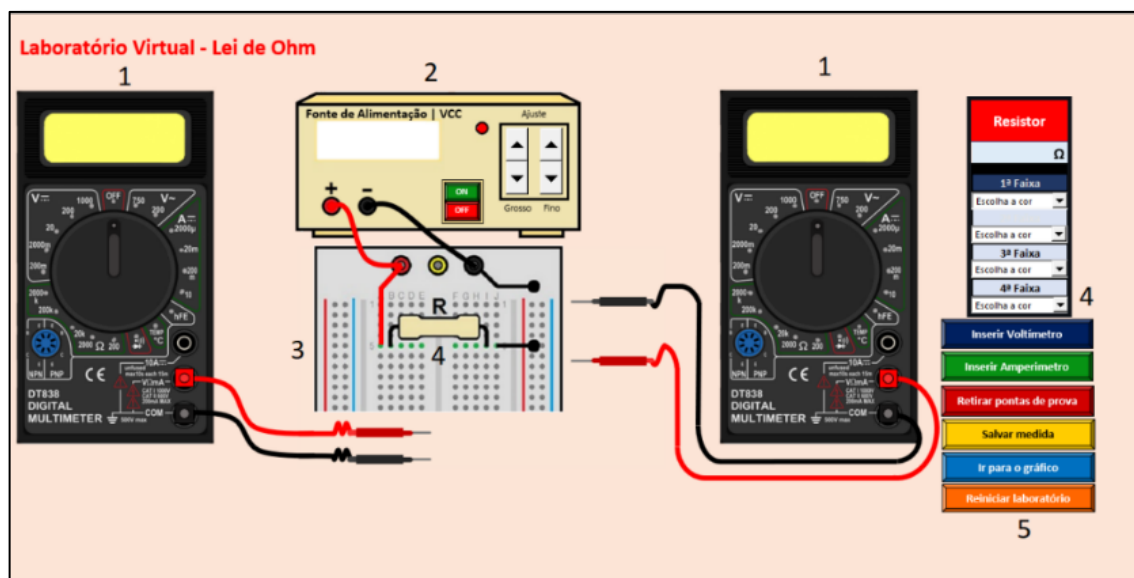
Foram utilizados três LVAs: Lei de Ohm; Capacitores; e Resistência interna de uma pilha. Eles foram produzidos pelo estudando da UFERSA, Abmael Rebouças². E cada LVA ganha um roteiro-guia.

O Roteiro 1 tem como principal finalidade promover a construção do conceito relacionado à Primeira Lei de Ohm por meio da exploração investigativa. A proposta consiste em possibilitar que os estudantes, ao manipularem o LVA e seguirem as orientações do roteiro, compreendam empiricamente as relações de proporcionalidade entre tensão elétrica e corrente elétrica em componentes ôhmicos. Essa estratégia busca favorecer a construção gradual do conhecimento, permitindo que os estudantes compreendam os significados físicos das grandezas envolvidas antes de estabelecerem relações quantitativas entre elas, aspecto considerado relevante para a aprendizagem significativa dos conceitos de Física (Moreira, 2023; Moreira, 2021).

A Figura 20 apresenta o ambiente virtual correspondente ao LVA da Lei de Ohm que é utilizado para a base da experimentação simulada.

Figura 20 - Interface do Laboratório Virtual - Lei de Ohm

² Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9773383257244864>



Fonte: autor

Inicialmente, o Roteiro 1 apresenta uma fundamentação teórica voltada aos conceitos de corrente elétrica, tensão elétrica e resistência elétrica, priorizando uma abordagem qualitativa dos fenômenos antes da formalização matemática dos conteúdos. Em seguida, é proposto um momento experimental no qual os estudantes manipulam o LVA e exploram as diferentes ferramentas disponibilizadas pelo ambiente, tais como fonte de alimentação ajustável, resistor configurável por código de cores, protoboard e dois multímetros digitais, utilizados nas funções de voltímetro e amperímetro. A utilização desses recursos permite a simulação de situações experimentais semelhantes às encontradas em laboratórios convencionais, favorecendo a interação dos estudantes com os conceitos estudados e a realização de investigações sobre o comportamento dos circuitos elétricos (Rebouças; Oliveira; Sousa, 2023; Sobrinho; Oliveira, 2023).

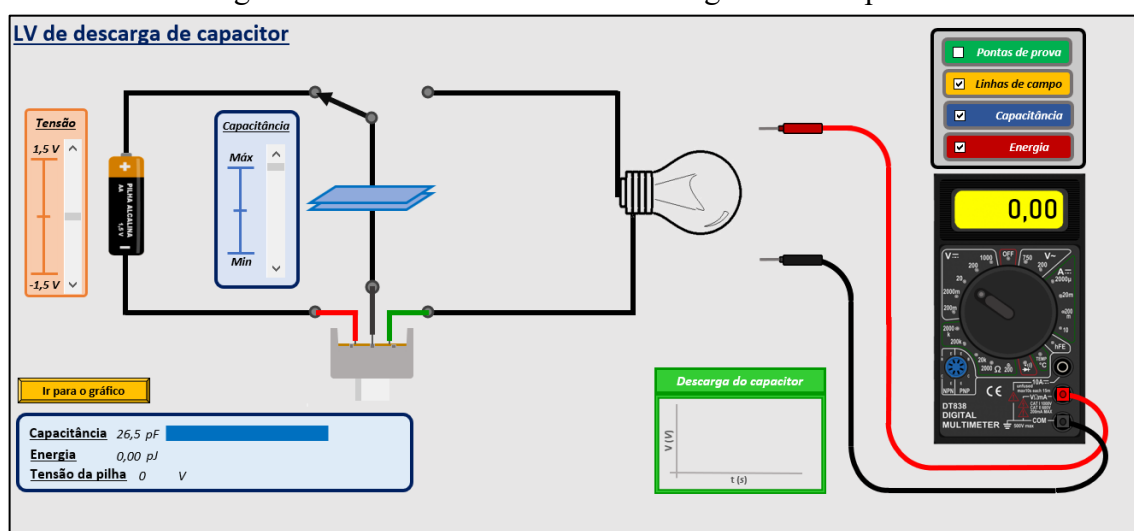
O Roteiro 1 prioriza a interpretação gráfica dos resultados obtidos durante as simulações, incentivando os estudantes a identificar relações entre as variáveis físicas investigadas e a construir explicações fundamentadas nos dados coletados. A análise gráfica constitui uma ferramenta importante para o desenvolvimento do raciocínio científico, pois possibilita a observação de tendências, padrões e comportamentos matemáticos associados aos fenômenos estudados (Cavalcante; Alexandria, 2025; Rebouças; Oliveira; Sousa, 2023).

Ao final da atividade, são apresentados exercícios reflexivos destinados a estimular uma postura mais crítica diante dos conteúdos trabalhados. Essas questões buscam promover a interpretação dos resultados obtidos, a argumentação científica e a articulação entre teoria e prática, favorecendo uma aprendizagem mais ativa e investigativa. Dessa forma, a abordagem

adotada procura contribuir para a compreensão conceitual dos fenômenos elétricos por meio da experimentação virtual, da análise de dados e da reflexão sobre os resultados observados durante as atividades propostas (Santos; Ney, 2025; Silva, 2022).

O Roteiro 2, cujo ambiente virtual é apresentado na Figura 21, aborda o processo de descarga de capacitores por meio da análise temporal de circuitos RC. Diferentemente do fenômeno estudado anteriormente, caracterizado por relações lineares, este roteiro trabalha com relações não lineares, possibilitando aos estudantes ampliar seus conhecimentos acerca da dinâmica dos circuitos elétricos e do comportamento temporal das grandezas envolvidas.

Figura 21 - Laboratório Virtual Descarga de um Capacitor



Fonte: autor

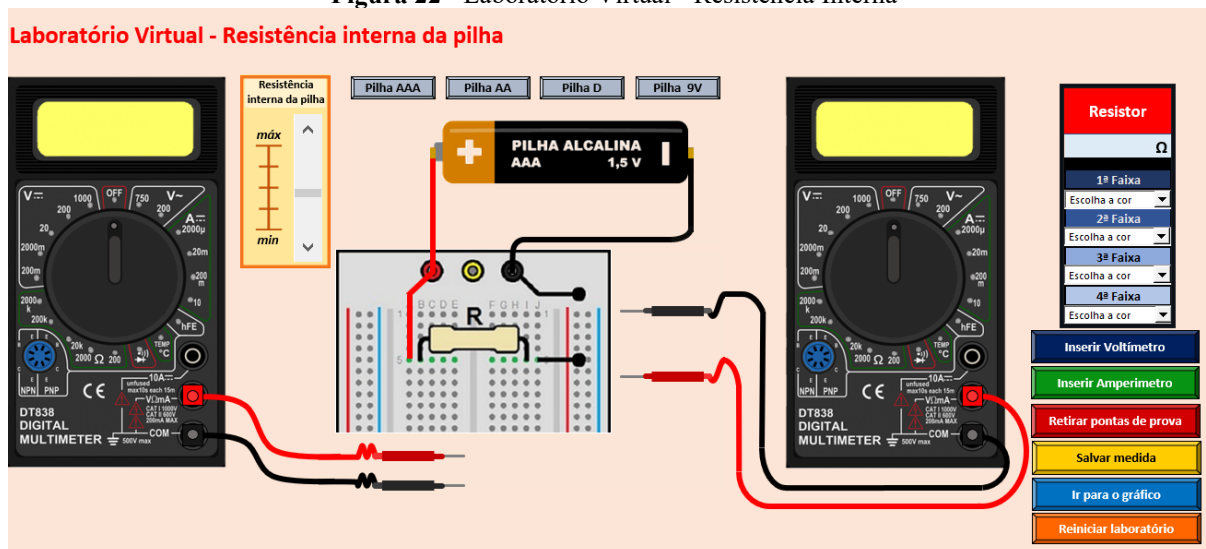
Assim como no roteiro anterior, as atividades iniciam-se com uma fundamentação teórica, seguida pela etapa de experimentação utilizando o LVA. O experimento é composto por uma fonte de tensão, representada por uma pilha, um capacitor com capacitância ajustável, um resistor representado por uma lâmpada, uma chave seletora e um voltímetro. A proposta permite que os estudantes observem, analisem e interpretem o comportamento do circuito durante os processos de carga e descarga do capacitor, relacionando os resultados obtidos aos conceitos teóricos discutidos ao longo da atividade (Halliday; Resnick; Walker, 2016; Young; Freedman, 2009; Rebouças; Oliveira; Sousa, 2023).

Os estudantes realizam medições da diferença de potencial em diferentes instantes de tempo, obtendo dados para compor uma tabela e analisar o comportamento da curva tensão $\times$ tempo. Essa atividade permite identificar o caráter exponencial da descarga do capacitor, conduzindo à discussão do conceito de constante de tempo (RC) e de sua dependência em

relação à resistência, à capacitância e ao tempo de evolução do circuito. Ao final, as questões propostas estimulam a reflexão sobre a influência da capacitância no tempo de descarga, o destino da energia armazenada no capacitor, o papel do dielétrico e a natureza não linear do processo de descarga (Halliday; Resnick; Walker, 2016; Nussenzveig, 2015; Young; Freedman, 2009).

O terceiro roteiro, denominado Roteiro 3, aborda o experimento Resistência Interna, cujo ambiente virtual é apresentado na Figura 22. Assim como nos roteiros anteriores, a atividade inicia-se com uma fundamentação teórica, seguida da etapa experimental e de exercícios propostos. O principal objetivo desse experimento é possibilitar que o estudante compreenda as limitações das fontes reais de tensão, introduzindo o conceito de resistência interna de geradores elétricos. Busca-se, dessa forma, superar a concepção bastante comum de que fontes elétricas, como pilhas e baterias, fornecem sempre uma tensão constante, independentemente das características do circuito ao qual estão conectadas (Rebouças; Oliveira; Sousa, 2023).

Figura 22 - Laboratório Virtual - Resistência Interna



Fonte: autor

O LVA da Figura 22 disponibiliza diferentes tipos de pilhas (AAA, AA, D e 9 V), controle da resistência interna, resistor externo ajustável e instrumentos de medida. Durante a exploração da simulação, espera-se que o aluno perceba que, à medida que a corrente elétrica aumenta, a tensão fornecida aos terminais da pilha diminui. Essa diferença entre a tensão nominal e a tensão medida pode ser interpretada como a queda de tensão associada à resistência interna da pilha. As questões propostas buscam incentivar a investigação e a formulação de hipóteses com base nos dados coletados e analisados por meio de gráficos.

Inicialmente, os alunos foram informados de que utilizariam um LVA durante as aulas sobre eletricidade. Em seguida, foram conduzidos ao laboratório de informática, que possuía 30 computadores, embora, no momento da aplicação do produto educacional, apenas nove estivessem disponíveis para uso. Dessa forma, os estudantes foram organizados em duplas, estratégia que favoreceu a interação, o diálogo e a aprendizagem colaborativa. Após receberem os roteiros impressos, os participantes foram incentivados a explorar o ambiente virtual de maneira autônoma, realizando as atividades propostas e construindo seus conhecimentos por meio da investigação.

5.2 JUSTIFICATIVA DE USO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Muitas escolas brasileiras de ensino médio enfrentam problemas de infraestrutura, como a ausência de laboratórios físicos e limitações ou inexistência de acesso à internet. Segundo Melo et al. (2020), essas dificuldades impedem a utilização de diversas ferramentas educacionais digitais, como o PhET, restringindo as possibilidades de experimentação e aprendizagem em Ciências. Além disso, dados da TIC Educação (2022) indicam que cerca de 80% dos professores não possuem formação específica voltada ao uso de tecnologias digitais no contexto educacional. Esse cenário evidencia a necessidade de soluções acessíveis, de fácil implementação e que possam ser utilizadas de forma offline, ampliando as oportunidades de aprendizagem para estudantes e professores.

Nesse contexto, o produto educacional proposto configura-se como uma alternativa pedagógica viável e de baixo custo. Desenvolvido com base no Excel, um software amplamente conhecido e disponível em grande parte das instituições de ensino, o recurso apresenta potencial para a modelagem matemática, a análise de dados e a construção de gráficos, competências fundamentais para a formação científica dos estudantes. Além disso, sua utilização favorece a mediação docente, estimula o engajamento dos alunos e contribui para a democratização do acesso ao conhecimento científico, alinhando-se a estudos que apontam ganhos significativos na aprendizagem por meio do uso de simulações virtuais (Cavalcante; Alexandria, 2024).

Por ser de fácil utilização e elevada replicabilidade, o produto pode ser adaptado às mais diversas realidades educacionais do país. Sua aplicação não depende de conexão com a internet e exige apenas conhecimentos básicos de informática, tornando-o acessível a professores e estudantes de diferentes contextos escolares. O Quadro 2 apresenta uma comparação entre os LVA online e offline, destacando as principais características e vantagens de cada abordagem.

Quadro 2 - Comparação Online versus Offline

Aspecto	LVA's Online (ex.: PhET)	LVA's offline (produto)
Dependência de internet	Alta	Nenhuma
Custo/Infraestrutura	Média-Alta	Baixo
Flexibilidade offline	Baixa	Alta
Facilidade de adaptação	Média	Alta

Fonte: autor

Essa prática simulada não tem a intenção de substituir o laboratório físico, e sim de ampliar as possibilidades de acesso ao conhecimento principalmente para escolas muito remotas, onde talvez não tenha conexão com a internet.

5.3 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A proposta pedagógica foi estruturada na forma de uma sequência didática destinada à construção gradual dos conceitos fundamentais da Eletricidade no Ensino Médio. Organizada em etapas articuladas e progressivas, a sequência busca promover a aprendizagem por meio da integração entre fundamentação teórica, experimentação virtual, análise de resultados e reflexão sobre os fenômenos estudados. Essa organização favorece a participação ativa dos estudantes no processo de construção do conhecimento, aproximando-se de abordagens investigativas e de metodologias que valorizam a interação entre teoria e prática (Santos; Ney, 2025; Silva, 2022; Moreira, 2023).

A primeira etapa da sequência didática corresponde à apresentação dos conceitos teóricos necessários para o desenvolvimento das atividades experimentais. Em seguida, os estudantes são conduzidos à exploração dos LVAs, realizando observações, manipulações e coleta de informações a partir das simulações propostas. Por fim, são desenvolvidas atividades de sistematização e reflexão, por meio de questões orientadoras que permitem a análise dos resultados obtidos e sua discussão com o professor, favorecendo a consolidação dos conhecimentos construídos ao longo do processo (Simão et al., 2025; Sobrinho; Oliveira, 2023).

No Roteiro 1, a sequência didática enfatiza a exploração investigativa do ambiente virtual, buscando favorecer a compreensão das relações entre tensão elétrica, corrente elétrica e resistência elétrica. Nessa etapa, os estudantes são incentivados a manipular livremente as ferramentas disponíveis no LVA, estabelecendo relações entre as grandezas físicas observadas e os conceitos teóricos correspondentes. O roteiro apresenta inicialmente os recursos do ambiente virtual e suas funcionalidades, permitindo que os alunos desenvolvam suas primeiras

interpretações sobre o comportamento dos circuitos elétricos de maneira relativamente autônoma (Rebouças; Oliveira; Sousa, 2023).

Nos Roteiros 2, a sequência didática avança para os conteúdos que demandam maior aprofundamento conceitual. Nesses momentos, há uma ampliação da fundamentação teórica inicial, fornecendo aos estudantes os conhecimentos necessários para compreender os fenômenos investigados durante as simulações. Após a realização das atividades experimentais orientadas, os alunos respondem às questões propostas, analisam os dados coletados e discutem os resultados obtidos, favorecendo a consolidação dos conceitos estudados (Halliday; Resnick; Walker, 2016; Nussenzveig, 2015; Young; Freedman, 2009).

Ao longo de toda a sequência didática, as atividades foram planejadas para estimular a observação, a investigação, a interpretação de gráficos, a argumentação científica e a resolução de problemas. As interações estabelecidas entre os estudantes, os ambientes virtuais e o professor contribuem para o desenvolvimento do pensamento crítico e para a construção coletiva do conhecimento, aspectos amplamente reconhecidos como fundamentais para a aprendizagem em Ciências (Moreira, 2023; Santos; Ney, 2025). A Figura 23 mostra um destes momentos de aplicação dos roteiros-guia.

Figura 23 - Registros da aplicação dos roteiros-guia



Fonte: autor

Observa-se, portanto, uma progressão metodológica característica de uma sequência didática, na qual as atividades são organizadas de forma encadeada e crescente em complexidade. Inicialmente, os estudantes recebem maior suporte por meio dos roteiros e da fundamentação teórica; posteriormente, ampliam sua autonomia durante a exploração dos

ambientes virtuais; e, por fim, são conduzidos a etapas de análise, discussão e reflexão crítica sobre os fenômenos investigados. Essa estrutura busca favorecer não apenas a aprendizagem dos conteúdos de Física, mas também o desenvolvimento de competências investigativas, analíticas e científicas necessárias à formação dos estudantes (Silva, 2022; Moreira, 2023; Simão et al., 2025).

5.4 DESCRIÇÃO DO PÚBLICO-ALVO

O produto educacional foi aplicado na escola EEEP Eusébio de Queiroz, localizada no município de Eusébio-CE, com estudantes da 1ª e da 2ª séries do Ensino Médio do curso técnico em Eletromecânica. Trata-se de 19 alunos matriculados em regime de tempo integral, com idades entre 14 e 16 anos, inseridos em uma formação na qual a Física desempenha papel fundamental tanto para o desenvolvimento acadêmico quanto para a futura atuação profissional.

Os estudantes já possuíam contato prévio com os conteúdos introdutórios de Eletricidade, abordados tanto nas aulas de Física quanto em disciplinas da formação técnica. Embora esse contato inicial seja importante para a construção dos conhecimentos subsequentes, ele é frequentemente caracterizado por uma abordagem fragmentada e predominantemente teórica, com poucas oportunidades para a experimentação, a investigação e a articulação entre os conceitos estudados e suas aplicações práticas.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados e analisados os resultados obtidos a partir da aplicação do produto educacional. Mais do que uma simples exposição dos dados coletados, busca-se realizar uma análise triangulada, articulando três perspectivas fundamentais e complementares: a visão dos estudantes, compreendidos como sujeitos ativos na construção do conhecimento, cuja análise baseia-se nas respostas registradas nos roteiros de atividades; a visão do professor, enquanto mediador do processo de ensino e aprendizagem; e a avaliação do próprio produto educacional, considerado como uma ferramenta pedagógica submetida à análise de sua viabilidade, aplicabilidade e potencial contribuição para a aprendizagem dos conteúdos de Física.

Os LVAs utilizados nesta pesquisa apresentam estreita relação com os pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa, uma vez que favorecem a conexão entre novos conhecimentos e conceitos previamente existentes na estrutura cognitiva dos estudantes, contribuindo para uma aprendizagem mais consistente e duradoura (Moreira, 2021; Moreira, 2023). Da mesma forma, a proposta dialoga com os princípios construtivistas ao estimular a participação ativa dos alunos na exploração dos fenômenos físicos, na formulação de hipóteses, na interpretação de resultados e na construção do próprio conhecimento a partir das interações estabelecidas com o ambiente virtual e com seus pares (Abreu et al., 2010; Alixandre, 2022; Coutinho, 2022).

Além dos aspectos teóricos que fundamentam a proposta, as atividades desenvolvidas por meio dos LVAs contribuem para o desenvolvimento de competências e habilidades previstas na BNCC. Entre elas destacam-se o pensamento científico, crítico e criativo, a comunicação, a cultura digital e a argumentação, competências que são mobilizadas durante a realização das simulações, a análise de dados, a interpretação de gráficos e as discussões promovidas ao longo da sequência didática. Dessa forma, o produto educacional busca não apenas favorecer a aprendizagem dos conteúdos de Eletricidade, mas também contribuir para a formação integral dos estudantes, preparando-os para atuar de maneira crítica, reflexiva e autônoma em diferentes contextos acadêmicos e sociais (Silva; Ramos, 2023; Silva; Bilessimo; Machado, 2021; Silveira; Santos, 2023).

6.1 ANÁLISE DAS RESPOSTAS DOS ROTEIROS-GUIA

O Roteiro 1 mostrou-se eficiente em relação ao seu principal objetivo pedagógico: possibilitar que os estudantes compreendessem a relação linear existente entre tensão elétrica,

corrente elétrica e resistência elétrica, conforme estabelecido pela 1ª Lei de Ohm. O Quadro 3 apresenta algumas das respostas obtidas durante a aplicação do roteiro, evidenciando, de forma consistente, o potencial do LVA como ferramenta mediadora da construção conceitual em Eletricidade, especialmente no que se refere à compreensão, interpretação e aplicação da Lei de Ohm (Rebouças; Oliveira; Sousa, 2023).

As respostas associadas às questões P19 e P20, do tópico 1.3 do Roteiro 1 do Quadro 3, demonstram que os estudantes foram capazes de articular adequadamente os dados obtidos no ambiente virtual, tais como os valores de tensão elétrica e corrente elétrica, com o formalismo matemático utilizado na Física. A partir da aplicação da Lei de Ohm (Halliday; Resnick; Walker, 2016; Nussenzveig, 2015), os participantes conseguiram determinar valores de resistência elétrica e verificar a coerência dos resultados encontrados, estabelecendo relações entre os dados observados e o modelo teórico estudado. Esse processo evidencia não apenas o domínio operacional das equações envolvidas, mas também a capacidade de utilizar conceitos físicos para interpretar situações experimentais.

Esse movimento de coletar dados, aplicar um modelo teórico e confrontar os resultados obtidos com as previsões do modelo representa uma prática fundamental da investigação científica e está diretamente alinhado aos objetivos do produto educacional. Além disso, os resultados sugerem que a utilização do LVA favoreceu uma aprendizagem mais ativa e significativa, permitindo aos estudantes estabelecer conexões entre a representação matemática da Lei de Ohm e o comportamento observado no circuito simulado (Moreira, 2023; Moreira, 2021; Cavalcante; Alexandria, 2025).

No que diz respeito às questões P21 e P22 do tópico 1.3 do Roteiro 1 do Quadro 3, observa-se o desenvolvimento de uma percepção metrológica relevante para o nível de ensino investigado. As respostas indicam que os estudantes foram capazes de identificar possíveis fontes de erro associadas à escolha inadequada de escalas de medição e às variações observadas nos instrumentos virtuais, estabelecendo relações com situações frequentemente encontradas em atividades experimentais reais. Embora ainda sejam perceptíveis algumas limitações conceituais, especialmente no que se refere à distinção entre erros decorrentes das características de uma simulação computacional e aqueles presentes em experimentos físicos reais, os resultados evidenciam avanços na compreensão dos processos de medição e na interpretação da qualidade dos dados obtidos. A proposição de estratégias voltadas à redução de erros, baseada na repetição de medidas, na verificação sistemática dos resultados e na análise criteriosa dos dados, demonstra o desenvolvimento de um raciocínio científico mais elaborado,

voltado para a confiabilidade das informações coletadas e para a validação dos resultados experimentais (Moreira, 2023; Moreira, 2021).

Quadro 3 - Análise das respostas dos estudantes às questões investigativas do Roteiro 1, sobre a 1ª Lei de Ohm

Pergunta do Roteiro 1	Resposta do Aluno	Análise Conceitual	Relação com o Objetivo do Produto
P19 (tópico 1.3): Como medir o valor da resistência com o laboratório virtual?	<i>"Lendo a tensão e a corrente apresentadas no voltímetro e amperímetro, após está leitura é possível aplicar tais valores na 1ª Lei de Ohm ($R = U/I$)" (Aluno 13)</i>	Demonstra compreensão do método indireto de medição de resistência via Lei de Ohm, aplicando corretamente a relação matemática.	Objetivo alcançado: Aluno utiliza a ferramenta para coletar dados e aplica teoria para calcular grandezas. Mostra integração entre simulação e formalismo matemático.
P20 (tópico 1.3): Como verificar se os valores estão de acordo com a 1ª Lei de Ohm?	<i>"Aplicando o cálculo $V = I \cdot R$ e compr[arar]" (Aluno 3)</i>	Compreende que a verificação se dá pela aplicação da fórmula fundamental e comparação dos valores.	Objetivo alcançado: Aluno usa dados experimentais virtuais para testar a validade da lei física, desenvolvendo pensamento científico de verificação.
P21 (tópico 1.3): Quais são as possíveis fontes de erro?	<i>"Na escolha inadequada na unidade de medicina [medição], o amperímetro muda seus valores com frequência durante a mudança feita nos elementos da figura" (Aluno 13)</i>	Identifica erro sistemático relacionado à escala de medição e flutuações no instrumento virtual, transferindo conceitos de laboratório real para o virtual.	Objetivo parcialmente alcançado: Desenvolve consciência metrológica, porém mostra limitação ao não distinguir completamente entre erros em simulação (determinísticos) e em experimentos reais (aleatórios/sistemáticos).
P22 (tópico 1.3): Como minimizar os erros?	<i>"Dando uma aprofundamento melhor na escolha ou seja, o aluno fazer os cálculos (1ª lei de Ohm) desde o princípio ou a cada passo/mudança de valores" (Aluno 13)</i>	Propõe metodologia de verificação contínua e cálculo sistemático como forma de aumentar confiabilidade.	Objetivo alcançado: Desenvolve estratégia de controle de qualidade dos dados, mostrando pensamento científico avançado para o nível médio.
P23 (tópico 1.3): O que acontece com a corrente quando a tensão aumenta?	<i>"Corrente também aumenta/ se r [resistência] for Constante" (Aluno 6)</i>	Resposta conceitualmente superior: Não só identifica proporcionalidade direta, mas explicita a condição de resistência constante, demonstrando compreensão das variáveis envolvidas.	Objetivo superado: Aluno não apenas observa a relação, mas formula a lei com suas condições de validade, mostrando aprendizagem significativa.
P24 (tópico 1.3): Qual a relação entre corrente e tensão?	<i>"Teoricamente diminui, mas isto não ocorre no laboratório virtual" (Aluno 14)</i>	Evidência de confronto cognitivo: O aluno tinha concepção alternativa que foi refutada pela evidência experimental virtual. Mostra reconstrução do conhecimento.	Objetivo central alcançado: O LVA funcionou como ferramenta de confronto de concepções alternativas, promovendo aprendizagem significativa por reestruturação conceitual.

Fonte: autor

As respostas às questões P23 e P24, do tópico 1.3 do Roteiro 1 do Quadro 3, revelam impactos ainda mais expressivos no âmbito conceitual. Na questão P23, a identificação da necessidade de manter a resistência constante para que a corrente elétrica varie proporcionalmente à tensão demonstra que os estudantes não apenas observaram os resultados da simulação, mas também compreenderam as condições de validade da 1ª Lei de Ohm (Halliday; Resnick; Walker, 2016; Nussenzveig, 2015). Esse resultado sugere uma apropriação mais profunda do conceito físico, ultrapassando a simples aplicação mecânica da equação e evidenciando a compreensão das relações entre as grandezas envolvidas.

Na questão P24, observa-se um processo de reconstrução conceitual particularmente relevante. As respostas indicam que concepções prévias dos estudantes foram confrontadas com as evidências fornecidas pelo ambiente virtual, favorecendo a revisão de interpretações equivocadas e a construção de explicações mais compatíveis com os modelos científicos aceitos. Esse resultado é especialmente significativo, pois demonstra que o Laboratório Virtual de Aprendizagem cumpriu um de seus principais objetivos pedagógicos: favorecer a aprendizagem significativa por meio da articulação entre conhecimentos prévios e novos conceitos, promovendo a reorganização da estrutura cognitiva dos estudantes e estimulando uma participação ativa na construção do conhecimento científico (Moreira, 2023; Moreira, 2021; Abreu et al., 2010; Alixandre, 2022).

Um dos fenômenos mais relevantes e pedagogicamente desafiadores abordados no ensino de Eletromagnetismo é a descarga exponencial de um capacitor. Diferentemente da relação linear observada na Lei de Ohm, esse fenômeno apresenta um comportamento temporal não linear, exigindo dos estudantes uma interpretação mais complexa das relações entre as variáveis envolvidas. Nesse contexto, o uso de simulações virtuais torna-se particularmente importante, pois possibilita a visualização da evolução temporal da diferença de potencial e favorece a compreensão de conceitos como constante de tempo, armazenamento de energia e processos transitórios em circuitos elétricos (Halliday; Resnick; Walker, 2016; Young; Freedman, 2009; Nussenzveig, 2015).

A análise do Quadro 4 mostra que o LVA voltado ao estudo de capacitores contribuiu de maneira significativa para a compreensão dos fenômenos associados aos processos de carga e descarga, especialmente no que se refere aos aspectos qualitativos e fenomenológicos desses fenômenos. Os resultados obtidos sugerem que a interação com o ambiente virtual favoreceu a visualização de conceitos que, tradicionalmente, apresentam elevado grau de abstração para os estudantes, permitindo uma melhor articulação entre teoria e

observação dos fenômenos simulados (Sobrinho; Oliveira, 2023; De Medeiros Jr.; Naia; Lopes, 2024).

Quadro 4 - Análise das respostas dos estudantes às questões do Roteiro 2, sobre a descarga de capacitores

Pergunta do Roteiro 2	Resposta do Aluno	Análise Conceitual	Relação com o Objetivo do Produto
P5 (tópico 2.3): Como deixar a lâmpada mais tempo ligada?	<i>"Aumenta a capacitância" (Aluno 10)</i>	Identifica corretamente a variável física (capacitância) que controla o tempo de descarga.	Objetivo alcançado: Aluno relaciona manipulação de parâmetros do LVA (aumentar C) com efeito observável (tempo de brilho).
P6 (tópico 2.3): Como a capacitância afeta o tempo de descarga?	<i>"Pois dependendo da sua capacitância, será o tanto que a pilha carregar, sabendo a quantidade de energia que gostaria para acender a lamparada" (Aluno 12)</i>	Relaciona capacitância com capacidade de armazenamento de energia, embora com confusão entre carga e energia. Mostra raciocínio qualitativo correto.	Objetivo parcialmente alcançado: Compreende relação qualitativa, mas não quantitativa. A mediação seria necessária para distinguir Q (carga) de E (energia).
P7 (tópico 2.3): O que acontece com a energia armazenada?	<i>"Ela é utilizada no funcionamento da lâmpada, ao parar do tempo que diminuem, pelo fato de estar sendo utilizada" (Aluno 12)</i>	Compreende princípio de conservação/transformação de energia: energia elétrica → energia luminosa (e térmica).	Objetivo alcançado: Desenvolve compreensão qualitativa de transformação energética em circuitos.
P8 (tópico 2.3): A descarga é um processo linear?	<i>"Não, o gráfico mostra que ao diminuir os volts o tempo muda na degradamente" (Aluno 12)</i>	Percepção importante: Identifica não-linearidade a partir da análise gráfica, usando termo "degradamente" para descrever decaimento exponencial.	Objetivo central alcançado: O LVA permitiu visualizar e identificar comportamento não-linear, diferenciando-o do linear do Roteiro 1.
	<i>"A descarga apenas diminui, então ela não é linear" (Aluno 14)</i>	Compreende que taxa de variação não é constante (definição operacional de não-linearidade).	Objetivo alcançado: Formula conclusão conceitual correta a partir da observação do fenômeno simulado.
P9 (tópico 2.3): Efeito da distância entre placas?	<i>"Ao aumentar o tempo de energia será maior, e quando diminuimos o tempo de energia será menor" (Aluno 12)</i>	Confunde relação: na verdade, $C \propto 1/d$ (capacitância inversamente proporcional à distância). Resposta mostra raciocínio incompleto.	Objetivo parcialmente alcançado: Identifica que há relação, mas não a correta. Mostra limite da exploração autônoma para conceitos contra-intuitivos.

Fonte: autor

Na questão P5, do tópico 2.3 do Roteiro 2 do Quadro 4, observa-se que o estudante identifica corretamente a capacitância como a grandeza física que influencia o tempo de permanência da lâmpada acesa durante o processo de descarga do capacitor, estabelecendo uma relação coerente entre a manipulação dos parâmetros disponíveis no ambiente virtual e os efeitos observados no circuito. Essa resposta demonstra que os participantes foram capazes de

relacionar alterações nas características do sistema com mudanças em seu comportamento, evidenciando a construção de um entendimento conceitual sobre a função da capacitância nos circuitos elétricos (Halliday; Resnick; Walker, 2016; Young; Freedman, 2009).

Esse resultado indica que o LVA favoreceu a associação entre variáveis físicas abstratas e suas consequências observáveis, permitindo aos estudantes compreenderem de forma mais concreta a influência da capacitância sobre a dinâmica do circuito. Tal aspecto está diretamente alinhado aos objetivos do produto educacional, que busca promover a aprendizagem significativa por meio da experimentação virtual, da observação de fenômenos e da construção ativa do conhecimento científico (Moreira, 2023; Moreira, 2021; Rebouças; Oliveira; Sousa, 2023).

Nas respostas às questões P6 e P7, do tópico 2.3 do Roteiro 2 do Quadro 4, observa-se um avanço relevante na compreensão dos processos energéticos envolvidos nos circuitos com capacitores. Os estudantes reconhecem que a capacitância está associada à capacidade de armazenamento do capacitor, relacionando essa característica ao fornecimento de energia necessária para o funcionamento da lâmpada durante a descarga. Embora ainda sejam identificadas algumas imprecisões conceituais, especialmente na distinção entre carga elétrica e energia armazenada, o raciocínio qualitativo apresentado mostra-se coerente e compatível com os objetivos da atividade. Esse resultado sugere que o ambiente virtual contribuiu para a construção de uma compreensão inicial acerca dos mecanismos físicos envolvidos no armazenamento e na transferência de energia em circuitos elétricos (Halliday; Resnick; Walker, 2016; Young; Freedman, 2009).

A resposta à questão P7, do tópico 2.3 do Roteiro 2 do Quadro 4, revela, ainda, a assimilação do princípio da transformação de energia, uma vez que os estudantes identificam que a energia armazenada no capacitor é convertida em outras formas de energia durante o processo de descarga, principalmente energia luminosa e energia térmica associadas ao funcionamento da lâmpada. Tal evidência reforça o potencial do Laboratório Virtual de Aprendizagem como ferramenta de apoio à construção de explicações físicas fundamentadas, favorecendo a articulação entre os conceitos teóricos e os fenômenos observados na simulação (Nussenzveig, 2015; Halliday; Resnick; Walker, 2016).

As respostas à questão P8, do tópico 2.3 do Roteiro 2 do Quadro 4, indica um dos aspectos mais relevantes da utilização do laboratório virtual: a possibilidade de visualização gráfica dos fenômenos físicos. Os estudantes identificam adequadamente o caráter não linear do processo de descarga do capacitor, ainda que recorram a uma linguagem não formal para descrever o comportamento observado. A referência a um comportamento "degradante" ou

decrecente demonstra a percepção de um processo de decaimento exponencial, distinguindo-o dos comportamentos lineares estudados anteriormente. Esse resultado indica que o LVA favoreceu a interpretação de gráficos e a construção de relações entre representações visuais e conceitos físicos, contribuindo para o desenvolvimento de habilidades analíticas importantes para a aprendizagem da Física (Rebouças; Oliveira; Sousa, 2023; Cavalcante; Alexandria, 2025).

Por outro lado, a resposta à questão P9, do tópico 2.3 do Roteiro 2 do Quadro 4, evidencia algumas limitações da exploração autônoma do ambiente virtual quando os estudantes são confrontados com relações físicas menos intuitivas, como a dependência entre a capacitância e a distância entre as placas de um capacitor. Embora os participantes percebam a existência de uma relação entre essas variáveis, a explicação apresentada não corresponde integralmente ao modelo físico aceito. Esse resultado reforça a importância da mediação docente durante o processo de aprendizagem, especialmente em conteúdos que exigem maior nível de abstração teórica e interpretação matemática, permitindo que eventuais equívocos conceituais sejam discutidos e superados (Moreira, 2023; Coutinho, 2022).

De modo geral, pela análise do Quadro 4, os resultados obtidos indicam que os LVAs foram eficazes, dentro da proposta do produto educacional, para promover a compreensão qualitativa dos fenômenos associados aos capacitores, estimular a análise gráfica e favorecer a construção de explicações físicas fundamentadas em evidências observadas durante as simulações. Ao mesmo tempo, os dados evidenciam que a intervenção pedagógica do professor continua sendo um elemento essencial para o aprofundamento conceitual e para a superação de ambiguidades interpretativas, indicando a necessidade de um equilíbrio entre a exploração autônoma proporcionada pelos ambientes virtuais e a mediação didática desenvolvida em sala de aula (Moreira, 2021; Moreira, 2023; Sobrinho; Oliveira, 2023; Simão et al., 2025).

A análise do Quadro 5 fornece informações relevantes sobre o LVA destinado ao estudo da resistência interna de uma bateria, evidenciando seu potencial como ferramenta para a introdução e a consolidação desse conceito. A resistência interna é um tema frequentemente considerado abstrato e de difícil compreensão pelos estudantes, uma vez que envolve a distinção entre fontes ideais e fontes reais de tensão, bem como a interpretação das perdas energéticas que ocorrem no interior dos geradores elétricos. Nesse contexto, o ambiente virtual mostrou-se um recurso importante para tornar tais fenômenos mais acessíveis e observáveis, favorecendo a compreensão dos conceitos envolvidos e sua relação com o funcionamento dos circuitos

elétricos (Halliday; Resnick; Walker, 2016; Nussenzveig, 2015; Young; Freedman, 2009; Rebouças; Oliveira; Sousa, 2023).

Quadro 5 - Análise das respostas dos estudantes às questões do Roteiro 3, sobre a resistência interna da pilha

Pergunta do Roteiro 3	Resposta do Aluno	Análise Conceitual	Relação com o Objetivo do Produto
P4 (tópico 3.2): O que é resistência interna?	"A resistência interna de uma pilha é a resistência elétrica interno ao gerador" (Aluno 24)	Definição conceitual precisa: Identifica a resistência como propriedade interna da fonte, não do circuito externo.	Objetivo central superado: Constrói definição formal a partir da investigação, mostrando aprendizagem significativa de conceito abstrato.
	"E a quantidade de elétrons, ou tensão retidas em uma pilha" (Aluno 9)	Modelo mental alternativo: associa resistência interna a "retenção" de elétrons ou tensão. Mostra tentativa de significação física.	Objetivo parcialmente alcançado: Compreende que há "algo" interno que afeta, mas não formaliza como resistência ôhmica.
P5 (tópico 3.3): O que o voltímetro mostra?	"A tensão atual dela, não, Pois sua carga está constantemente sendo alterada devido à retirada de energia" (Aluno 7)	Formula hipótese plausível (tensão não constante) com justificativa baseada em consumo de energia, mostrando raciocínio físico.	Objetivo alcançado: Aluno engaja no processo investigativo formulando hipótese testável, ainda que com terminologia imprecisa ("carga" vs "energia").
P6 (tópico 3.3): Resultados confirmam hipótese?	"Ele confirma" (Aluno 1) com cálculo: $1,50V - 0,42V = 1,08V$ (tensão desaparecida)	Realiza cálculo correto e conclui que dados experimentais confirmam hipótese de tensão variável.	Objetivo alcançado: Segue metodologia científica: coleta de dados → análise → conclusão sobre hipótese inicial.
P7 (tópico 3.3): Como afeta a capacidade da pilha?	"Impedidos Sua Capacidade Fornecer Energia Suficiente E Problemas No Circuito" (Aluno 9)	Compreende efeito prático: limitação na capacidade de fornecer potência/energia ao circuito externo.	Objetivo alcançado: Relaciona conceito abstrato (r) com consequência prática no funcionamento de circuitos.

Fonte: autor

As respostas à questão P4, do tópico 3.3 do Roteiro 3 do Quadro 5, mostra os diferentes níveis de elaboração conceitual entre os participantes. Em uma das respostas, o estudante apresenta uma definição adequada de resistência interna, identificando-a como uma propriedade inerente à própria bateria e distinguindo-a dos componentes presentes no circuito externo. Esse resultado sugere a construção de um conceito científico a partir das evidências obtidas durante a experimentação virtual, caracterizando um processo compatível com a aprendizagem significativa (Moreira, 2023). Em contrapartida, outra resposta evidencia a presença de uma concepção alternativa, na qual a resistência interna é associada à ideia de "retenção" de elétrons ou de tensão. Embora essa interpretação não corresponda ao modelo físico aceito, ela demonstra uma tentativa de atribuir significado ao fenômeno observado,

reforçando a importância da mediação docente para a reorganização e o refinamento dos conceitos construídos pelos estudantes (Abreu et al., 2010; Alixandre, 2022).

Na questão P5, do tópico 3.3 do Roteiro 3 do Quadro 5, observa-se que o estudante formula uma hipótese inicial coerente ao afirmar que a tensão medida não permanece constante durante o funcionamento do circuito, embora utilize terminologia imprecisa ao estabelecer relações entre carga elétrica e energia. Apesar dessa limitação conceitual, a resposta evidencia engajamento no processo investigativo e a mobilização de um raciocínio físico plausível, atendendo ao objetivo de estimular a elaboração de hipóteses fundamentadas a partir de situações-problema propostas no ambiente virtual. Esse resultado sugere que o LVA favoreceu a participação ativa dos estudantes na construção de explicações para os fenômenos observados (Moreira, 2023; Moreira, 2021).

Na questão P6, do tópico 3.3 do Roteiro 3 do Quadro 5, os dados experimentais obtidos na simulação são utilizados adequadamente para verificar a hipótese inicialmente formulada. O estudante realiza corretamente o cálculo da diferença entre a tensão nominal da bateria e a tensão medida nos seus terminais sob carga, interpretando essa diferença como evidência da variação da tensão terminal provocada pela resistência interna. Esse processo, que envolve observação, coleta de dados, análise e elaboração de conclusões, demonstra que o LVA favoreceu a vivência de etapas características da investigação científica, contribuindo para o desenvolvimento de competências que vão além da simples aplicação de fórmulas matemáticas (Rebouças; Oliveira; Sousa, 2023; Santos; Ney, 2025).

Por fim, a resposta à questão P7, do tópico 3.3 do Roteiro 3 do Quadro 5, demonstra que, mesmo quando a definição formal de resistência interna ainda não se encontra completamente consolidada, os estudantes conseguem compreender algumas de suas implicações práticas. Ao relacionar a resistência interna à limitação da capacidade da bateria de fornecer energia ao circuito, o aluno estabelece uma conexão entre o conceito físico estudado e o funcionamento real dos dispositivos elétricos, aproximando o conhecimento científico de situações presentes no cotidiano e em aplicações tecnológicas (Young; Freedman, 2009; Halliday; Resnick; Walker, 2016).

Assim, os resultados indicam que o LVA contribuiu de forma significativa para a compreensão progressiva do conceito de resistência interna da bateria, articulando observação experimental, análise de dados e construção conceitual. Os dados sugerem que o ambiente virtual favorece tanto a formulação e a verificação de hipóteses quanto a superação gradual de concepções alternativas, especialmente quando sua utilização é acompanhada por uma mediação docente adequada. Dessa forma, o laboratório virtual consolida-se como uma

ferramenta pedagógica relevante para o ensino de conceitos de Eletricidade que tradicionalmente apresentam elevado grau de abstração para os estudantes (Sobrinho; Oliveira, 2023; Simão Et Al., 2025; De Medeiros Jr.; Naia; Lopes, 2024).

6.1.1 ANÁLISE DAS RESPOSTAS SOB A PERSPECTIVA VYGOTSKYANA

Sob a perspectiva da teoria sociointeracionista de Lev Vygotsky, os dados analisados indicam que o ambiente virtual atuou como um importante instrumento de mediação da aprendizagem, favorecendo a construção do conhecimento científico por meio da interação entre os estudantes, os recursos tecnológicos e a intervenção pedagógica do professor. Nessa abordagem, o desenvolvimento cognitivo ocorre a partir das relações estabelecidas entre o sujeito e o meio sociocultural, sendo a aprendizagem um processo mediado por instrumentos, signos e interações sociais que possibilitam a internalização de novos conhecimentos (Vigotski, 2009; Oliveira, 1993).

Em diversos momentos, observa-se que os estudantes procuraram interpretar os fenômenos apresentados nos LVAs a partir de conhecimentos previamente construídos. As respostas que associam a capacitância à “quantidade de energia armazenada” ou que interpretam a resistência interna como uma forma de “retenção” de elétrons ou de tensão revelam tentativas de atribuição de significado aos fenômenos observados. Embora essas explicações não correspondam integralmente aos modelos científicos aceitos, elas representam pontos de partida importantes para a construção do conhecimento, pois evidenciam a mobilização de conceitos prévios que podem ser progressivamente reelaborados por meio das interações proporcionadas pelo ambiente de aprendizagem (Vigotski, 2009; Moreira, 2023).

O papel mediador do LVA torna-se particularmente evidente quando os estudantes são confrontados com situações que exigem a revisão de suas interpretações iniciais. Esse processo pode ser observado nas análises relacionadas à descarga de capacitores, às relações entre corrente elétrica e tensão na Lei de Ohm e à variação da tensão terminal de uma bateria em função da corrente fornecida ao circuito. Ao permitir a manipulação de variáveis, a observação de resultados imediatos e a análise de representações gráficas, o ambiente virtual cria condições para que os estudantes avancem além de suas compreensões iniciais, construindo explicações mais próximas do conhecimento científico formal (Rebouças; Oliveira; Sousa, 2023; Sobrinho; Oliveira, 2023).

Nessa perspectiva, os resultados evidenciam situações compatíveis com a ZDP, conceito central na teoria de Vygotsky. Em diversos momentos, os estudantes demonstraram compreender parcialmente determinados fenômenos, necessitando do suporte oferecido pelos

roteiros, pelas simulações e pelas intervenções do professor para avançar em suas interpretações. A mediação pedagógica mostrou-se especialmente importante em conteúdos que exigem maior nível de abstração, como a compreensão da resistência interna das baterias, da dependência da capacitância em relação às características geométricas do capacitor e da natureza exponencial dos processos de carga e descarga. Nessas situações, o professor desempenha um papel fundamental ao orientar a interpretação dos resultados e auxiliar os estudantes na construção de significados mais elaborados (Vigotski, 2009; Moreira, 2023).

As respostas analisadas também indicam processos de internalização do conhecimento científico. Conceitos inicialmente compreendidos de forma intuitiva passam a ser gradualmente reformulados à medida que os estudantes interagem com os dados experimentais, discutem suas observações e confrontam suas interpretações com os resultados obtidos. Esse movimento pode ser observado quando os alunos passam a reconhecer a condição de resistência constante para a validade da Lei de Ohm, identificam o caráter não linear da descarga de capacitores ou compreendem a resistência interna como uma propriedade intrínseca da bateria. Tais evidências sugerem que os conhecimentos construídos socialmente durante as atividades estão sendo progressivamente incorporados à estrutura cognitiva dos estudantes (Vigotski, 2009; Oliveira, 1993).

Outro aspecto relevante refere-se ao potencial dos LVAs como instrumentos mediadores da aprendizagem. Para Vygotsky, os instrumentos culturais ampliam as capacidades cognitivas dos indivíduos ao possibilitarem novas formas de interação com o conhecimento. Nesse sentido, os laboratórios virtuais funcionam como ferramentas que permitem visualizar fenômenos abstratos, testar hipóteses, analisar gráficos e estabelecer relações entre variáveis físicas que, muitas vezes, seriam difíceis de observar em contextos tradicionais de ensino. Dessa forma, os recursos tecnológicos não apenas facilitam a compreensão dos conteúdos, mas também promovem formas mais ativas de participação dos estudantes no processo educativo (Simão et al., 2025; De Medeiros Jr.; Naia; Lopes, 2024).

À luz da teoria sociointeracionista, os resultados obtidos reforçam a importância de ambientes de aprendizagem que favoreçam a interação, a investigação e a mediação pedagógica. Os LVAs mostraram-se capazes de criar condições para que os estudantes construíssem explicações progressivamente mais elaboradas sobre os fenômenos físicos estudados, ampliando sua compreensão conceitual por meio da articulação entre conhecimentos prévios, experimentação virtual e intervenção docente. Assim, a utilização desses ambientes virtuais revela-se coerente com os pressupostos de Vygotsky, ao promover uma aprendizagem

socialmente mediada e favorecer o desenvolvimento cognitivo por meio da interação entre sujeito, tecnologia e contexto educativo (Vigotski, 2009; Moreira, 2023).

6.2 AVALIAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL PELOS ALUNOS

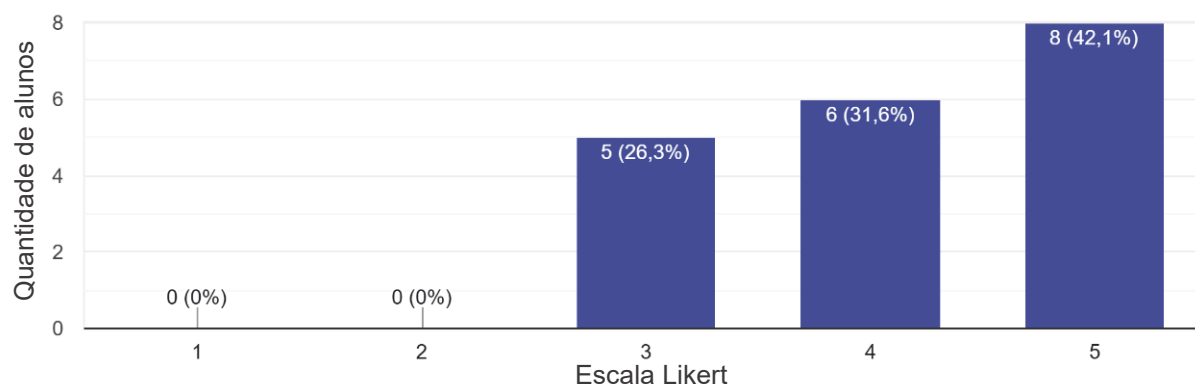
Um dos instrumentos mais utilizados em pesquisas de opinião e avaliação educacional é a Escala Likert, adotada neste estudo para mensurar, de forma estruturada, as percepções dos estudantes em relação ao produto educacional. Desenvolvida pelo psicólogo Rensis Likert em 1932, essa escala baseia-se em afirmações sobre determinado tema, permitindo que os participantes expressem diferentes níveis de concordância ou discordância. Neste trabalho, foi utilizada uma escala de cinco pontos, composta pelas seguintes categorias: 1 (Discordo totalmente), 2 (Discordo), 3 (Neutro ou Não concordo nem discordo), 4 (Concordo) e 5 (Concordo totalmente). A utilização desse instrumento possibilitou avaliar a receptividade dos estudantes em diferentes dimensões, como usabilidade, aprendizagem e engajamento (Battistel; Holz; Sauerwein, 2022; Clement et al., 2014.)

A Figura 24 apresenta os resultados da avaliação dos LVAs propostos no que se refere à usabilidade. Os dados indicam que os estudantes perceberam o ambiente virtual como intuitivo e de fácil utilização, sugerindo que os recursos desenvolvidos podem ser utilizados com relativa autonomia, mesmo com intervenções reduzidas do professor. Esse aspecto é particularmente relevante em propostas que buscam promover a aprendizagem ativa e a exploração investigativa por parte dos alunos (Silva; Ramos, 2023; Silva; Bilessimo; Machado, 2021).

Figura 24 - Nível de usabilidade dos LVAs propostos

A navegação pelas ferramentas do laboratório foi intuitiva.

19 respostas



Fonte: O autor

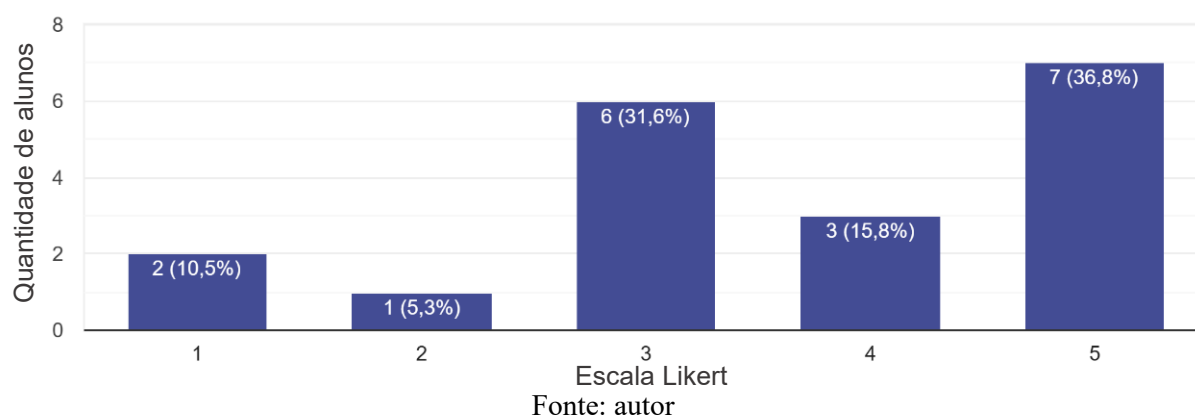
De acordo com os resultados apresentados na Figura 24, os LVAs foram avaliados positivamente quanto à navegação e à facilidade de uso. Observa-se que 73,7% dos estudantes

concordaram ou concordaram totalmente com a afirmação de que o ambiente apresenta uma navegação intuitiva, enquanto 26,3% adotaram uma posição neutra. Nenhum participante manifestou discordância em relação a esse aspecto. Esses resultados sugerem uma boa aceitação da interface desenvolvida, evidenciando que sua estrutura e organização favoreceram a interação dos estudantes com as atividades propostas.

A facilidade de navegação e a intuitividade do ambiente constituem características importantes para a adoção de tecnologias educacionais, uma vez que reduzem barreiras operacionais e permitem que os estudantes concentrem sua atenção nos conteúdos e fenômenos investigados, em vez de direcioná-la ao aprendizado do funcionamento da ferramenta. Dessa forma, os resultados obtidos indicam que os LVAs apresentam potencial para serem utilizados em diferentes contextos educacionais, contribuindo para o desenvolvimento de atividades experimentais virtuais de forma acessível e eficiente (Silveira; Santos, 2023; Simão et al., 2025).

Embora a avaliação geral da usabilidade tenha sido positiva, alguns estudantes relataram dificuldades técnicas que merecem atenção. Conforme apresentado na Figura 25, 15,8% dos participantes discordaram ou discordaram totalmente da afirmação de que tiveram poucas dificuldades técnicas durante a utilização dos LVAs, enquanto 31,6% adotaram uma posição neutra. Por outro lado, 36,8% concordaram totalmente com essa afirmação, indicando uma percepção bastante favorável quanto ao funcionamento do ambiente virtual.

Figura 25 - Nível de dificuldade técnica nos LVAs propostos
Tive poucas dificuldades técnicas durante a utilização.
19 respostas



Os resultados na Figura 25 apontam que uma parcela significativa dos estudantes considerou a experiência tecnicamente acessível, relatando poucas ou nenhuma dificuldade durante a utilização do recurso. Ao mesmo tempo, observa-se que alguns participantes

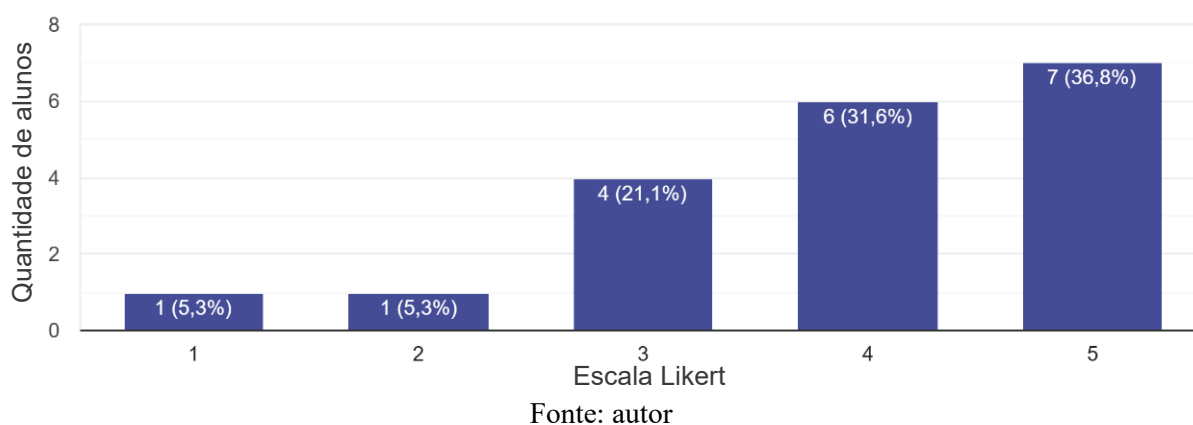
enfrentaram dificuldades pontuais, as quais, embora relevantes, não parecem ter comprometido de maneira significativa a realização das atividades propostas. Dessa forma, a avaliação geral pode ser considerada predominantemente positiva no que se refere à usabilidade técnica do ambiente.

Esse resultado reforça a adequação dos LVAs às condições reais de uso encontradas no contexto escolar investigado, evidenciando que a ferramenta apresenta potencial para ser utilizada por estudantes com diferentes níveis de familiaridade com recursos digitais. Além disso, os dados sugerem que eventuais dificuldades observadas na aprendizagem dos conteúdos não estão associadas, predominantemente, a limitações técnicas do ambiente virtual, mas a fatores relacionados aos próprios desafios cognitivos e pedagógicos inerentes ao processo de ensino e aprendizagem da Física. Tal constatação fortalece a viabilidade dos LVAs como ferramenta didática para o ensino de conceitos científicos, especialmente em contextos que demandam alternativas acessíveis para a realização de atividades experimentais (Silva; Ramos, 2023; Silveira; Santos, 2023; Simão et al., 2025).

Como mostra a Figura 26, com relação a aprendizagem e compreensão a maioria, 68,4%, disseram que concordam ou concordam totalmente que os LVAs contribuíram para o entendimento dos conceitos físicos em questão.

Figura 26 - Contribuição para a compreensão dos apontamentos abordados nos LVAs
O laboratório contribuiu para minha compreensão dos conceitos de Física abordados.

19 respostas



Observou-se uma distribuição mais heterogênea das respostas da Figura 26 quanto à adequação dos LVAs ao nível de conhecimento dos estudantes. Conforme apresentado na Figura 16, 42,1% dos participantes adotaram uma posição neutra, não concordando nem

discordando da afirmação de que os laboratórios virtuais eram adequados ao seu nível de conhecimento, enquanto 36,8% concordaram totalmente com essa afirmação.

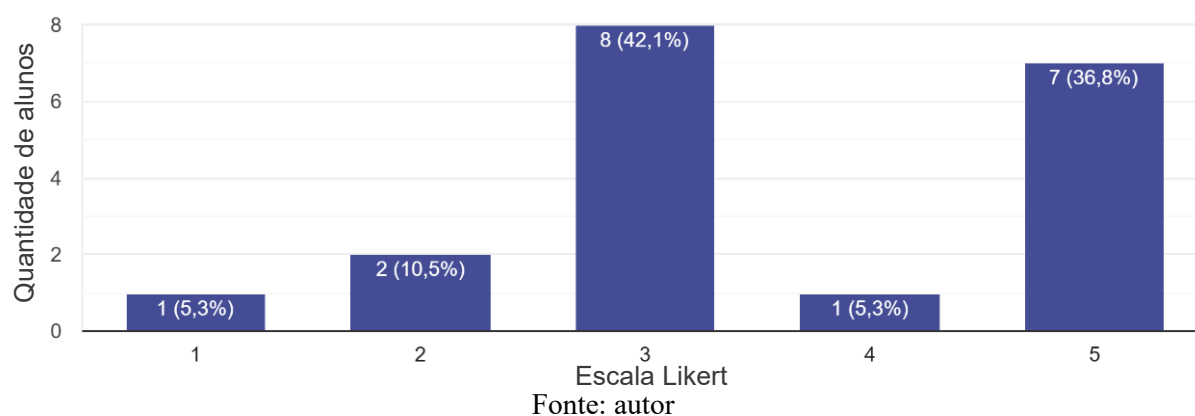
Esses resultados indicam que, embora os LVAs tenham sido avaliados positivamente por uma parcela significativa dos estudantes, o nível de complexidade das atividades e dos conceitos abordados não foi percebido de maneira uniforme pelo grupo. A elevada porcentagem de respostas neutras sugere que alguns alunos podem ter considerado os conteúdos compatíveis com seus conhecimentos prévios, mas sem demonstrar uma percepção claramente favorável ou desfavorável quanto à adequação do material.

Essa diversidade de percepções das respostas da Figura 26 é esperada em contextos educacionais caracterizados por diferentes níveis de conhecimento prévio, experiências acadêmicas e ritmos de aprendizagem. Os resultados reforçam a importância da mediação docente e da adaptação das estratégias pedagógicas às necessidades dos estudantes, de modo a favorecer uma experiência de aprendizagem mais inclusiva e significativa. Nesse sentido, os LVAs demonstram potencial para atender a diferentes perfis de alunos, desde que sua utilização seja acompanhada por orientações e intervenções pedagógicas adequadas (Moreira, 2023; Silva; Bilessimo; Machado, 2021; Simão et al., 2025).

A elevada concentração de respostas na opção neutra, observada na Figura 27, sugere que parte dos estudantes não conseguiu avaliar de forma clara se as atividades estavam plenamente adequadas ao seu nível de conhecimento prévio.

Figura 27 - Nível de adequação entre os LVAs e o conhecimento discente
As atividades propostas estavam adequadas ao meu nível de conhecimento.

19 respostas



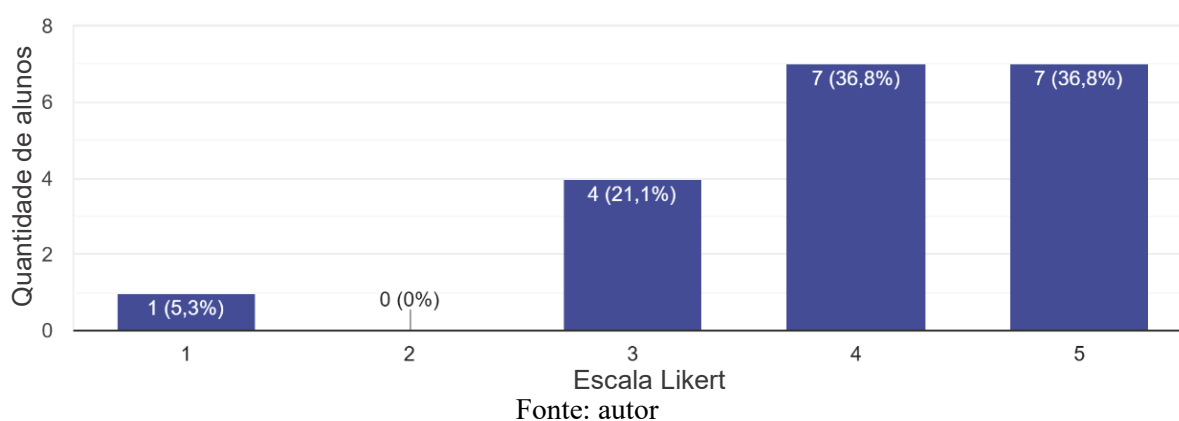
Esse resultado da Figura 27 pode estar relacionado às diferenças individuais existentes entre os participantes, tanto em termos de formação quanto de experiências anteriores

com os conteúdos de Eletricidade e com o uso de recursos digitais educacionais. Também pode indicar a necessidade de uma mediação pedagógica mais intensa em determinados momentos da aplicação, especialmente para estudantes que apresentem maiores dificuldades na interpretação dos fenômenos investigados ou na utilização das ferramentas disponíveis (Vigotski, 2009; Moreira, 2023).

Por outro lado, o percentual expressivo de estudantes que concordaram totalmente com a adequação dos LVAs, na Figura 27, ao seu nível de conhecimento evidencia que o material foi percebido como apropriado e intelectualmente estimulante por uma parcela significativa da turma. Esse resultado sugere que os laboratórios virtuais conseguiram propor desafios compatíveis com os conhecimentos e habilidades desses estudantes, favorecendo a participação ativa, a investigação e a construção de novos significados durante o processo de aprendizagem. Assim, os dados indicam que o produto educacional apresenta potencial para promover experiências de aprendizagem significativas, desde que acompanhado de estratégias de mediação capazes de atender à diversidade de perfis presentes em sala de aula (Moreira, 2021; Moreira, 2023; Simão et al., 2025).

A Figura 28 traz a motivação ao concluir as etapas da aplicação do produto foi marcante nas opiniões dos estudantes, 73,6% se sentiram motivados.

Figura 28 - Nível de motivação discente
Me senti motivado(a) a concluir todas as etapas do laboratório.
19 respostas



O elevado nível de motivação relatado pelos estudantes, na Figura 28, indica que a proposta didática foi capaz de despertar interesse, engajamento e senso de realização ao longo das atividades desenvolvidas. Esse resultado reforça o potencial do produto educacional como ferramenta capaz de estimular a participação ativa dos alunos e favorecer uma experiência de

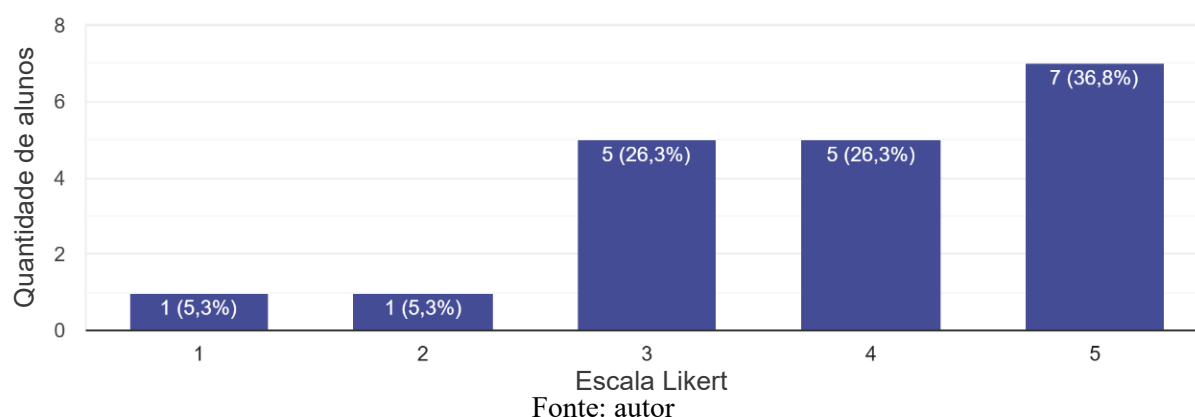
aprendizagem mais significativa, aspectos considerados fundamentais para a construção do conhecimento científico e para o desenvolvimento de atitudes positivas em relação à aprendizagem da Física (Moreira, 2023; Silva, 2022).

A Figura 29 apresenta os resultados relacionados ao engajamento dos estudantes durante a utilização dos LVAs. Os dados mostram que 63,1% dos participantes concordaram ou concordaram totalmente com a afirmação de que permaneceram engajados do início ao fim das atividades, enquanto 26,3% adotaram uma posição neutra. Esses resultados indicam que, para a maioria dos estudantes, o ambiente virtual foi capaz de manter o interesse e a participação ativa ao longo de todo o processo de aprendizagem.

Figura 29 - Nível de engajamento discente

As atividades mantiveram meu interesse do início ao fim.

19 respostas



Por outro lado, o percentual de respostas neutras, na Figura 29, sugere a existência de diferentes níveis de envolvimento e ritmos de aprendizagem entre os participantes, característica comum em turmas heterogêneas. Tal resultado evidencia a importância de estratégias de mediação pedagógica que considerem as particularidades dos estudantes, favorecendo a participação de todos nas atividades propostas. Ainda assim, os dados apontam que os LVAs contribuíram significativamente para a promoção do engajamento, elemento essencial para a aprendizagem ativa e para o desenvolvimento de competências relacionadas à investigação, à análise e à construção colaborativa do conhecimento (Vigotski, 2009; Silva; Ramos, 2023; Simão et al., 2025).

À luz da teoria sociointeracionista de Lev Vygotsky, o elevado nível de engajamento apresentado na Figura 29 pode ser compreendido como um indicativo de que as atividades propostas favoreceram processos de aprendizagem mediados pela interação entre os estudantes, os recursos tecnológicos e a atuação do professor. Nessa perspectiva, o

envolvimento ativo dos alunos nas atividades constitui um elemento fundamental para a construção do conhecimento, uma vez que a aprendizagem ocorre por meio da interação social e da apropriação gradual dos significados culturalmente construídos (Vygotsky, 2002; Vygotsky, 2009).

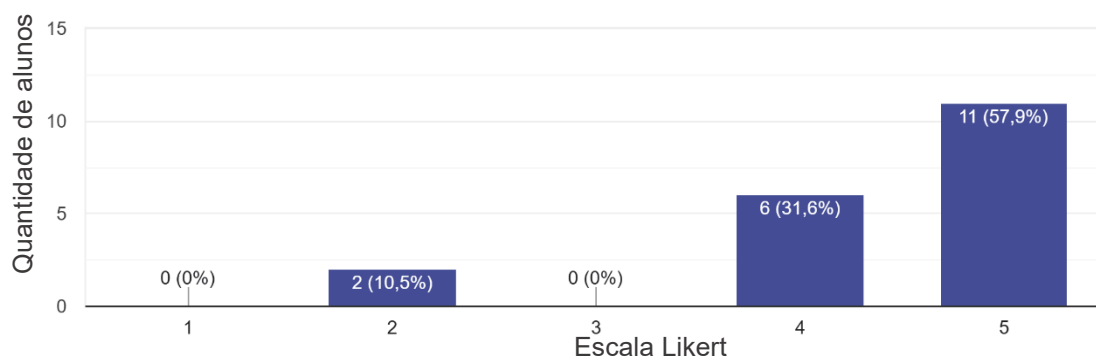
Os estudantes que demonstraram maior engajamento tenderam a participar de forma mais ativa das investigações propostas, explorando os ambientes virtuais, analisando resultados, formulando hipóteses e discutindo interpretações sobre os fenômenos observados. Esse processo favorece a internalização de conceitos científicos e o desenvolvimento de habilidades cognitivas mais complexas, especialmente quando apoiado pela mediação docente e pelas interações estabelecidas com os colegas durante a realização das atividades. Sob essa perspectiva, os LVAs atuam como instrumentos mediadores que ampliam as possibilidades de aprendizagem e contribuem para o desenvolvimento cognitivo dos estudantes (Oliveira, 1993; Moreira, 2023).

Por outro lado, as respostas neutras podem refletir estudantes que participaram das atividades, mas que ainda necessitavam de maior apoio pedagógico para avançar em sua compreensão dos conceitos trabalhados. Esse resultado pode ser interpretado à luz da ZDP, indicando que alguns alunos ainda se encontravam em processo de construção dos conhecimentos e poderiam alcançar níveis mais elevados de compreensão mediante orientações adicionais, discussões coletivas e intervenções pedagógicas mais direcionadas (Vygotsky, 2002).

Dessa forma, os resultados reforçam que a utilização dos LVAs, associada a uma mediação pedagógica adequada, cria condições favoráveis para a construção coletiva do conhecimento, para o desenvolvimento da autonomia intelectual dos estudantes e para a promoção de aprendizagens significativas, em consonância com os pressupostos da teoria sociointeracionista (Vigotski, 2009; Moreira, 2023; Simão et al., 2025).

Além disso, os dados apresentados na Figura 30 revelam um elevado nível de aceitação do produto educacional pelos participantes. Observa-se que 89,5% dos estudantes afirmaram que recomendariam a utilização dos LVAs a colegas e professores, sendo que 57,9% concordaram totalmente com essa afirmação. Esses resultados constituem indicadores expressivos de satisfação e evidenciam uma percepção amplamente positiva em relação à experiência proporcionada pelo produto educacional.

Figura 30 - Recomendação do produto para outros usuários
 Eu recomendaria este laboratório para outros colegas ou professores.
 19 respostas



Fonte: autor

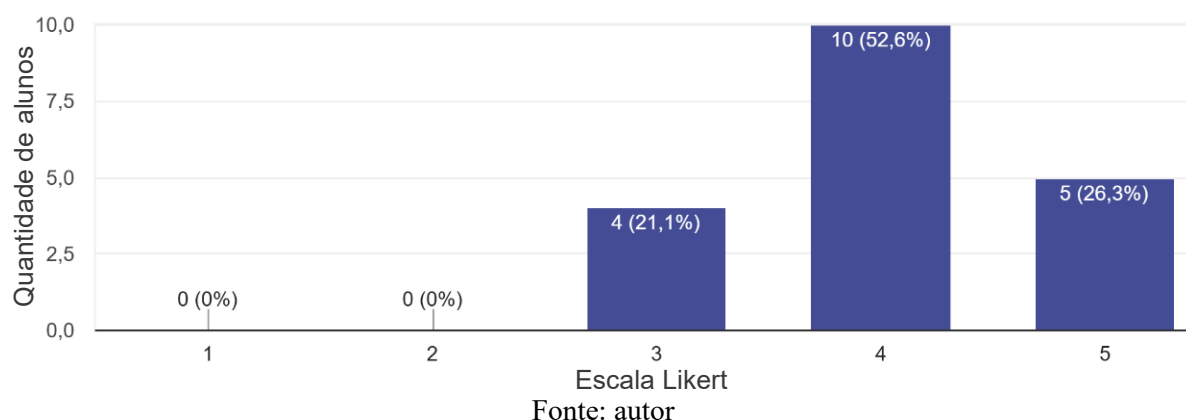
A elevada intenção de recomendação na Figura 30 mostra que os estudantes reconheceram valor pedagógico na proposta desenvolvida, percebendo os laboratórios virtuais como recursos capazes de tornar as aulas mais dinâmicas, interativas e significativas. Além disso, esse resultado reforça a aceitação da metodologia empregada e evidencia o potencial dos LVAs como ferramenta de apoio ao ensino de Física, especialmente em contextos educacionais que enfrentam limitações de infraestrutura para a realização de atividades experimentais tradicionais (Sobrinho; Oliveira, 2023; Simão et al., 2025; Silva; Ramos, 2023).

Na perspectiva dos estudantes, os fenômenos físicos representados nos LVAs foram avaliados de forma bastante positiva. Conforme apresentado na Figura 31, 78,9% dos participantes atribuíram notas 4 ou 5 à capacidade dos LVAs de representar adequadamente os fenômenos estudados, indicando que os alunos perceberam pouca diferença entre a observação dos fenômenos em um ambiente virtual e sua ocorrência em situações reais. Esse resultado sugere que as simulações foram capazes de reproduzir, de maneira satisfatória, os principais aspectos conceituais e comportamentais dos fenômenos físicos abordados, favorecendo sua compreensão e interpretação pelos estudantes.

De forma semelhante, a relevância das situações investigadas nos LVAs, na Figura 31, para o ensino de Física também recebeu avaliação positiva de 78,9% dos participantes, reforçando a percepção de que as atividades desenvolvidas contribuíram efetivamente para a aprendizagem dos conteúdos trabalhados. Esses resultados evidenciam que os estudantes reconheceram valor pedagógico nas experiências propostas, percebendo-as como significativas para a compreensão dos conceitos de Eletricidade estudados ao longo da sequência didática.

Figura 31 - Nível de representação dos fenômenos estudados
As simulações representaram bem os fenômenos físicos estudados.

19 respostas



À luz da teoria sociointeracionista de Vygotsky, essa percepção de proximidade entre o ambiente virtual e os fenômenos reais pode ser compreendida como um indicativo da eficácia dos instrumentos mediadores utilizados no processo de ensino e aprendizagem. Os Laboratórios Virtuais de Aprendizagem funcionam como ferramentas culturais capazes de ampliar as possibilidades de interação dos estudantes com os fenômenos físicos, permitindo a observação, a manipulação de variáveis e a análise de resultados que, em muitos contextos escolares, seriam de difícil realização por meio de experimentos convencionais (Vigotski, 2009).

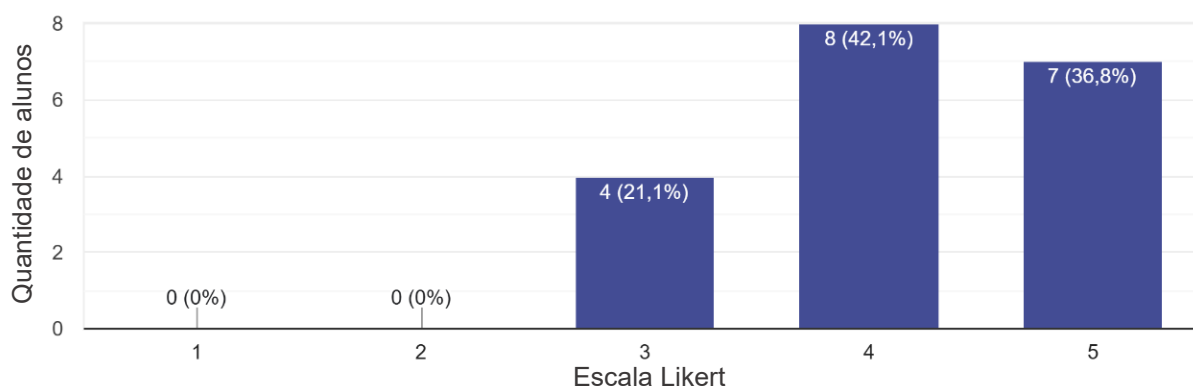
Além disso, ao reconhecerem a relevância das situações trabalhadas nos LVAs para o ensino de Física, os estudantes evidenciam que as atividades propostas favoreceram a construção de significados e a articulação entre os conhecimentos científicos e as experiências vivenciadas durante a experimentação virtual. Sob essa perspectiva, o ambiente virtual atua como um mediador do processo de aprendizagem, criando condições para que os alunos avancem em sua ZDP por meio da exploração, da reflexão e das interações estabelecidas com os colegas, os roteiros e o professor (Vigotski, 2009; Moreira, 2023).

Dessa forma, os resultados reforçam o potencial dos LVAs como recursos didáticos capazes de promover aprendizagens significativas, favorecendo a compreensão de conceitos abstratos e ampliando as oportunidades de investigação e construção do conhecimento científico. A elevada avaliação atribuída pelos estudantes à representação dos fenômenos e à relevância das atividades evidencia que os ambientes virtuais constituem uma alternativa pedagógica consistente para o ensino de Física, especialmente em contextos que apresentam limitações de infraestrutura para a realização de atividades experimentais presenciais (Sobrinho; Oliveira, 2023; Simão et al., 2025; De Medeiros Jr.; Naia; Lopes, 2024).

A Figura 32 apresenta uma avaliação amplamente positiva da relevância das situações propostas nos LVAs. Nenhum estudante marcou as opções 1 ou 2, indicando ausência de discordância. Além disso, 42,1% atribuíram nota 4 e 36,8% nota 5, totalizando 78,9% de avaliações positivas.

Figura 32 - Situações relevantes abordados pelos LVAs para o ensino de Física
O laboratório abordou situações relevantes para o ensino de Física.

19 respostas



Fonte: autor

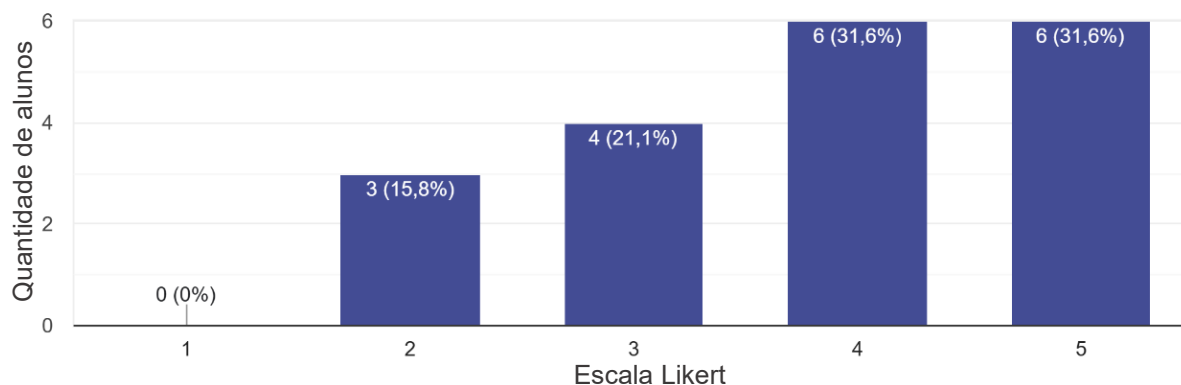
Esse resultado da Figura 32 demonstra que a maioria dos estudantes considerou as atividades pertinentes e adequadas aos objetivos do ensino de Física. Os 21,1% que optaram pela alternativa neutra podem refletir diferenças individuais relacionadas ao conhecimento prévio ou ao nível de envolvimento nas atividades. De modo geral, os dados indicam que os LVAs foram capazes de propor situações de aprendizagem relevantes e contextualizadas, favorecendo a compreensão dos conceitos físicos e reforçando seu potencial como ferramenta pedagógica para o ensino de Física (Sobrinho; Oliveira, 2023; Simão et al., 2025).

Para alguns docentes a experiência realizada presencialmente ainda é considerada muito importante. No questionamento de que o formato virtual não prejudicou a sua compreensão em comparação do real, mostrado na Figura 33, indicou que 15,8% discordaram. E 63,2% tiveram uma boa aceitação nos dizendo que concordam e concordam totalmente, não havendo assim nenhum prejuízo quanto a compreensão.

Figura 33 - Comparação com laboratório presencial

O formato virtual não prejudicou a compreensão dos fenômenos em relação a um laboratório presencial.

19 respostas



Fonte: autor

A análise das opiniões dos estudantes permitiu identificar tanto os pontos fortes quanto os aspectos passíveis de aprimoramento do produto educacional. Entre os principais pontos fortes destacam-se a elevada usabilidade e intuitividade dos Laboratórios Virtuais de Aprendizagem, a percepção positiva quanto à contribuição para a compreensão dos conteúdos e para a aprendizagem, a qualidade das simulações, consideradas relevantes para o estudo dos fenômenos físicos, e a elevada taxa de recomendação do produto pelos próprios estudantes.

Por outro lado, alguns aspectos merecem atenção em futuras aplicações. Uma pequena parcela dos alunos relatou dificuldades técnicas durante a utilização dos ambientes virtuais, embora essas dificuldades não tenham comprometido significativamente a realização das atividades. Além disso, os resultados indicam que o nível de adequação das atividades pode não ter atendido de forma homogênea todos os estudantes, evidenciando a necessidade de estratégias que contemplem diferentes níveis de conhecimento prévio. Por fim, para uma minoria dos participantes, o formato virtual ainda representa uma barreira quando comparado às atividades experimentais presenciais, indicando a importância de combinar recursos digitais com diferentes abordagens pedagógicas para ampliar o alcance e a efetividade do processo de aprendizagem.

6.3 RELATO DE EXPERIÊNCIA NA PERSPECTIVA DO PROFESSOR

Como professor responsável pela aplicação do Produto Educacional, a experiência desenvolvida na Escola Estadual de Ensino Profissional Eusébio de Queiroz constituiu um importante exercício de adaptação entre o planejamento pedagógico inicialmente proposto e as condições reais encontradas no ambiente escolar.

A aplicação ocorreu no laboratório de informática da instituição, que, em um primeiro momento, aparentava oferecer condições adequadas para a realização das atividades, dispondo de 30 computadores, projetor multimídia e espaço destinado às aulas. Entretanto, durante a execução da proposta, verificou-se que apenas nove computadores estavam em pleno funcionamento, os aparelhos de ar-condicionado encontravam-se inoperantes e a conexão com a internet apresentava instabilidade.

Apesar dessas limitações, o Produto Educacional demonstrou grande potencial de adaptação ao contexto escolar. Por ter sido desenvolvido em Excel® e funcionar de forma offline, sua utilização não exigiu conexão com a internet, instalações complexas ou recursos computacionais avançados. Essa característica mostrou-se fundamental para a continuidade das atividades, reduzindo significativamente o impacto dos problemas de infraestrutura encontrados.

Os momentos iniciais da aplicação foram os mais desafiadores. Aproximadamente dez minutos foram destinados à reorganização dos estudantes em duplas, em razão da quantidade reduzida de computadores disponíveis. Além disso, a indisponibilidade do sistema de climatização demandou cerca de dez minutos adicionais para a obtenção de ventiladores que proporcionassem melhores condições de permanência no ambiente. Essas situações exigiram reorganização do planejamento e otimização do tempo restante de aula.

Do ponto de vista pedagógico, o principal desafio consistiu em equilibrar a autonomia dos estudantes com a necessidade de acompanhamento e orientação docente. Embora os roteiros tenham sido elaborados para favorecer a investigação e a exploração autônoma dos ambientes virtuais, observou-se que alguns estudantes necessitaram de intervenções mais frequentes para compreender determinados conceitos, interpretar resultados e relacionar as observações experimentais aos modelos teóricos estudados.

Durante as atividades, foi possível observar elevado interesse dos estudantes pelas simulações e pelas situações investigativas propostas. A possibilidade de manipular variáveis, observar resultados instantaneamente e construir gráficos favoreceu a participação ativa dos alunos, estimulando discussões, formulação de hipóteses e interpretação de fenômenos físicos relacionados à Eletricidade.

Ao final da aplicação, constatou-se que o Produto Educacional atingiu seu principal objetivo: proporcionar experiências de aprendizagem significativas em Física mesmo em contextos marcados por limitações de infraestrutura tecnológica e experimental. Além da compreensão dos conceitos abordados, os estudantes desenvolveram habilidades relacionadas

à investigação científica, à análise de dados e à interpretação de resultados, competências importantes para sua formação acadêmica e cidadã.

A experiência também reforçou a percepção de que a efetividade de uma tecnologia educacional não depende exclusivamente de sua sofisticação técnica, mas principalmente de sua intencionalidade pedagógica e da qualidade da mediação realizada pelo professor. Nesse sentido, os resultados observados evidenciam que recursos simples, acessíveis e adequadamente planejados podem contribuir significativamente para a melhoria do processo de ensino e aprendizagem de Física, especialmente em realidades escolares que enfrentam restrições estruturais.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação teve como objetivo desenvolver, implementar e avaliar LVAs construídos em planilhas eletrônicas offline para o ensino de Eletricidade no Ensino Médio. Os resultados obtidos demonstraram que a proposta alcançou seus objetivos, evidenciando sua viabilidade pedagógica e tecnológica.

O produto educacional mostrou-se adequado ao contexto escolar, especialmente por seu baixo custo, facilidade de uso e independência de conexão com a internet, características relevantes para escolas que enfrentam limitações de infraestrutura. A aplicação dos LVAs contribuiu para a compreensão de conceitos de Eletricidade, favorecendo também o desenvolvimento de habilidades investigativas, como observação, formulação de hipóteses, análise de dados e interpretação de gráficos.

Os estudantes avaliaram positivamente os ambientes virtuais, destacando sua usabilidade, relevância e contribuição para a aprendizagem. Sob a perspectiva sociointeracionista de Vygotsky, observou-se que os LVAs atuaram como instrumentos mediadores do processo de aprendizagem, potencializando as interações entre estudantes, professor e conhecimento científico.

Os resultados reforçam que a eficácia dos recursos tecnológicos depende não apenas da tecnologia utilizada, mas da qualidade da proposta pedagógica e da mediação docente. Nesse sentido, a sequência didática e os roteiros-guia foram fundamentais para integrar teoria, experimentação virtual e reflexão crítica.

Como contribuição, a pesquisa disponibiliza um produto educacional acessível, replicável e adaptável a diferentes contextos escolares, alinhando-se aos objetivos do MNPEF ao oferecer uma solução prática para o ensino de Física. Por fim, recomenda-se a ampliação da proposta para outros conteúdos da Física e a realização de novas pesquisas que investiguem sua aplicação em diferentes contextos educacionais.

REFERÊNCIAS

- ABREU, L. C. de et al. A epistemologia genética de Piaget e o construtivismo. **Rev. bras. crescimento desenvolv. hum.**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 361-3366, ago. 2010. Disponível em: http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-12822010000200018&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 15 dez. 2025.
- ALIXANDRE, M. A. R. de A. Educação construtivista: concepções e contradições da prática pedagógica. **Anais VIII CONEDU**. Campina Grande: Realize Editora, 2022. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/88647>. Acesso em: 11 dez. 2025.
- BATTISTEL, O. L.; HOLZ, S. M.; SAUERWEIN, I. Motivação e eficiência em estratégias de ensino de física no nível médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 44, p. e20210278, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/xVCYzWHwPpgz-nzBG4CRBgBQ/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 20 maio 2026.
- CAVALCANTE, A. A.; ALEXANDRIA, A. R. de. Ambiente investigativo da aprendizagem da ciência aliado às simulações virtuais como metodologias ativas no ensino de física: Um estudo quase-experimental nas aulas de mecânica newtoniana no ensino médio. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v. 24, n. 1, 2025. Disponível em: https://reec.uvigo.es/volumenes/volumen24/REEC_24_01_08_ex2246_1138.pdf. Acesso em: 20 maio 2026.
- CAVALCANTI, L. M. de O. **O Uso de Objetos Virtuais de Aprendizagem no ensino de circuito elétrico**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/7824>. Acesso em: 20 maio 2026.
- CETIC.BR. TIC Educação 2022: pesquisa sobre o uso das tecnologias de informação e comunicação nas escolas brasileiras. São Paulo: NIC.br, 2023. Disponível em: https://cetic.br/media/docs/publicacoes/2/20231122132216/tic_educacao_2022_livro_completo.pdf. Acesso em: 30 nov. 2025.
- CLEMENT, L. et al. Motivação autônoma de estudantes de física: evidências de validade de uma escala. **Psicologia Escolar e Educacional**, v. 18, n. 1, p. 45-55, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pee/a/5tK9rc7H6Rdkb9pqPx3BVRF/?lang=pt>. Acesso em: 20 maio 2026.
- COUTINHO, R. N. Gestão Escolar: Um Olhar sobre a Didática Construtivista na Práxis dos Professores da Rede Pública de Sobral-CE. **REBENA-Revista Brasileira de Ensino e Aprendizagem**, v. 3, p. 153-168, 2022. Disponível em: <https://rebena.emnuvens.com.br/revista/article/view/31>. Acesso em: 20 maio 2026.
- CRUZ, A. R. S. A. et al. Conectividade na educação do Brasil: estratégias nacionais e internacionais para melhorar a infraestrutura de internet das escolas. In: **Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)**. SBC, 2024. p. 404-417. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbie/article/view/31256>. Acesso em: 20 maio 2026.
- DE MEDEIROS JR, R. Nonato; NAIA, M. Duarte; LOPES, J. Bernardino. Simulações interativas do PhET nas práticas de ensino da física: uma meta-análise. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 46, p. e20240186, 2024. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbef/a/HHCwMGhjGmS8rcDB3qrhmbg/?lang=pt>. Acesso em: 20 maio 2026.

FERREIRA, A. Q. **Estratégias para o ensino de Física em ambientes virtuais**. 2024. 70 f. Monografia (Graduação em Física Licenciatura) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/77447>. Acesso em: 20 maio 2026.

GUIMARÃES, E. B. et al.. **Uma proposta didática investigativa usando laboratórios virtuais para o ensino de circuitos elétricos**. Anais IX CONEDU... Campina Grande: Realize Editora, 2023. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/96696>. Acesso em: 20 maio 2026.

GUIMARÃES, E. B. et al. Uma Proposta Didática Investigativa Usando Laboratórios Virtuais Para o Ensino de Circuitos Elétricos.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física: Eletromagnetismo**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. v. 3.

LEITE, F. R. R. S.; SOUSA, L. L. de L.; SORRETINO, T. A. Aplicação de roteiros-guia para experimentação simulada na teoria sociointeracionista de Lev Vygotsky. **Peer Review**, v. 5, n. 7, p. 71-87, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Lazaro-Sousa/publication/370395828_Aplicacao_de_roteiros-guia_para_experimentacao_simulada_na_teoriasociointeracionista_de_Lev_Vygotsky/links/6453f2a8809a53502149bf40/Aplicacao-de-roteiros-guia-para-experimentacao-simulada-na-teoria-sociointeracionista-de-Lev-Vygotsky.pdf. Acesso em: 20 maio 2026.

LOPES, J. S.; SILVA, A. G. da S.; DE SOUZA, G. F. de S. Ensino de Física com uso de simuladores virtuais: potencial de utilização em sala de aula. **HOLOS**, [S. l.], v. 1, n. 39, 2023. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/14365>. Acesso em: 1 jun. 2026.

MACHADO, N. L. R.; PASTORIO, D. P. Uma revisão da literatura sobre a integração das tecnologias da informação e comunicação com atividades experimentais no ensino de física. **Revista Dynamis**. Blumenau, FURB. Vol. 28 no. 1 (2022), p. 164-185, 2022. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/262357>. Acesso em: 20 maio 2026.

MELO, R. B. de F. et al.. **As TIC no ensino de Física: relato de experiência com os conteúdos de ótica**. Anais VII CONEDU - Edição Online... Campina Grande: Realize Editora, 2020. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/68053>. Acesso em: 20 maio 2026.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares. Lf Editorial, 2023.

MOREIRA, M. A. Desafios no ensino da física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, p. e20200451, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/xpwKp5WfMJs-fCRNFCxHqLy/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 20 maio 2026.

MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: Editora pedagógica e universitária, 1999.

- NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica 3: eletromagnetismo**. 2. ed. São Paulo, SP: Blucher, 2015.
- REBOUÇAS, A. D.; DE OLIVEIRA, E. L.; SOUSA, L. L. de L. Creation of a virtual and interactive simulation environment in Excel for the study of Ohm's Law: Criação de um ambiente de simulação virtual e interativo no Excel para o estudo da Lei de Ohm. **Concilium**, v. 23, n. 19, p. 786-807, 2023. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/108622196/1416.pdf>. Acesso em: 20 maio 2026.
- RESENDE, H. C.; SILVA, G. B. e; BARBOSA, D. M. UFV Virtual Labs: Plataforma colaborativa e supervisionada de laboratórios virtuais de apoio ao ensino-aprendizagem de ciências da natureza e suas tecnologias. In: **Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)**. SBC, 2024. p. 651-664. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbie/article/view/31275>. Acesso em: 20 maio 2026.
- RODRIGUES, M. V. do N. **O ensino de eletricidade no ensino médio mediado por simuladores digitais: uma revisão bibliográfica comparativa entre o PhET e o Tinkercard Circuits**. 2026. 61 f. Monografia (Graduação em Licenciatura em Física) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2026. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/84602>. Acesso em: 20 maio 2026.
- SANTOS, M. R. J. V. dos; NEY, W. G. Uma proposta de sequência de ensino por investigação no ensino de física: referenciais inerciais e não inerciais. **A Física na Escola**, [S. l.], v. 23, n. 1, p. e240226, 2025. Disponível em: <http://fisicanaescola.org.br/index.php/revista/article/view/226>. Acesso em: 20 maio 2026.
- SILVA, G. A. da; RAMOS, D. K. O impacto das tecnologias digitais na formação inicial de professores sobre as suas práticas pedagógicas. **Revista Eletrônica de Educação**, [S. l.], v. 17, p. e4857035, 2023. Disponível em: <https://www.reveduc.ufscar.br/index.php/reveduc/article/view/4857>. Acesso em: 20 maio 2026.
- SILVA, J. B. da; BILESSIMO, S. M. S.; MACHADO, L. R. Integração de tecnologia na educação: Proposta de modelo para capacitação docente inspirada no TPACK. **Educação em revista**, v. 37, p. e232757, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/edur/a/gzg-FdTsmv9vGmKNQnFPQLQF/?lang=pt>. Acesso em: 20 maio 2026.
- SILVA, R. S. da. Processo de Aprendizagem e Metodologias Ativas na Educação no Campo/Learning Process and Active Methodologies in Field Education. **ID on line. Revista de psicologia**, v. 16, n. 61, p. 296-308, 2022. Disponível em: <https://idonline.emnuvens.com.br/id/article/view/3526>. Acesso em: 20 maio 2026.
- SILVEIRA, L. S. da; SANTOS, R. T. dos. Formação de professores e o uso das tecnologias digitais. **Múltiplos Olhares em Ciência da Informação**, Belo Horizonte, v. 13, p. 1-22, 2023. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/moci/article/view/26785>. Acesso em: 20 maio 2026.
- SIMÃO, J. P. S. et al. Laboratórios On-line na Educação Básica: uma revisão sistemática da literatura. **RENOTE**, Porto Alegre, v. 22, n. 3, p. 344–353, 2025. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/renote/article/view/145000>. Acesso em: 20 maio 2026.
- SOBRINHO, A. V. de J.; OLIVEIRA, D. de. O uso de laboratórios virtuais pode minimizar as abstrações no ensino de Física? **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-**

ISSN 2675-6218, v. 4, n. 5, p. e453139, 2023. Disponível em: <https://recima21.com.br/recima21/article/view/3139>. Acesso em: 20 maio 2026.

SOUSA, T. G. A. de. **Laboratório virtual: método pedagógico no ensino de física utilizando o software Modellus**. 2024. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/81019>. Acesso em: 20 maio 2026.

TREVISAN, F. P. A pirâmide de Glasser aplicada no ensino a distância. **Revista Camalotes**, v. 1, n. 2, p. 30-40, 2022. Disponível em: <https://periodicos.insted.edu.br/recam/article/view/1>. Acesso em: 20 maio 2026.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física III: eletromagnetismo**. Tradução de Sonia Midori Yamamoto. 12. ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2009. 425 p.

VIGOTSKI, L. S. **A construção do pensamento e da linguagem**. Tradução de Paulo Bezerra. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2009.

APÊNDICE - PRODUTO EDUCACIONAL

O produto educacional consiste em uma proposta de sequência didática voltada ao ensino de Física, com ênfase nos conteúdos de Termodinâmica, utilizando atividades experimentais em ambiente virtual de aprendizagem. Fundamentado em uma perspectiva socioconstrutivista, inspirada nas contribuições de Vygotsky, o material valoriza as concepções prévias dos estudantes e busca promover uma aprendizagem significativa por meio da interação, da experimentação e da contextualização dos fenômenos físicos. A proposta integra estudos teóricos e práticas simuladas desenvolvidas com o auxílio do Excel, permitindo aos alunos manipular variáveis, interpretar resultados e relacionar os conteúdos científicos a situações do cotidiano. Além de favorecer a compreensão conceitual sobre calor e processos térmicos, o produto estimula o desenvolvimento de habilidades como pensamento crítico, resolução de problemas, criatividade e autonomia no uso de ferramentas digitais. Dessa forma, apresenta-se como uma alternativa metodológica inovadora para o ensino de Física no Ensino Médio, contribuindo para tornar as aulas mais dinâmicas, investigativas e alinhadas às necessidades contemporâneas da educação científica.



SBF
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

Produto educacional

ROTEIROS-GUIA

PARA EXPERIMENTAÇÃO SIMULADA

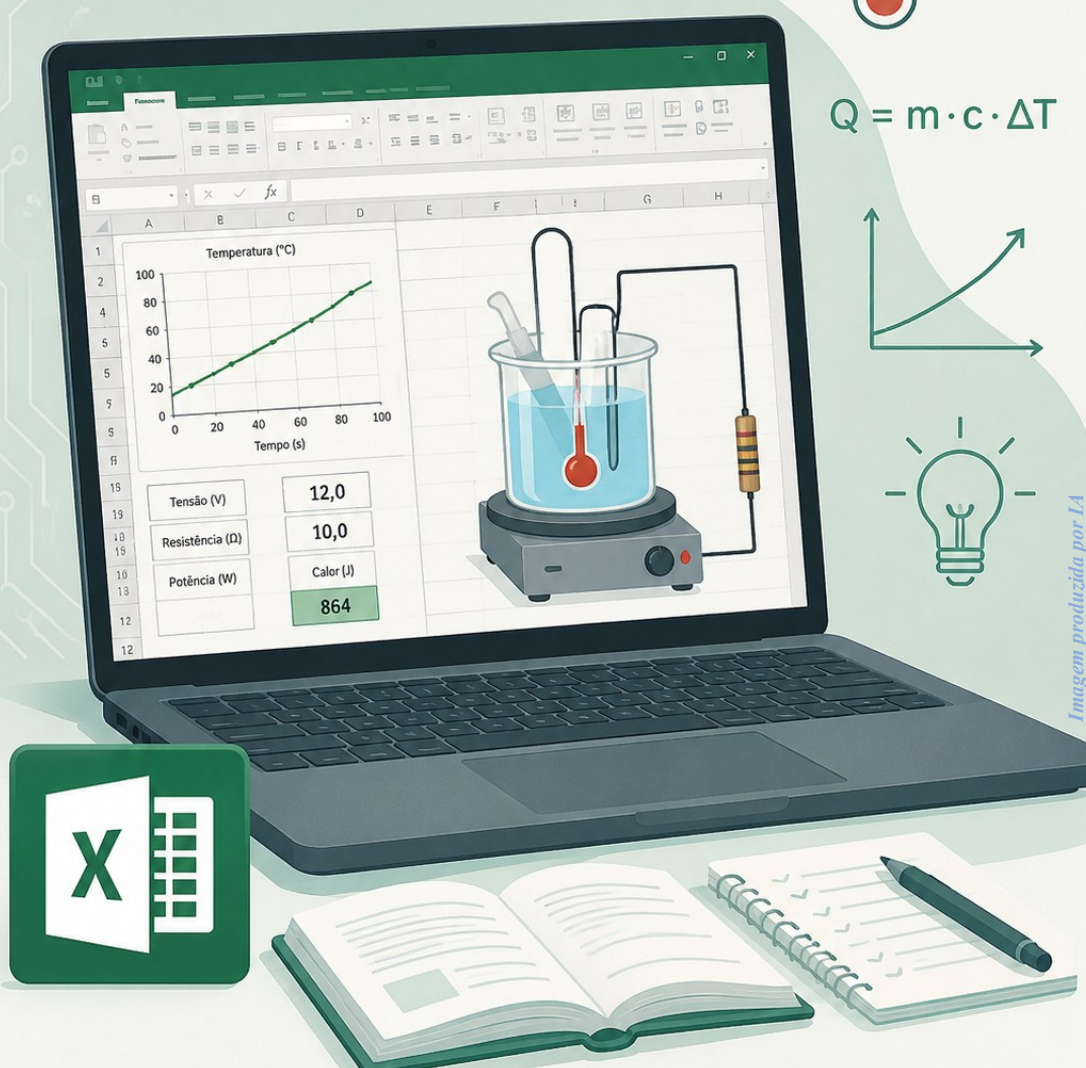
COM O EXCEL



$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$



Imagem produzida por IA



Marcus Lima

Lázaro Lima (orientador)

Taciano Sorretino (coorientador)

Mossoró-RN, fevereiro de 2026

ROTEIROS-GUIA PARA EXPERIMENTAÇÃO SIMULADA COM O EXCEL

Produto Educacional

Marcus Henrique Lima & Lázaro Lima & Taciano Sorretino

Autores

Este é um produto educacional derivado de pesquisas em Ensino de Física e propõe o uso de roteiros para uso de experimentação simulada pelo computador que auxiliam nas atividades de Física no Ensino Médio, sobre a Eletricidade e Magnetismo. Todos os direitos estão reservados aos seus autores, e por isso é proibida qualquer venda, comercialização, reprodução física ou eletrônica sem autorização prévia.

INSTITUTO DE ENSINO: Universidade Federal Rural do Semi-Árido

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO: Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 9, Mossoró-RN

ÁREA DE CONHECIMENTO: Educação

TÍTULO DO PRODUTO EDUCACIONAL: Roteiros-guia para experimentação simulada com o Excel

PÚBLICO-ALVO: Estudantes do Ensino Médio

AUTORES: Marcus Henrique Lima & Lázaro Luis de Lima Sousa (orientador) & Taciano Sorretino (coorientador)

DATA: 20/02/2025

Este Produto Educacional está disponível no site <https://mnpes.ufersa.edu.br/>

Mossoró-RN

Fevereiro de 2026

Sumário

A1.	RESUMO	88
A2.	APRESENTAÇÃO.....	89
A3.	JUSTIFICATIVA	90
A4.	OBJETIVOS.....	92
A5.	PÚBLICO-ALVO.....	93
A6.	DESCRIÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	94
A7.	METODOLOGIA DE APLICAÇÃO	96
A8.	RESULTADOS ESPERADOS	99
A9.	ROTEIROS-GUIAS	101
	Roteiro 1: Lei de Ohm.....	102
	Roteiro 2: Capacitores	114
	Roteiro 3: Resistência interna de uma pilha	123
A10.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	129

A1. RESUMO

Este produto educacional tem como objetivo promover uma abordagem prática e interativa para o ensino de Física, favorecendo o desenvolvimento de habilidades de resolução de problemas, senso crítico e criatividade, ao estabelecer conexões entre os conteúdos científicos e situações do cotidiano dos estudantes. Cada aula apresenta um roteiro estruturado com fundamentação teórica introdutória, atividades práticas simuladas em ambientes virtuais e questões reflexivas voltadas à consolidação do aprendizado. As simulações são realizadas por meio de plataformas como o Excel, permitindo a exploração de fenômenos físicos de maneira dinâmica e acessível. Os roteiros incentivam a manipulação autônoma dos simuladores pelos alunos, enquanto questões estratégicas estimulam discussões em sala de aula, promovendo maior participação e construção coletiva do conhecimento. O projeto busca superar a tradicional abordagem baseada na memorização de fórmulas, adotando uma perspectiva socioconstrutivista fundamentada em Vygotsky. Nesse contexto, valoriza-se o conhecimento prévio dos estudantes como elemento essencial para a atribuição de significado aos fenômenos estudados, contribuindo para a contextualização da Física e para o aumento do interesse dos alunos pela disciplina. Por meio dessas atividades interativas, o produto educacional pretende ampliar o engajamento e melhorar o desempenho dos estudantes em Física, oferecendo uma alternativa prática, contextualizada e eficaz para o ensino desse componente curricular.

A2. APRESENTAÇÃO

Prezado(a) leitor(a),

Os *Roteiros-Guia para Experimentação Simulada com o Excel* apresentam uma proposta de sequência didática que integra atividades experimentais desenvolvidas em um ambiente virtual de aprendizagem. Essa abordagem considera os conhecimentos prévios dos estudantes sobre eletricidade e circuitos elétricos, promovendo o estudo de conceitos fundamentais por meio da investigação, da experimentação simulada e da análise de situações-problema. Ao longo das atividades, os participantes têm a oportunidade de desenvolver habilidades relacionadas ao uso de ferramentas digitais, à resolução de problemas, ao pensamento crítico e à aplicação dos conhecimentos científicos em contextos do cotidiano.

Este material educacional contempla um estudo aprofundado de temas relacionados aos circuitos elétricos, incluindo corrente elétrica, diferença de potencial, resistência elétrica, Lei de Ohm, capacitores e resistência interna de fontes. Além de contextualizar os conteúdos abordados, o material valoriza as concepções prévias dos estudantes e oferece orientações para a realização de experimentos virtuais, incentivando a exploração autônoma dos recursos digitais e a construção significativa do conhecimento (Rebouças; De Oliveira; Sousa, 2023).

Nas últimas décadas, diferentes propostas pedagógicas têm buscado inovar o processo de ensino e aprendizagem da Física no Ensino Médio (Leite; Sousa; Sorretino, 2023). Entretanto, muitos estudantes ainda encontram dificuldades na compreensão de conceitos abstratos, frequentemente apresentados de forma descontextualizada e excessivamente centrada na memorização de fórmulas. Esse cenário pode comprometer o interesse, a participação e a aprendizagem dos alunos.

Nesse contexto, a experimentação virtual surge como uma alternativa pedagógica relevante, permitindo a observação, a manipulação e a análise de fenômenos elétricos em um ambiente seguro e acessível. Fundamentados na teoria construtivista (Moreira, 1999), os roteiros propostos estimulam a participação ativa dos estudantes na construção do conhecimento, favorecendo a formulação de hipóteses, a interpretação de resultados e a reorganização de conceitos a partir das evidências observadas durante as simulações. Dessa forma, busca-se promover uma aprendizagem mais significativa, dinâmica e participativa, contribuindo para uma melhor compreensão dos fenômenos associados aos circuitos elétricos.

A3. JUSTIFICATIVA

O ensino de Óptica Geométrica apresenta desafios relacionados à abstração dos conceitos e à dificuldade dos estudantes em compreender fenômenos como reflexão, absorção da luz e variação da intensidade luminosa apenas por meio de explicações teóricas. Em muitos contextos escolares, a ausência de recursos experimentais acessíveis também limita a realização de atividades práticas que favoreçam a investigação desses fenômenos (Moreira, 2021).

A experimentação constitui um elemento essencial no ensino de Física, pois possibilita aos estudantes compreenderem os fenômenos por meio da observação prática, da formulação de hipóteses e da análise de resultados. Entretanto, muitas escolas enfrentam limitações estruturais e financeiras que dificultam a implementação de laboratórios físicos, especialmente em conteúdos relacionados à eletricidade e aos circuitos elétricos, que demandam equipamentos específicos e, muitas vezes, de elevado custo. Nesse contexto, o uso de laboratórios virtuais baseados no Excel surge como uma alternativa pedagógica acessível, eficiente e adaptável às diferentes realidades educacionais.

Por ser uma ferramenta amplamente disponível e de fácil utilização, o Excel possibilita a criação de simulações capazes de reproduzir atividades experimentais em tópicos como Lei de Ohm, análise de circuitos em série e paralelo, comportamento de resistores e capacitores, além do estudo do consumo de energia elétrica. Com o auxílio de fórmulas e gráficos, torna-se possível representar visualmente as relações entre corrente elétrica, tensão e resistência, proporcionando aos estudantes uma experiência interativa que favorece a análise, a interpretação e a compreensão dos dados experimentais.

Além disso, o Excel permite que os estudantes modifiquem variáveis e observem, em tempo real, os impactos dessas alterações nos resultados obtidos, contribuindo para o desenvolvimento do pensamento crítico e do raciocínio lógico. Em um circuito simulado, por exemplo, os alunos podem variar a resistência de um componente e analisar como essa mudança interfere na corrente total do sistema, explorando conceitos fundamentais de maneira dinâmica, intuitiva e contextualizada.

A utilização dessa ferramenta também contribui para o desenvolvimento de competências digitais alinhadas às demandas educacionais e profissionais do século XXI. Durante as atividades, os estudantes aprendem a elaborar planilhas, utilizar fórmulas matemáticas, construir gráficos e interpretar resultados, habilidades que podem ser aplicadas em diferentes disciplinas e em situações do cotidiano. Nesse sentido, o Excel apresenta-se como

uma ferramenta inclusiva, oferecendo uma alternativa viável para escolas com recursos limitados e garantindo o acesso à experimentação virtual mesmo em contextos com ausência de laboratórios físicos adequados. Embora essa abordagem não substitua integralmente a experiência prática presencial, ela contribui para suprir lacunas importantes, tornando o ensino de Física mais acessível, equitativo e significativo.

Dessa forma, o uso do Excel na simulação de laboratórios de eletricidade e circuitos elétricos configura-se como uma solução inovadora e eficiente para instituições de ensino sem infraestrutura laboratorial adequada, favorecendo a experimentação virtual, o desenvolvimento de habilidades tecnológicas e a promoção de uma educação científica mais inclusiva e contextualizada.

A4. OBJETIVOS

Este produto educacional, intitulado *Roteiros-guia para experimentação simulada com o Excel*, tem como objetivo geral promover o uso de laboratórios virtuais com o Excel no ensino de Física. Como objetivos específicos, destacam-se:

- Facilitar a representação gráfica de fenômenos físicos, possibilitando aos estudantes compreenderem as relações entre variáveis;
- Aplicar métodos de regressão linear e não linear no estudo das relações funcionais entre parâmetros e suas dependências;
- Desenvolver habilidades computacionais relacionadas ao uso de ferramentas digitais no ensino de Física;
- Demonstrar como recursos digitais podem otimizar a análise de grandes conjuntos de dados experimentais;
- Ensinar procedimentos de análise de erros experimentais, incluindo média, desvio padrão e cálculo de incertezas;
- Oferecer uma alternativa digital, acessível e de baixo custo para escolas que não dispõem de laboratórios físicos adequados;
- Utilizar uma interface amigável que favoreça a aprendizagem de estudantes com diferentes níveis de habilidade;
- Incentivar os estudantes a criarem seus próprios modelos e verificarem se os resultados simulados correspondem aos fenômenos observados na realidade.

A5. PÚBLICO-ALVO

O público-alvo deste produto educacional é composto por estudantes da 1ª e 2ª séries do Ensino Médio, cuja formação acadêmica e profissional exige constante articulação entre conhecimentos científicos e aplicações técnicas. Os estudantes devem possuir contato prévio com os conteúdos introdutórios de Física, tanto nas disciplinas da formação. Entretanto, esse primeiro contato com os conteúdos ocorre, em muitos casos, de maneira fragmentada e predominantemente teórica, o que pode dificultar a compreensão prática dos fenômenos físicos e sua relação com situações do cotidiano e do contexto profissional.

Nesse sentido, o produto educacional é desenvolvido com o objetivo de proporcionar uma abordagem mais interativa, contextualizada e investigativa para o ensino de Física, utilizando laboratórios virtuais e atividades simuladas como estratégias de mediação da aprendizagem. A proposta busca atender às necessidades formativas desses estudantes, favorecendo o desenvolvimento de competências científicas, tecnológicas e analíticas importantes para sua trajetória escolar e futura atuação profissional.

A6. DESCRIÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Os roteiros-guia constituem instrumentos pedagógicos elaborados para orientar a aprendizagem dos estudantes durante a realização de atividades práticas ou simuladas, como aquelas desenvolvidas em laboratórios virtuais. No contexto do ensino de Física, esses roteiros funcionam como um conjunto estruturado de instruções, questões e atividades que auxiliam os alunos na exploração de conceitos físicos por meio de ferramentas digitais voltadas à simulação e à análise de fenômenos.

De modo geral, um roteiro-guia apresenta uma sequência lógica e progressiva, permitindo que o estudante compreenda os objetivos da atividade, realize experimentos virtuais e interprete os resultados obtidos. Normalmente, esse material é organizado em diferentes etapas, entre as quais se destacam:

1. **Fundamentação teórica:** apresentação introdutória dos conceitos físicos a serem investigados, como Leis de Newton, circuitos elétricos ou conservação de energia;
2. **Objetivos:** definição clara das competências, habilidades e conhecimentos que se espera que os estudantes desenvolvam ao longo da atividade;
3. **Procedimentos:** descrição detalhada das etapas necessárias para a utilização do laboratório virtual, incluindo inserção de dados, manipulação de variáveis, observação de resultados, realização de simulações, coleta de dados, construção de gráficos e análise das relações entre variáveis;
4. **Questões orientadoras:** perguntas reflexivas que incentivam os estudantes a analisarem os resultados obtidos e relacioná-los aos conceitos teóricos estudados;

No contexto dos laboratórios virtuais de Física, os roteiros-guia desempenham um papel fundamental na organização do uso de ferramentas digitais, como simuladores on-line, softwares educacionais e plataformas interativas, incluindo o Excel. Em um roteiro voltado ao estudo de circuitos elétricos, por exemplo, os estudantes podem ser orientados a modificar a resistência de um circuito simulado e registrar como essa alteração influencia a corrente elétrica, seguindo uma sequência planejada que favoreça a compreensão da Lei de Ohm.

Além disso, os roteiros-guia contribuem significativamente para o desenvolvimento da autonomia dos estudantes, estimulando a aplicação prática dos conceitos teóricos e oferecendo um caminho estruturado para a realização das atividades, mesmo em instituições que não dispõem de laboratórios físicos tradicionais. Ao integrarem laboratórios virtuais ao processo de ensino e aprendizagem, esses roteiros também favorecem o desenvolvimento de

habilidades digitais, analíticas e investigativas, preparando os estudantes para contextos cada vez mais tecnológicos, interdisciplinares e voltados à resolução de problemas.

A7. METODOLOGIA DE APLICAÇÃO

A teoria da aprendizagem sociointeracionista, desenvolvida por Lev Vygotsky, defende que o desenvolvimento cognitivo ocorre por meio das interações sociais, ou seja, das relações estabelecidas entre o indivíduo, outras pessoas e o ambiente em que está inserido. Segundo Vygotsky, o desenvolvimento intelectual humano não é exclusivamente inato, mas resulta de um processo contínuo de construção e ampliação do conhecimento mediado pelas experiências sociais e culturais vivenciadas pelo sujeito. Dessa forma, a interação social assume papel central no processo educativo, pois possibilita a construção de novos significados, conhecimentos e experiências, promovendo o desenvolvimento cognitivo do indivíduo (Vigotski, 2009).

As interações sociais são fundamentais para a transmissão e a construção dos conhecimentos sociais, históricos e culturais que constituem a base do desenvolvimento humano e das sociedades. Esse processo ocorre por meio da troca recíproca de significados entre os indivíduos, enriquecendo suas experiências e ampliando seus conhecimentos tanto em aspectos qualitativos quanto quantitativos.

Independentemente da faixa etária, os indivíduos estabelecem interações sociais em diferentes contextos, como os ambientes familiar, escolar e profissional. Para Vygotsky (Vigotski, 2009), essas interações são indispensáveis ao desenvolvimento cognitivo, pois permitem que as relações sociais sejam internalizadas e transformadas em funções psicológicas superiores, compreendidas como processos mentais mais complexos que se desenvolvem a partir das trocas realizadas entre os sujeitos e o meio social.

Para que esse desenvolvimento ocorra, é necessário que o indivíduo internalize instrumentos e signos mediadores. Os instrumentos estão relacionados às ações externas e à transformação do ambiente, enquanto os signos, denominados por Vygotsky de instrumentos psicológicos, atuam no controle interno das ações mentais. Esses signos, construídos culturalmente, auxiliam no processo de internalização de significados e na representação simbólica da realidade (Oliveira, 1993).

No contexto escolar, o professor desempenha papel fundamental como mediador do processo de aprendizagem. Cabe a ele apresentar aos estudantes os significados culturalmente construídos, orientar a interpretação dos conteúdos e verificar se esses conhecimentos foram compreendidos de maneira adequada. Assim, o processo educativo

constitui-se como um espaço de interação, compartilhamento e construção coletiva do conhecimento.

Segundo Moreira (1999), a interação social desempenha um papel fundamental no processo de ensino e aprendizagem, pois é por meio da troca de significados entre os indivíduos, especialmente no contexto da zona de desenvolvimento proximal, que ocorre o desenvolvimento cognitivo do aprendiz.

O docente deve atuar como mediador e facilitador do desenvolvimento cognitivo dos estudantes, oferecendo ferramentas, orientações e estratégias que contribuam para a construção de novos níveis de aprendizagem. Nesse processo, o professor deve promover situações capazes de gerar conflitos cognitivos, estimulando os alunos a reorganizarem seus conhecimentos e avançarem para estruturas de pensamento mais elaboradas.

Para que a aprendizagem ocorra de maneira efetiva, Lev Vygotsky introduziu o conceito de ZDP, definida como a distância entre aquilo que o estudante é capaz de realizar de forma autônoma, denominado nível de desenvolvimento real, e aquilo que pode alcançar com o auxílio de um mediador, caracterizando o nível de desenvolvimento potencial. Nesse contexto, a atuação do professor, dos colegas e de outros indivíduos mais experientes torna-se essencial para que o estudante avance em seu processo de aprendizagem até alcançar autonomia na realização das atividades propostas.

Assim, cabe ao professor estimular o desenvolvimento potencial do estudante por meio de estratégias pedagógicas adequadas, favorecendo gradativamente sua independência intelectual. O trabalho colaborativo, desenvolvido em equipe e mediado pelo educador, contribui para a ampliação da ZDP, possibilitando a aquisição e a internalização de novos conhecimentos à medida que o estudante interage com o meio social e com os demais participantes do processo educativo (Vigotski, 2009).

No desenvolvimento da proposta pedagógica, os estudantes foram organizados em duplas, favorecendo a interação social e a construção coletiva do conhecimento. Cada dupla recebeu os roteiros-guia impressos e foi orientada a realizar as primeiras interações com as simulações desenvolvidas no Excel em ambiente doméstico, antes dos encontros presenciais. As atividades foram executadas ao longo das aulas da disciplina, permitindo a aplicação contínua da metodologia proposta.

Cada roteiro foi desenvolvido em um encontro específico, integrado à carga horária regular do professor-pesquisador. O conteúdo foi organizado em capítulos, aplicados em aulas intercaladas ao longo do período letivo, durante o horário regular da disciplina, com duração média de 50 minutos cada. Essa organização possibilitou não apenas a exploração dos

conteúdos de Física, mas também a análise da evolução do pensamento científico dos estudantes ao longo da sequência didática.

Na primeira aula, foram apresentados os objetivos da proposta pedagógica e distribuídos os roteiros-guia às turmas participantes. Nesse momento inicial, introduziram-se os conceitos relacionados aos circuitos elétricos, incentivando os estudantes a explorarem previamente as simulações de forma autônoma, com o objetivo de promover a familiarização com o ambiente virtual de aprendizagem e com os conteúdos que seriam estudados posteriormente.

Na segunda aula, foram abordados os conteúdos referentes à Lei de Ohm, aos resistores e a outros conceitos relacionados aos circuitos elétricos. Os estudantes manipularam livremente as simulações virtuais e responderam às questões propostas nos roteiros-guia, interagindo diretamente com a plataforma digital e com seus colegas de dupla. Na terceira aula, o foco concentrou-se na mediação do professor, que esclareceu dúvidas, promoveu discussões e aprofundou os conceitos explorados durante as atividades simuladas.

Na quarta aula, os estudantes deram continuidade ao estudo dos conteúdos relacionados aos circuitos elétricos, realizando interações autônomas com a plataforma virtual e utilizando os roteiros como suporte para as atividades investigativas. A quinta aula foi destinada à revisão e à discussão das respostas elaboradas pelos alunos, com intervenções pontuais do professor sempre que necessário para auxiliar na compreensão dos conceitos abordados.

No último encontro, o professor-pesquisador e os estudantes participaram de uma discussão coletiva sobre as experiências vivenciadas ao longo da sequência didática, promovendo a socialização de percepções, dificuldades e aprendizagens construídas durante o desenvolvimento das atividades.

Durante todo o processo, os estudantes realizaram avaliações contínuas do produto educacional e dos conteúdos abordados nos capítulos da pesquisa. Para analisar o impacto da sequência didática no contexto escolar, foram comparados os desempenhos dos alunos por meio das notas obtidas nas atividades desenvolvidas, buscando identificar possíveis avanços na aprendizagem, no engajamento e no interesse pelos conteúdos de Física.

A8. RESULTADOS ESPERADOS

Espera-se que os estudantes desenvolvam uma compreensão mais aprofundada das relações entre variáveis físicas por meio da utilização do Excel na representação gráfica de fenômenos, favorecendo uma visualização mais clara e significativa dos conceitos de Física. Além disso, o emprego de métodos de regressão linear e não linear permitirá a análise das dependências funcionais entre variáveis, possibilitando a construção de modelos matemáticos capazes de descrever os fenômenos estudados com maior precisão.

Outro resultado esperado refere-se ao aprimoramento das habilidades computacionais dos estudantes. Ao utilizarem o Excel como ferramenta científica e educacional, os alunos poderão aprender a manipular dados, elaborar gráficos, aplicar fórmulas matemáticas e interpretar resultados experimentais, desenvolvendo competências práticas relevantes tanto para o contexto acadêmico quanto para futuras atividades profissionais.

O material também contribuirá para a introdução de conceitos fundamentais relacionados à metodologia científica, especialmente no que se refere à análise de erros experimentais. Nesse processo, os estudantes terão contato com procedimentos envolvendo cálculo de médias, desvio padrão e estimativa de incertezas, ampliando sua compreensão sobre a precisão, a confiabilidade e a interpretação dos resultados obtidos em atividades experimentais.

Além dos aspectos conceituais e metodológicos, o produto educacional apresenta potencial para promover a inclusão digital e ampliar o acesso ao ensino experimental de Física. Ao oferecer uma alternativa viável para instituições que não dispõem de infraestrutura laboratorial adequada, o uso do Excel possibilita a realização de atividades investigativas em ambientes virtuais acessíveis e de baixo custo. Sua interface intuitiva favorece a participação de estudantes com diferentes níveis de familiaridade tecnológica, estimulando maior autonomia no processo de aprendizagem.

Outro aspecto relevante consiste no incentivo à criatividade, ao pensamento crítico e à articulação entre teoria e prática. Ao serem estimulados a desenvolver seus próprios modelos, analisar resultados e compará-los com fenômenos observados na realidade, os estudantes assumem um papel mais ativo na construção do conhecimento científico.

Por fim, espera-se que o material contribua para a otimização da análise de conjuntos de dados experimentais, permitindo aos estudantes desenvolver competências relacionadas ao tratamento, à organização e à interpretação de informações. Essas habilidades

ampliam a aplicabilidade dos conhecimentos construídos, tornando-os relevantes não apenas para o ensino de Física, mas também para diversos contextos acadêmicos, científicos e tecnológicos.

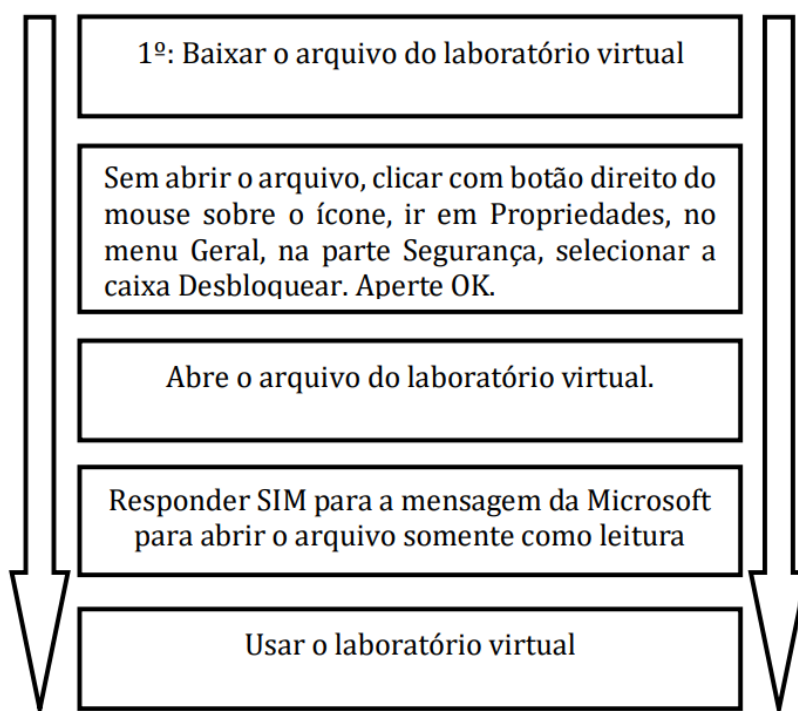
A9. ROTEIROS-GUIAS

Neste tópico é encontrado os roteiros experimentais para aplicação do produto educacional. A parte física tem como referências os livros:

- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física: Eletromagnetismo**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. v. 3.
- NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica 3: eletromagnetismo**. 2. ed. São Paulo, SP: Blucher, 2015.
- YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física III: eletromagnetismo**. Tradução de Sonia Midori Yamamoto. 12. ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2009. 425 p.

Para habilitar o uso do LVA no Excel, é necessário executar os passos estipulados por Rebouças, De Oliveira e Sousa (2023), indicados na Figura 34. Eles devem ser seguidos a cada uso de um laboratório virtual no Excel.

Figura 34 - Sequência de passos para usar o laboratório virtual no Excel



Fonte: Rebouças, De Oliveira e Sousa (2023)



Roteiro 1: Lei de Ohm

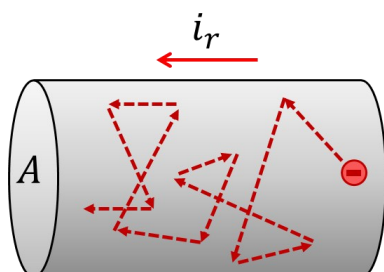
A primeira Lei de Ohm é um dos pilares da eletricidade e é fundamental para a compreensão de como os circuitos elétricos e componentes se comportam. Conhecer a relação entre tensão, corrente e resistência ajuda a aplicar esses conceitos em diversas áreas, desde a eletrônica básica até a sistema elétricos mais complexos. O entendimento dessa lei é essencial para qualquer estudante. Para facilitar o entendimento vamos iniciar desenvolvendo o conceito de corrente elétrica.

1.1 Fundamentação Teórica

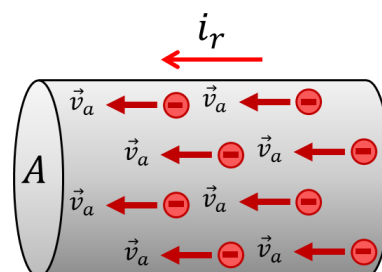
Devido à ação de uma força elétrica, os elétrons livres presentes nos materiais, principalmente nos materiais condutores, nos quais há maior quantidade desses elétrons, deslocam-se em determinado sentido e direção. Esse movimento é o que chamamos de corrente elétrica. A Figura 35(a) e Figura 35(b) ilustra a situação em que é mostrada o deslocamento real de um portador de carga livre e o deslocamento médio de um grupo de portadores de carga livres, respectivamente.

Figura 35 - (a) Movimento aleatório de um elétron em um meio condutor; (b) representação do movimento ordenado dos elétrons

(a)



(b)



Fonte: autor

A movimentação dos elétrons livres nos condutores não ocorre de maneira ordenada, como mostra a Figura 35(a), onde A é a área da seção transversal do condutor cilíndrico e i_r indica o sentido da corrente real. Durante esse deslocamento, os elétrons livres colidem

constantemente com os átomos do material, fazendo com que sigam trajetórias irregulares e apresentem velocidades médias relativamente baixas. Embora o movimento elétrico seja errático, ao longo do tempo ele adquire uma velocidade de arrasto, representada por $\vec{v}_a$ na Figura 35(a), que aponta para o sentido da corrente real i_r .

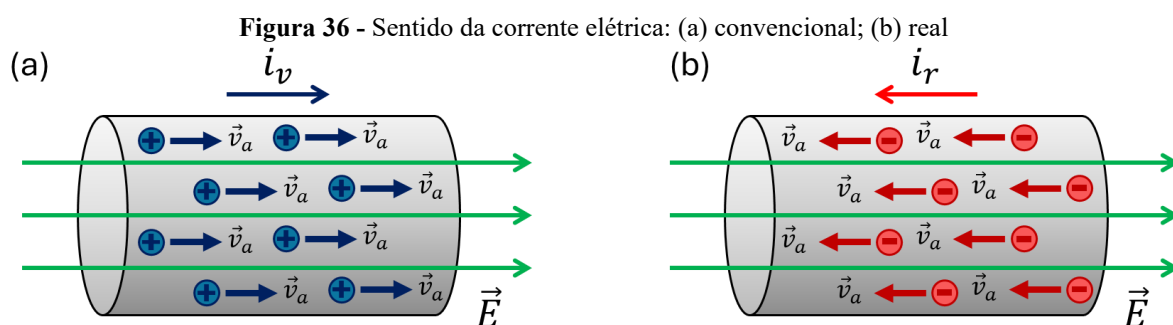
A intensidade da corrente elétrica mais conhecida somente por corrente elétrica, i , é quantidade de carga elétrica, Q , que passa por uma seção reta de um condutor dentro de um determinado intervalo de tempo, Δt , como indica a Equação 20.

$$i = \frac{Q}{\Delta t} \quad \text{Equação 20}$$

A unidade de medida da intensidade da corrente elétrica, definida pela Equação 20, no Sistema Internacional de Unidades (SI), é o ampère (A), nome adotado em homenagem ao cientista francês André-Marie Ampère.

Quando a corrente elétrica é constituída pelo movimento de elétrons, que possuem carga negativa, seu deslocamento ocorre em sentido oposto ao do campo elétrico existente no interior do condutor. Esse é o sentido real do movimento das cargas elétricas, conforme ilustrado na Figura 36(a), em que os elétrons se deslocam do polo negativo para o polo positivo da fonte.

Entretanto, por convenção internacional, adotou-se o sentido oposto para representar a corrente elétrica. Assim, considera-se que a corrente flui do polo positivo para o polo negativo, independentemente do movimento real dos elétrons. Esse sentido é denominado sentido convencional da corrente elétrica e está representado na Figura 36(b).



Fonte: adaptado de Halliday, Resnick e Walker (2016)

O instrumento utilizado para medir a intensidade da corrente elétrica é denominado amperímetro. Para que a medição seja realizada corretamente, ele deve ser conectado ao circuito de modo que a corrente elétrica a ser medida atravessasse o aparelho por meio de seus terminais. Na prática, é bastante comum a utilização do multímetro, um instrumento que reúne diversas

funções de medição em um único equipamento. Entre essas funções está a medição da corrente elétrica, desempenhando o papel de um amperímetro. A Figura 37 apresenta um multímetro digital de uso comum.

Figura 37 - Multímetro digital



Fonte: <https://pixabay.com/pt/images/search/multimetro/>, acesso em 20 maio 2026

A tensão elétrica pode ser compreendida como a grandeza responsável por fornecer energia às cargas elétricas, possibilitando seu movimento através de um condutor. Em um circuito elétrico, cada carga recebe energia da fonte de alimentação e a transporta ao longo do circuito. Por exemplo, em uma lâmpada, os elétrons transportam energia elétrica até o filamento, onde ela é transformada em outras formas de energia.

Nesse processo, ocorrem diversas transformações energéticas. No caso de uma lâmpada incandescente, parte da energia elétrica é convertida em energia térmica, aquecendo o filamento. Ao atingir temperaturas elevadas, o filamento passa a emitir radiação luminosa e calor para o ambiente. Todas essas transformações obedecem ao Princípio da Conservação da Energia, segundo o qual a energia não pode ser criada nem destruída, apenas transformada de uma forma em outra.

Matematicamente, conforme apresentado na Equação 21, o potencial elétrico V_q em um determinado ponto é definido como a razão entre a energia potencial elétrica U associada à carga elétrica q . Dessa forma, o potencial elétrico expressa a quantidade de energia potencial elétrica disponível por unidade de carga em um ponto do circuito e tem unidade no SI o volt (V).

$$V_q = \frac{U}{q} \quad \text{Equação 21}$$

Como o potencial pode ser medido em cada posição, V_A é o potencial elétrico no ponto A e V_B no ponto B, assim, a Equação 22 mostra os potenciais em cada ponto.

$$V_A = \frac{E_A}{q} \quad \text{e} \quad V_B = \frac{E_B}{q} \quad \text{Equação 22}$$

Sendo $E_A > E_B$ implica dizer que $V_A > V_B$, desta forma podemos definir Tensão Elétrica (U) como a diferença de potencial existente entre os pontos A e B, como mostra a Equação 23.

$$U = V_A - V_B \quad \text{Equação 23}$$

Em circuitos elétricos, o potencial elétrico de um único ponto geralmente não é a grandeza de maior interesse. Na prática, trabalha-se com a diferença de potencial elétrico entre dois pontos, também denominada tensão elétrica. É essa diferença de potencial que fornece energia às cargas elétricas e possibilita a circulação da corrente elétrica no circuito. A tensão pode ser medida entre quaisquer dois pontos de um circuito, como, por exemplo, entre os terminais de um resistor.

Tanto o potencial elétrico quanto a diferença de potencial são medidos na unidade volt (V), adotada pelo SI, em homenagem ao físico italiano Alessandro Volta. Para medir a tensão elétrica utiliza-se um instrumento denominado voltímetro, que geralmente é parte do multímetro (olhe a Figura 37).

A resistência elétrica está associada às interações que ocorrem entre as cargas em movimento e os átomos que constituem o material condutor. Como consequência dessas interações, parte da energia elétrica é transformada em energia térmica. Esse fenômeno é conhecido como Efeito Joule e é responsável pelo aquecimento de condutores e diversos componentes elétricos e eletrônicos. Um resistor é um limitador de corrente elétrica e, além disso, ele pode converter energia elétrica em energia térmica. Uma representação desse componente é apresentada na Figura 38(a), enquanto sua simbologia eletrônica é mostrada na Figura 38(b).

Figura 38 - (a) Resistor de uso comum; (b) simbologia eletrônica do resistor



Fonte: <https://pixabay.com/pt/images/search/multimetro/>, acesso em 20 maio 2026

No SI, a resistência elétrica é medida em ohm (Ω), em homenagem ao físico alemão Georg Simon Ohm, pioneiro no estudo sistemático do comportamento da resistência elétrica em circuitos elétricos.

A partir dos conceitos de corrente elétrica, tensão elétrica e resistência elétrica, é possível compreender a 1ª Lei de Ohm. Descoberta experimentalmente por Georg Simon Ohm, essa lei estabelece que, para condutores ôhmicos e sob condições de temperatura constante, a razão entre a tensão aplicada e a corrente elétrica resultante permanece constante. Essa constante corresponde à resistência elétrica do material ou componente analisado.

A 1ª Lei de Ohm descreve uma relação fundamental entre a tensão elétrica (U), a corrente elétrica (i) e a resistência elétrica (R) em um circuito elétrico. Segundo essa lei, a tensão aplicada a um condutor é diretamente proporcional à corrente elétrica que o atravessa, sendo a constante de proporcionalidade a sua resistência elétrica. Matematicamente, essa relação é expressa pela Equação 24 e todo componente eletrônico ou material que obedece a 1ª Lei de Ohm é chamado de ôhmico.

$$U = Ri$$

Equação 24

A seguir é apresentada uma atividade simulada sobre a 1ª Lei de Ohm.

1.2 Atividade Prática: Lei de Ohm



ARQUIVO PARA ACESSO AO LABORATÓRIO VIRTUAL

Lei_de_ohm.xlsx



OBJETIVOS

- Realizar um estudo sobre a lei de Ohm;
- Estudar o código de cores para leitura da resistência;
- Usar corretamente o multímetro;
- Analisar o gráfico da curva da tensão pela corrente;

DOWNLOAD DO ARQUIVO

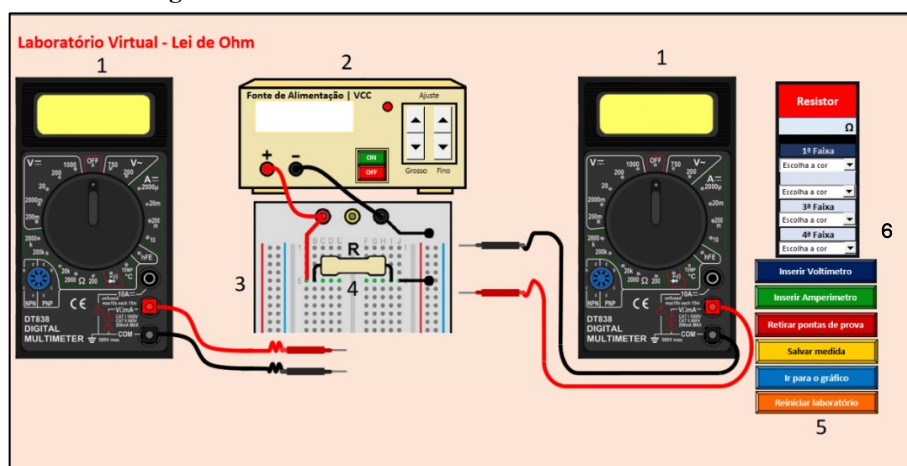
- Para o download use o link ou o QR Code:

<https://drive.google.com/file/d/1uAGbMk277aLDC7QxQ5qlxSnWQgftdIB/view>



P1. O laboratório virtual que trabalha a 1ª de Lei de Ohm possui todos os equipamentos virtuais necessários para um aprendizado interativo e imersivo, de forma a simular de forma um experimento de forma mais próxima de realidade. Esse laboratório virtual no Excel tem seu ambiente de experimentação mostrado na Figura 39, nela é possível notar onde estão todas as ferramentas virtuais utilizadas para o experimento ao lado das indicações numéricas para identificação: o multímetro com pontas de prova (1), a fonte de alimentação (2), o protoboard (3), o resistor (4), os botões de comando (5) e o seletor de cores para alterar o valor da resistência do resistor (6).

Figura 39 - Interface do “Laboratório virtual – Lei de Ohm”



Fonte: autor

P2. Um dos multímetros é utilizado como voltímetro, enquanto o outro é utilizado como amperímetro. Esse é um detalhe importante, pois cada instrumento deve ser configurado de acordo com a grandeza que será medida e com a forma como será conectado ao circuito.

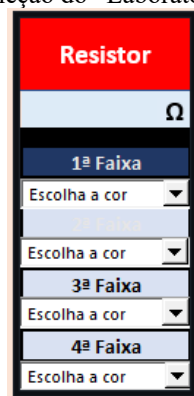
P3. O voltímetro deve ser ligado em paralelo ao componente ou trecho do circuito onde se deseja medir a tensão elétrica. Já o amperímetro deve ser conectado em série, de modo que a corrente elétrica a ser medida o atravesse. Em experimentos com equipamentos físicos, é necessário ter bastante cuidado tanto na realização das conexões quanto na escolha da escala de medição adequada, pois erros nesses procedimentos podem danificar o instrumento. No ambiente virtual, entretanto, não existe a possibilidade de danificar os equipamentos, proporcionando ao aluno maior liberdade para explorar e realizar o experimento.

P4. A fonte de alimentação é o equipamento responsável por fornecer a tensão necessária para a realização do experimento. Sua utilização é bastante simples: basta clicar no botão “On” para ligá-la e utilizar os controles de ajuste grosso e ajuste fino para selecionar a tensão desejada. Ao final da atividade, a fonte pode ser desligada por meio do botão “Off”. A Figura 40 apresenta, em detalhes, a fonte de alimentação disponível no laboratório virtual.

Figura 40 - Fonte de alimentação do “Laboratório virtual – Lei de Ohm”

Fonte: autor

P5. Para selecionar o valor das faixas do resistor que determinam o valor de resistência e a tolerância, conforme mostra a Figura 41. Foi utilizada a representação de quatro faixas para os resistores da experimentação simulada.

Figura 41 - Caixa de seleção do “Laboratório virtual - Lei de Ohm”

Fonte: autor

P6. O experimentador pode consultar uma tabela com o código de cores caso seja necessário. Na Figura 42 é mostrada o código de cores.

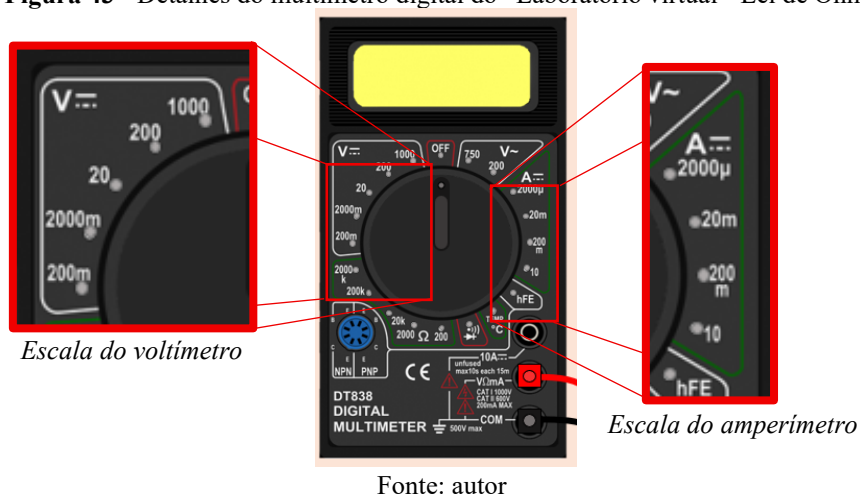
Figura 42 - Código de cores para leitura da resistência

Cor:	1ª Faixa:	2ª Faixa:	Multiplicador:	Tolerância:
Preto	0	0	1	± 20%
Marrom	1	1	10	±1%
Vermelho	2	2	100	±2%
Laranja	3	3	1000	±3%
Amarelo	4	4	10000	±4%
Verde	5	5	100000	-
Azul	6	6	-	-
Violeta	7	7	-	-
Cinza	8	8	-	-
Branco	9	9	-	-
Dourado	-	-	0,1	± 5%
Prateado	-	-	0,01	± 10%

Fonte: <https://blog.fazedores.com/guia-fazedores-resistores/>, acesso em 20 de maio 2026

P7. O voltímetro é uma ferramenta indispensável para eletricistas, engenheiros, técnicos e demais profissionais que necessitam realizar medições de grandezas elétricas, especialmente da tensão elétrica. Compreender seu funcionamento e a forma correta de conectá-lo ao circuito é fundamental para a realização de medições precisas e seguras. Uma conexão inadequada ou uma configuração incorreta do instrumento pode resultar em erros de leitura, danos ao equipamento e, em situações reais, até mesmo em riscos à segurança do operador, como a ocorrência de choques elétricos. A Figura 43 apresenta em detalhes o multímetro digital disponível no laboratório virtual.

Figura 43 - Detalhes do multímetro digital do “Laboratório virtual - Lei de Ohm”



Fonte: autor

P8. O voltímetro é um instrumento utilizado para medir a diferença de potencial elétrico (tensão) entre dois pontos de um circuito. Seu funcionamento baseia-se na medição da tensão aplicada aos seus terminais, convertendo esse valor em uma leitura que pode ser visualizada no display. No laboratório virtual, essa função é realizada por um multímetro, instrumento versátil capaz de medir diversas grandezas elétricas, como tensão, corrente e resistência.

P9. Para utilizar o multímetro como voltímetro, é necessário selecionar uma escala de tensão adequada ao valor que se deseja medir. Para isso, deve-se clicar no ponto correspondente ao valor máximo da faixa de medição. Por exemplo, se a tensão esperada for de aproximadamente 15 V, a escala selecionada deve ser a de 20 V. A Figura 43, na parte *Escala do voltímetro*, apresenta a seleção da escala do voltímetro.

P10. O laboratório virtual também disponibiliza um segundo multímetro configurado para funcionar como amperímetro. Esse instrumento é utilizado para medir a intensidade da corrente elétrica que circula em um circuito, podendo realizar medições tanto de corrente contínua (DC) quanto de corrente alternada (AC). Em situações reais, é fundamental conhecer previamente a

ordem de grandeza da corrente que será medida para selecionar a escala adequada, evitando danos ao equipamento e possíveis riscos ao operador, como choques elétricos.

P11. Para selecionar a escala desejada do amperímetro, basta clicar no ponto correspondente à faixa de medição adequada. Por exemplo, para medir uma corrente de aproximadamente 150 mA, recomenda-se selecionar a escala de 200 mA, garantindo uma leitura mais precisa e segura. A Figura 43, na parte *Escala do amperímetro*, apresenta a escala do amperímetro.

P12. Para utilizar um amperímetro corretamente, recomenda-se seguir os seguintes procedimentos:

- (I) *Desligar a fonte de alimentação antes de realizar qualquer conexão no circuito;*
- (II) *Conectar o amperímetro em série com o circuito, de modo que toda a corrente a ser medida atravessasse o instrumento;*
- (III) *Selecionar a faixa de medição apropriada para a corrente esperada;*
- (IV) *Ligar a fonte de alimentação e observar a leitura apresentada no display do amperímetro.*

P13. Os procedimentos da P12 garantem medições mais confiáveis e contribuem para a segurança durante a realização de experimentos e atividades práticas.

P14. A Figura 44 apresenta os controles disponíveis para alterar o valor da resistência do resistor e realizar as medições no laboratório virtual. Para a execução das atividades experimentais, estão disponíveis seis botões de comando:

- (I) ***Inserir voltímetro:*** *ao clicar neste botão, as pontas do multímetro configurado como voltímetro são conectadas em paralelo ao resistor, permitindo a medição da tensão elétrica em seus terminais.*
- (II) ***Inserir amperímetro:*** *ao clicar neste botão, o multímetro configurado como amperímetro é conectado em série ao circuito, de modo que a corrente elétrica a ser medida atravessasse o instrumento.*
- (III) ***Retirar pontas de prova:*** *desconecta as pontas dos instrumentos de medição do circuito.*
- (IV) ***Salvar medidas:*** *armazena os valores de tensão e corrente obtidos durante o experimento.*
- (V) ***Ir para o gráfico:*** *exibe um gráfico construído a partir das medidas previamente salvas, permitindo a análise dos dados experimentais.*

(VI) **Reiniciar laboratório:** restaura o ambiente experimental ao estado inicial, apagando todas as medidas registradas, desconectando as ponteiros dos instrumentos, redefinindo o valor da resistência do resistor e desligando a fonte de alimentação. A utilização adequada desses controles permite ao aluno realizar as medições necessárias e analisar os resultados obtidos de forma organizada e eficiente.

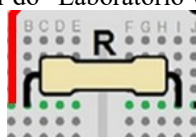
Figura 44 - Botões de controle do “Laboratório virtual - Lei de Ohm”



Fonte: autor

P15. O resistor é um componente eletrônico que regula a passagem de corrente elétrica do circuito. A Figura 45 mostra o resistor em destaque. Observe que o resistor está sem as faixas que determinam o valor da sua resistência, logo o experimentador deverá escolher as cores, e para isso utilizará o seletor de cores da Figura 41, e consultar os códigos de cores na Figura 42.

Figura 45 - Resistor do “Laboratório virtual - Lei de Ohm”



Fonte: autor

P16. A protoboard, mostrada na Figura 46(a), também conhecida como placa de ensaios, é uma ferramenta muito utilizada na eletrônica para montagem de protótipos de circuitos e realizar os testes necessários para indicar quais alterações poderão ser feitas nestes circuitos. A principal vantagem é a sua capacidade de permitir a montagem rápida e temporária de circuitos, isso é especialmente útil para testes e experimentos já que você pode facilmente modificar o circuito conforme necessário. A Figura 46(b) mostra como estão conectados os trilhos na protoboard.

P20. Como você pode verificar se os valores obtidos estão de acordo com a 1ª Lei de Ohm?

Sua resposta:

P21. Quais são as possíveis fontes de erro no experimento?

Sua resposta:

P22. Como você pode minimizar os erros no experimento?

Sua resposta:

P23. O que acontece com a corrente quando a tensão aumenta?

Sua resposta:

P24. Qual a relação entre corrente e tensão?

Sua resposta:



Roteiro 2: Capacitores

Os capacitores são componentes fundamentais da eletrônica e desempenham um papel essencial em diversos dispositivos presentes no cotidiano, desde telefones celulares até sistemas eletrônicos mais complexos. A compreensão do funcionamento desses componentes possibilita entender o desenvolvimento e a otimização de tecnologias empregadas em áreas como telecomunicações, sistemas de armazenamento de energia, automação, instrumentação eletrônica e robótica.

2.1 Fundamentação Teórica

O capacitor é um componente eletrônico muito popular e bastante utilizado em circuitos eletrônicos com o intuito de temporizar o acionamento, o tempo de funcionamento ou desligamento de dispositivos conforme a necessidade da ocasião, e pode também ser utilizado com um filtro de ruídos. Um exemplo do capacitor é mostrado na Figura 47(a), com sua simbologia eletrônica mostrada na Figura 47(b).

Figura 47 - Capacitor de uso comum em (a); em (b) a sua simbologia eletrônica



Fonte: <https://www.build-electronic-circuits.com>, acesso em 20 maio 2026

Em circuitos elétricos, frequentemente existe a necessidade de armazenar cargas elétricas e, conseqüentemente, energia elétrica. Um exemplo bastante comum dessa aplicação é o flash de uma câmera fotográfica, que utiliza um capacitor para armazenar energia e liberá-la rapidamente quando necessário.

O funcionamento de um capacitor baseia-se na separação e no acúmulo de cargas elétricas em dois condutores, denominados placas, que são separados por um material isolante

chamado dielétrico. Quando uma diferença de potencial é aplicada entre essas placas, cargas elétricas de sinais opostos acumulam-se em cada uma delas, permitindo o armazenamento de energia elétrica no campo elétrico estabelecido entre as placas.

A quantidade de carga que um capacitor é capaz de armazenar depende de diversos fatores, entre eles a geometria das placas, a distância entre elas, as propriedades do material dielétrico e a diferença de potencial aplicada. A grandeza física que caracteriza essa capacidade de armazenamento é denominada capacitância.

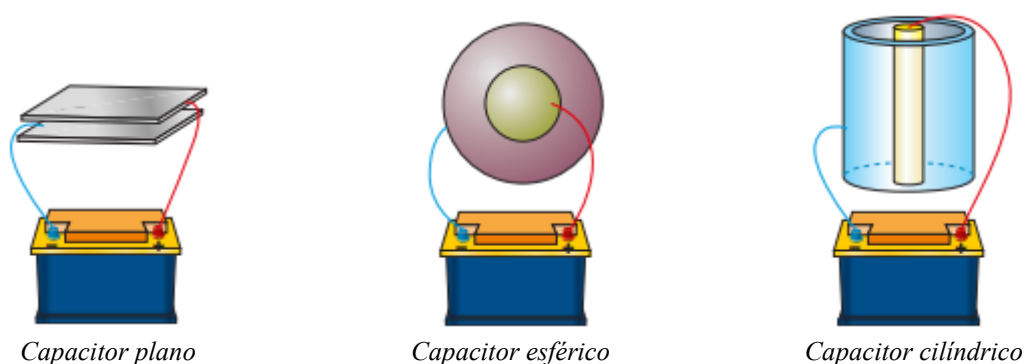
A Equação 25 mostra a relação entre a carga elétrica armazenada (Q), a diferença de potencial aplicada (V) e a capacitância (C).

$$Q = CV$$

Equação 25

Qualquer par de condutor carregados com cargas opostas e colocados próximos um do outro é chamado de capacitor. Algumas geometrias comuns de capacitores são mostradas na Figura 48.

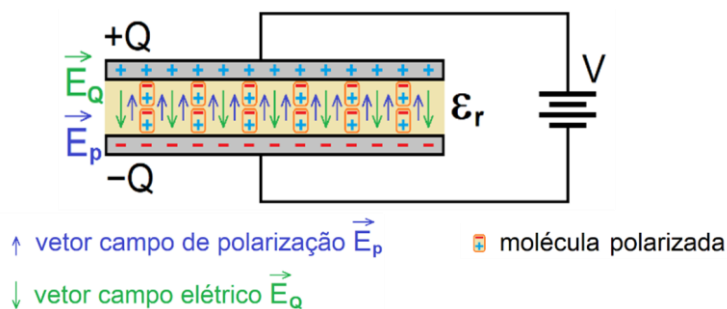
Figura 48 - Capacitores de diferentes geometrias ligados a uma bateria



Fonte: Calçada, Caio (2012, p.273)

Como já mencionado, um capacitor é um par de condutor carregado com cargas opostas, então temos um corpo com carga $+Q$ e outro com $-Q$, assim quando nos referimos a carga de um capacitor, estamos falando do módulo de Q . A Figura 49 mostra o campo elétrico criado entre duas placas paralelas de um capacitor com uma bateria de potencial V . O uso de um dielétrico entre as placas dos capacitores é fundamental para aumentar sua capacitância, melhorar a eficiência no armazenamento de energia e garantir a operação segura do dispositivo. A escolha do material dielétrico e sua constante dielétrica são cruciais para o desempenho de circuitos elétricos e eletrônicos.

Figura 49 - Campo elétrico entre as placas do capacitor com um dielétrico entre suas placas



Fonte: autor

O dielétrico reduz o campo elétrico entre as placas do capacitor, que é resultado de $(\vec{E}_Q - \vec{E}_p)$. Isso ocorre porque as moléculas do dielétrico se polarizam na presença de um campo elétrico, $\vec{E}_p$, criando um campo elétrico interno que se opõe ao campo criado pelas placas $\vec{E}_Q$. A introdução de um dielétrico aumenta a capacitância de um capacitor em uma razão chamada constante dielétrica (ϵ_r). A capacitância C de um capacitor com dielétrico é dada pela Equação 26, onde C_0 é a capacitância do capacitor no vácuo.

$$C = \epsilon_r C_0$$

Equação 26

O material dielétrico desempenha um papel fundamental no funcionamento dos capacitores, pois aumenta sua capacidade de armazenar energia elétrica. Quanto maior a capacitância de um capacitor, maior será a quantidade de carga elétrica que ele poderá armazenar para uma mesma diferença de potencial aplicada entre suas placas. Além disso, o dielétrico atua como um material isolante, impedindo a passagem direta de cargas elétricas entre as placas e evitando a ocorrência de descargas elétricas que poderiam comprometer o funcionamento do dispositivo.

Diferentes materiais dielétricos, como papel, cerâmica, plástico e mica, possuem constantes dielétricas distintas. Essa característica permite a escolha do material mais adequado para cada aplicação, possibilitando a otimização da capacitância e das demais propriedades elétricas do capacitor.

Para um capacitor de geometria fixa e com um determinado material dielétrico, a capacitância permanece constante. Dessa forma, se a tensão aplicada for dobrada, a carga armazenada também dobrará, mantendo constante a razão entre carga e tensão. No entanto, todo capacitor possui um limite máximo de tensão de operação. Caso a diferença de potencial aplicada ultrapasse esse valor, o campo elétrico entre as placas pode tornar-se suficientemente

intenso para provocar a ruptura dielétrica do material isolante, comprometendo o funcionamento do componente e podendo até mesmo destruí-lo.

Em homenagem ao cientista britânico Michael Faraday, a unidade de capacitância no SI é o farad (F). Um farad corresponde à capacitância de um dispositivo capaz de armazenar uma carga elétrica de um coulomb (C) quando submetido a uma diferença de potencial de um volt (V).

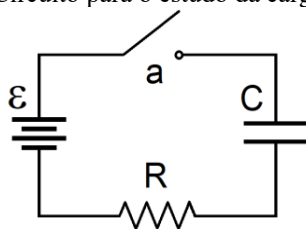
Considerando o circuito da Figura 49, admitindo que o capacitor tem capacitância C , a energia armazenada nele é dada por E_C e descrita pela Equação 27, onde U é a tensão no capacitor. Como se trata de uma forma de energia, a energia armazenada pelo capacitor também é medida em joule (J).

$$E_C = \frac{QU}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{Q^2U}{2} \quad \text{Equação 27}$$

O processo de carga e descarga de um capacitor é fundamental para a compreensão de seu funcionamento em circuitos elétricos. Como discutido anteriormente, esse componente é amplamente utilizado em aplicações de temporização, podendo controlar o instante de acionamento, o tempo de funcionamento ou o desligamento de dispositivos elétricos e eletrônicos. Para compreender essas aplicações, é necessário analisar o comportamento do capacitor durante os processos de carga e descarga.

A Figura 50 mostra um circuito formado por um capacitor (C), um resistor (R), uma bateria ($\mathcal{E}$) e uma chave a . Inicialmente o capacitor está descarregado. Quando um capacitor é conectado a uma fonte de tensão, como uma bateria, ele inicia o processo de carregamento. Nesse processo, cargas elétricas acumulam-se gradualmente em suas placas, fazendo com que a tensão entre elas aumente progressivamente até atingir um valor próximo ao da tensão fornecida pela fonte.

Figura 50 - Circuito para o estudo da carga do capacitor



Fonte: autor

O tempo necessário para que o capacitor se carregue depende das características do circuito em que está inserido, especialmente da resistência elétrica e da capacitância. A

combinação dessas duas grandezas determina a chamada constante de tempo do circuito, geralmente representada por $\tau = RC$, que desempenha papel fundamental na velocidade com que ocorrem os processos de carga e descarga do capacitor. A constante de tempo tem unidade de tempo e, por isso, o produto entre as unidades de capacitância (F) e resistência (Ω) tem unidade de segundo (s), no SI.

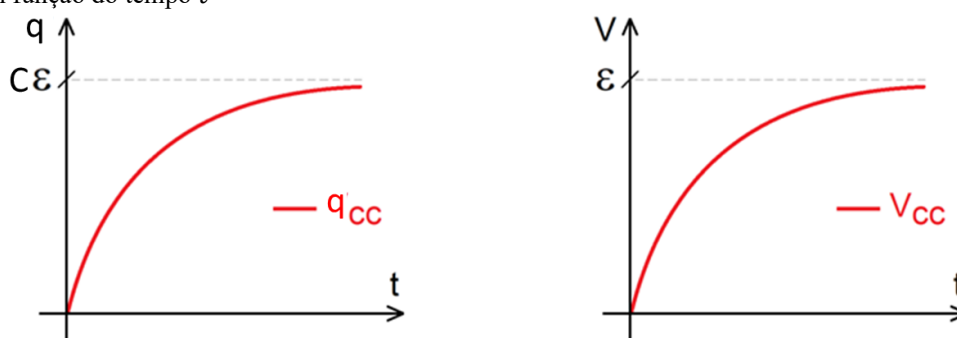
É possível demonstrar que a carga elétrica cresce exponencialmente com o tempo utilizando-se as ferramentas matemáticas como cálculo diferencial. A carga armazenada em função do tempo t dada por $q(t)$ dada pela Equação 28, onde o produto entre a capacitância C e a ddp aplicada ε é a carga inicial. Enquanto a tensão V é dada pela Equação 29.

$$q_{CC}(t) = C\varepsilon \left[1 - \exp\left(\frac{-t}{\tau}\right) \right] \quad \text{Equação 28}$$

$$V_{CC}(t) = \varepsilon \left[1 - \exp\left(\frac{-t}{\tau}\right) \right] \quad \text{Equação 29}$$

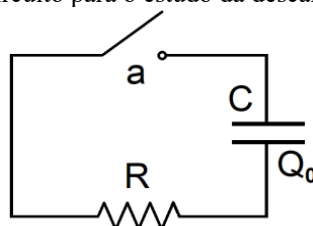
Para um circuito RC no processo de carga, os gráficos na Figura 51 mostram as curvas da carga q e da tensão V em função do tempo t , onde q_{CC} e V_{CC} são as evoluções da carga e da tensão em função do tempo com comportamento exponencial

Figura 51 - Gráficos do processo de carga do capacitor em função do tempo, em um circuito RC, da carga q e da tensão V em função do tempo t



Fonte: autor

Tomando por base a Figura 52, um capacitor com capacitância C tem carga acumulada equivalente a Q_0 e está conectado a um resistor R e uma chave a . Quando a chave for fechada, o capacitor é conectado diretamente ao resistor, fluindo uma corrente elétrica e a carga no capacitor vai diminuindo com o tempo. Esse processo é conhecido por descarga do capacitor. As equações do processo de descarga da carga elétrica que mostra a carga no capacitor (q_{CD}) e da tensão no capacitor (V_{CD}) e em função do tempo (t) são dadas pela Equação 30 e Equação 31, respectivamente.

Figura 52 - Circuito para o estudo da descarga do capacitor

Fonte: autor

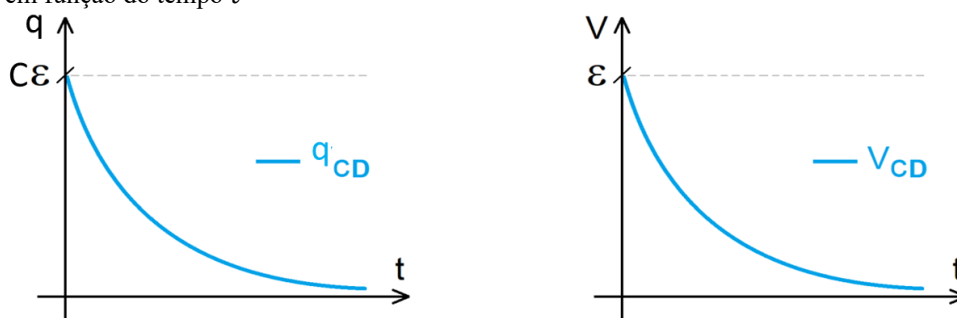
$$q_{CD}(t) = C\varepsilon \left[1 - \exp\left(\frac{-t}{\tau}\right) \right]$$

Equação 30

$$V_{CD}(t) = \varepsilon \left[1 - \exp\left(\frac{-t}{\tau}\right) \right]$$

Equação 31

As curvas que representam as funções da Equação 30 e Equação 31 são mostradas na Figura 53, diminuindo com o tempo de forma exponencial.

Figura 53 - Gráficos do processo de descarga do capacitor em função do tempo, em um circuito RC, da carga q e da tensão V em função do tempo t 

Fonte: autor

Quando um capacitor descarrega através de um resistor, sua tensão diminui gradualmente ao longo do tempo. Esse comportamento pode ser utilizado para controlar atrasos em circuitos eletrônicos, determinando o instante em que um dispositivo será acionado ou desligado. Por exemplo, em sistemas de iluminação automática, alarmes, temporizadores industriais e circuitos de partida de motores, o tempo de descarga do capacitor é utilizado para definir intervalos de operação. Outra aplicação importante está nos nobreaks e fontes de alimentação, onde os capacitores armazenam energia elétrica e a liberam durante pequenas interrupções da alimentação, contribuindo para a estabilidade da tensão fornecida aos equipamentos eletrônicos.

A seguir, é apresentada uma atividade simulada sobre a descarga do capacitor.

2.2 Atividade Prática: Descarga de um capacitor



ARQUIVO PARA ACESSO AO LABORATÓRIO VIRTUAL

Lab.Virtual - Descarga do Capacitor.xlsm



OBJETIVOS

- Realizar um estudo sobre a descarga de um capacitor;
- Estudar as condições que alteram a carga em um circuito RC;
- Estudar conceitos de energia, carga e tensão no capacitor;
- Analisar o gráfico da curva da tensão pelo tempo;

DOWNLOAD DO ARQUIVO

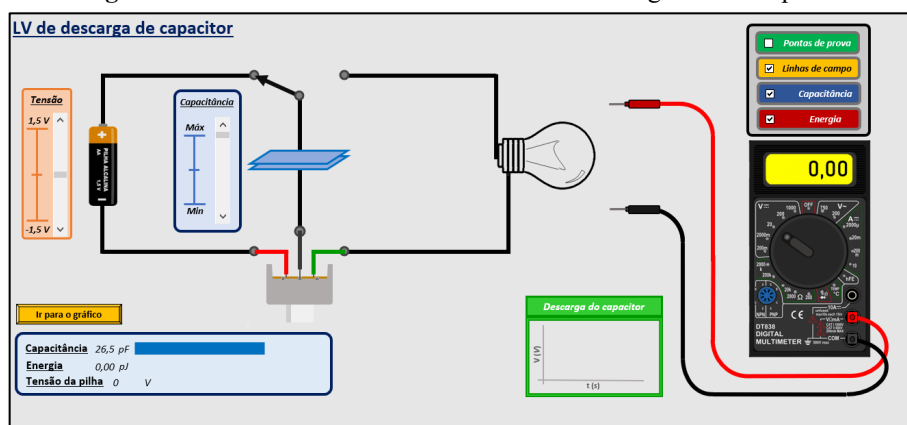
- Para o download use o link ou o QR Code:

https://drive.google.com/file/d/12Elx5Dy04bfQkF7Y88Um_tUHg0NT7Fcr/view



P1. O LVA chamado de Laboratório Virtual Descarga de um Capacitor é usado para dispor de um capacitor de placas paralelas, um voltímetro, uma pilha de tensão contínua, uma chave h-h, uma lâmpada e os controles desses componentes virtuais. O ambiente virtual no Excel é mostrado na Figura 54.

Figura 54 - Ambiente do Laboratório Virtual Descarga de um Capacitor



Fonte: autor

P2. Na Figura 54, a fonte de tensão ε , que é uma pilha, tem uma tensão que pode ser ajustada de zero a $\pm 1,5$ V; um resistor representado por uma lâmpada de resistência R desconhecida conectada ao voltímetro; um capacitor C de placas paralelas que pode ter sua capacitância alterada mudando as características do capacitor; a chave direciona a pilha para carregar o capacitor instantaneamente ou para descarregar sobre a lâmpada.

P3. Escolha um valor de tensão para a pilha, ε . Ajuste a capacitância do capacitor para C . Os valores de ε e C devem ser escritos na Tabela 1, no espaço indicado. Após carregar o capacitor, inverta a chave para conectar a lâmpada. Meça a ddp (V) da lâmpada em diferentes instantes de tempo (t) e preencha os dados na Tabela 1. Lembre-se de observar cuidadosamente a variação da ddp da lâmpada ao longo do tempo. Essa análise nos ajudará a compreender o comportamento do circuito e a função do capacitor. Finalize a Tabela 1 calculando o valor de $\ln(V/\varepsilon)$, que servirá para medir a constante de tempo do circuito RC.

Tabela 1 - Medidas do tempo e da ddp

$\varepsilon =$		$C =$
$V(V)$	$\ln(V/\varepsilon)$	$t(s)$

2.3 Questões importantes: Descarga de um capacitor

P4. Com os valores da Tabela 1, faça o gráfico de V versus t e de t versus $\ln(V/\varepsilon)$. Comente sobre os comportamentos de cada um deles. Com o ajuste linear de t versus $\ln(V/\varepsilon)$, qual o valor da constante de tempo?

Sua resposta:

P5. O que pode ser feito para a lâmpada fique mais tempo ligada?

Sua resposta:

P6. Como a capacitância do capacitor afeta o tempo de descarga?

Sua resposta:

P7. O que acontece com a energia armazenada durante o processo de descarga?

Sua resposta:

P8. A descarga de um capacitor é um processo linear?

Sua resposta:

P9. O que acontece com a capacitância se aumentamos ou diminuimos a distância entre as placas do capacitor?

Sua resposta:



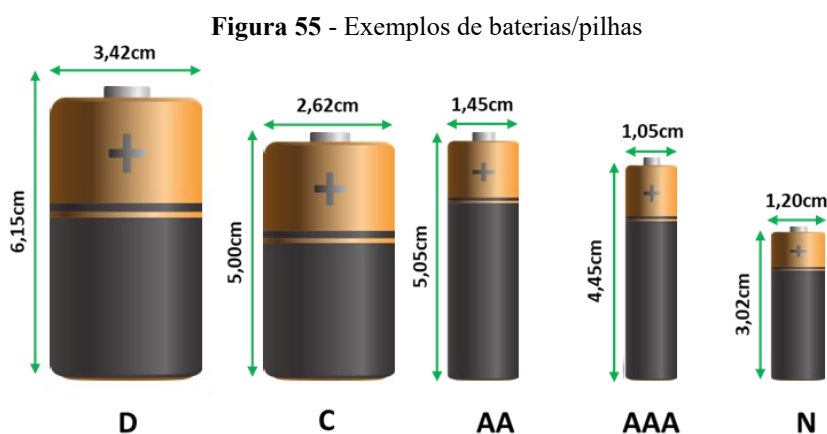
Roteiro 3: Resistência interna de uma pilha

As pilhas e baterias são fontes de energia elétrica amplamente utilizadas em dispositivos do cotidiano. Esses dispositivos apresentam uma característica denominada resistência interna, que influencia o funcionamento dos circuitos aos quais estão conectados. Ela provoca uma redução da tensão disponível nos terminais da pilha quando há circulação de corrente elétrica. Por isso, é importante compreender como essa propriedade afeta o desempenho e a eficiência de fontes elétricas reais.

3.1 Fundamentação Teórica

As baterias são dispositivos capazes de transformar energia química em energia elétrica, fornecendo a energia necessária para manter as cargas elétricas em movimento em um circuito e, conseqüentemente, os equipamentos em funcionamento.

As baterias são constituídas por materiais químicos que, por meio de reações eletroquímicas, geram uma diferença de potencial elétrico entre seus terminais. Entretanto, além de fornecer energia ao circuito externo, a própria bateria também oferece oposição à passagem da corrente elétrica em seu interior. Essa oposição é denominada resistência interna da bateria. A Figura 55 traz alguns exemplos de pilhas.



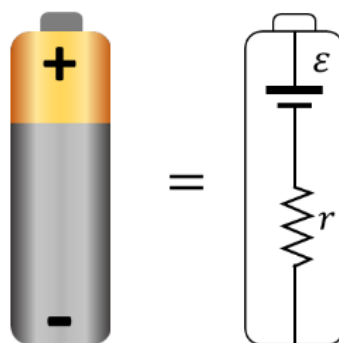
Fonte: adaptado de <https://pixabay.com/pt/>, acesso em 20 maio 2026

A resistência interna corresponde à resistência elétrica dos materiais que compõem a bateria. Quando uma corrente elétrica circula, parte da energia química convertida em energia elétrica é dissipada na forma de calor devido ao Efeito Joule. Como consequência, a tensão disponibilizada aos terminais da bateria é menor do que a força eletromotriz gerada internamente.

Por causa dessas perdas energéticas, as baterias reais apresentam um comportamento diferente das baterias ideais. Enquanto a bateria ideal não possui resistência interna e fornece toda a energia gerada ao circuito externo, a bateria real apresenta resistência interna e, portanto, parte de sua energia é dissipada em seu próprio interior, reduzindo sua eficiência.

A pilha ou bateria ideal fornece energia elétrica às cargas por meio da força eletromotriz (fem), representada por ε . Entretanto, em uma pilha ou bateria real, existe uma resistência elétrica interna que provoca perdas de energia na forma de calor. Como consequência, a diferença de potencial útil disponibilizada aos elementos do circuito é menor que a força eletromotriz da fonte. É importante observar que essa redução da tensão ocorre somente quando há circulação de corrente elétrica no circuito. A Figura 56 mostra uma pilha real com fem dada por ε e resistência interna r .

Figura 56 - Representação de uma pilha real com resistência interna



Tomando por base a Figura 56, a tensão U fornecida por uma pilha ou bateria real é dada pela Equação 32, onde i representa a corrente que passa pela bateria.

$$U = \varepsilon - ri$$

Equação 32

Vamos destacar duas situações:

- (I) **Tensão de circuito aberto da bateria:** dizemos que uma bateria está em circuito aberto quando nenhum elemento externo está conectado aos seus terminais, não havendo circulação de corrente elétrica. Nessa condição, a tensão medida nos

terminais é muito próxima da força eletromotriz ($\mathcal{E}$) da bateria. Entretanto, essa medida não é exatamente igual à $\mathcal{E}$, pois o instrumento de medição possui características próprias que podem influenciar o resultado, ainda que de forma geralmente desprezível. A Figura 57 mostra um multímetro medindo a tensão de uma pilha.

Figura 57 - Medindo a tensão de circuito aberto da pilha



Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br>, acesso em 20 maio 2026

- (II) **Bateria em curto-circuito:** essa situação ocorre quando os dois terminais da bateria são conectados diretamente entre si, sem a presença de nenhum elemento elétrico externo que limite a corrente. Nessas condições, a corrente elétrica atinge um valor muito elevado, denominado corrente de curto-circuito. A Figura 58 ilustra essa situação. Na prática, esse procedimento não deve ser realizado, pois a corrente excessiva pode provocar aquecimento, danos à bateria e até comprometer a segurança do circuito. No caso teórico, a corrente de curto-circuito, i_{cc} , é dada pela Equação 33.

Figura 58 - Pilha em curto-circuito



Fonte: autor

$$i_{cc} = \frac{\mathcal{E}}{r}$$

Equação 33

A seguir é apresentada uma atividade simulada sobre baterias.

3.2 Atividade Prática: Resistência interna



ARQUIVO PARA ACESSO AO LABORATÓRIO VIRTUAL

Lab.Virtual - Resistência interna da pilha.xlsx



OBJETIVOS

- Compreender limitações reais das fontes de energia;
- Modelar corretamente um circuito elétrico;
- Interpretar fenômenos práticos;

DOWNLOAD DO ARQUIVO

- Para o download use o link ou o QR Code:

https://drive.google.com/file/d/1D17TIqWENISSdL5ZnOCgSKxOlcwcBMY/view?usp=drive_link

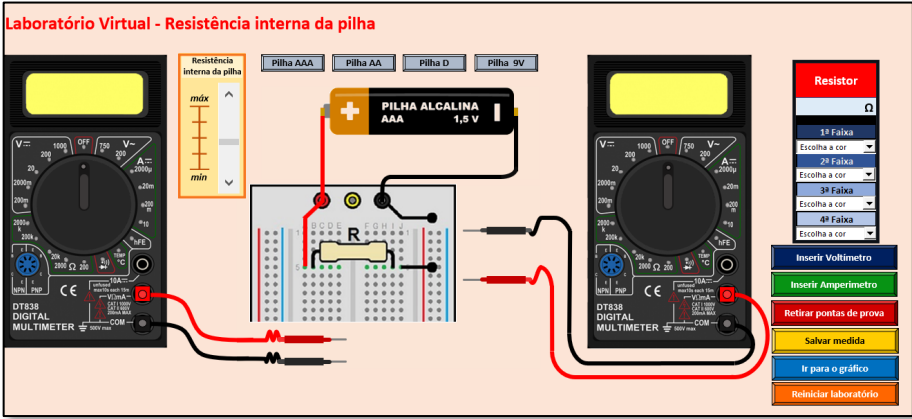


P1. O ambiente do LVA chamado de “Laboratório de resistência Interna de uma pilha” é composto por dois multímetros, sendo um configurado com voltímetro e outro como amperímetro; uma pilha; um resistor, que representará uma carga; e os controles do laboratório que configuram o valor da resistência do resistor e da tensão da pilha (desconhecida). Ele tem o objetivo de fazer um estudo sobre as características de uma pilha quando inserida num circuito de um resistor. É possível escolher o tipo de pilha, entre os modelos disponíveis (modelos AAA, AA, D e 9V). A Figura 59 mostra o ambiente no Excel do “Laboratório Virtual - Resistência Interna”.

P2. Para início da atividade simulada é importante realizar uma configuração inicial:

- (I) Selecione o tipo de pilha para a experimentação simulada.
- (II) Ajuste o valor da resistência interna da pilha (mínimo, intermediário e máximo).
- (III) Ajuste o valor da resistência do resistor (escolha ordens numéricas diferentes).
- (IV) Meça os valores da tensão e da corrente sobre o resistor.
- (V) Para cada valor de resistência interna, use cinco tipos de resistores para as medidas de tensão e corrente.

Figura 59 - Ambiente do “Laboratório Virtual - Resistência Interna”



Fonte: autor

P3. Na Tabela 2 deve ser preenchido com os valores de tensão (V) e de corrente (I) para os passos encontrados na P2.

Tabela 2 - Medidas de tensão e corrente para o circuito formado por uma pilha e um resistor

Pilha escolhida:						
Valores das resistências	Valor da resistência interna					
	mínimo		intermediário		máximo	
	V (V)	I (A)	V (V)	I (A)	V (V)	I (A)
$R_1 =$						
$R_2 =$						
$R_3 =$						
$R_4 =$						
$R_5 =$						

P4. Com as medidas da Tabela 2, construa o gráfico para cada valor de resistência interna da pilha e meça o valor da resistência interna e comente sobre seus resultados. O que representa a resistência interna?

Sua resposta:

3.3 Questões importantes: Resistência interna de uma pilha

P5. Você tem em mãos uma pilha AA nova, com uma tensão nominal de 1,5 V. Se você usasse um voltímetro para medir a tensão nos terminais dessa pilha enquanto ela alimenta diferentes circuitos (um que exige pouca energia e outro que exige muita), o que você espera que o voltímetro mostre? A tensão medida seria sempre a mesma? Justifique seu raciocínio.

Sua resposta:

P6. Compare as resistências internas obtidas com as medidas da Tabela 2, usando as resistências internas mínima e máxima. Sua análise confirma a sua hipótese indicada na P10 ou a contradiz? Explique.

Sua resposta:

P7. Com base em tudo o que você observou e concluiu nesta atividade, explique com as suas próprias palavras como a resistência interna de uma pilha pode alterar o funcionamento de um circuito.

Sua resposta:

A10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física: Eletromagnetismo**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. v. 3.
- MOREIRA, M. A. Desafios no ensino da física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, p. e20200451, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/xpwKp5WfMJsfCRNFCxFhqLy/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 20 maio 2026.
- MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: Editora pedagógica e universitária, 1999.
- NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica 3: eletromagnetismo**. 2. ed. São Paulo, SP: Blucher, 2015.
- REBOUÇAS, A. D.; DE OLIVEIRA, E. L.; SOUSA, L. L. de L. Creation of a virtual and interactive simulation environment in Excel for the study of Ohm's Law: Criação de um ambiente de simulação virtual e interativo no Excel para o estudo da Lei de Ohm. **Concilium**, v. 23, n. 19, p. 786-807, 2023. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/108622196/1416.pdf>. Acesso em: 20 maio 2026.
- VIGOTSKI, L. S. **A construção do pensamento e da linguagem**. Tradução de Paulo Bezerra. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2009.
- YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física III: eletromagnetismo**. Tradução de Sonia Midori Yamamoto. 12. ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2009. 425 p.
- LEITE, F. R. R. S.; SOUSA, L. L. de L.; SORRETINO, T. A. Aplicação de roteiros-guia para experimentação simulada na teoria sociointeracionista de Lev Vygotsky. **Peer Review**, v. 5, n. 7, p. 71-87, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Lazaro-Sousa/publication/370395828_Aplicacao_de_roteiros-guia_para_experimentacao_simulada_na_teoriasociointeracionista_de_Lev_Vygotsky/links/6453f2a8809a53502149bf40/Aplicacao-de-roteiros-guia-para-experimentacao-simulada-na-teoria-sociointeracionista-de-Lev-Vygotsky.pdf. Acesso em: 20 maio 2026.