

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
CURSO DE FÍSICA LICENCIATURA

ANA TÉCIA PEREIRA VIEGAS

GRÁFICOS TÁTEIS NO ENSINO DE ELETRODINÂMICA:

Uma proposta pedagógica para estudantes com deficiência visual

São Luís – MA

2026

ANA TÉCIA PEREIRA VIEGAS

GRÁFICOS TÁTEIS NO ENSINO DE ELETRODINÂMICA:

Uma proposta pedagógica para estudantes com deficiência visual

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso de
Física Licenciatura da Universidade
Federal do Maranhão como requisito
parcial para obtenção do título de
Licenciado em Física.

Orientador: Dr. Edson Firmino Viana de
Carvalho

São Luís – MA

2026

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Pereira Viegas, Ana Tecia.

GRÁFICOS TÁTEIS NO ENSINO DE ELETRODINÂMICA: Uma proposta pedagógica para estudantes com deficiência visual / Ana Tecia Pereira Viegas. – 2026.
174 p.

Orientador(a): Edson Firmino Viana de Carvalho.

Curso de Física – Licenciatura, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2026.

1. Ensino de Física. 2. Gráficos Táteis. 3. Deficiência Visual. 4. Aprendizagem Colaborativa. 5. Eletrodinâmica. I. Viana de Carvalho, Edson Firmino. II. Título.

ANA TÉCIA PEREIRA VIEGAS

GRÁFICOS TÁTEIS NO ENSINO DE ELETRODINÂMICA:

Uma proposta pedagógica para estudantes com deficiência visual

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso de
Física Licenciatura da Universidade
Federal do Maranhão como requisito
parcial para obtenção do título de
Licenciado em Física.

Aprovação em: 09 / 07 / 2026

Dr. Edson Firmino Viana de Carvalho (Orientador)
Universidade Federal do Maranhão

Dr. Willdson Robson Silva do Nascimento
Universidade Federal de Sergipe

Dra. Luciana Magalhaes Rebelo Alencar
Universidade Federal do Maranhão

AGRADECIMENTOS

A Deus, por Sua infinita graça, misericórdia e fidelidade. Por Ele e para Ele são todas as coisas. A Ele seja toda honra, toda glória e todo louvor. Agradeço por ter sustentado cada passo desta caminhada, concedendo força, sabedoria, perseverança e discernimento para superar os desafios encontrados ao longo desta jornada.

Ao meu orientador, Professor Dr. Edson Firmino, expresso minha mais sincera gratidão. Muito mais do que orientar este trabalho, que esteve presente em cada etapa do processo, compartilhando conhecimento, experiência e sabedoria com generosidade e dedicação. Sua confiança, paciência e compromisso com a ciência e com a formação de seus alunos foram fundamentais para que esta pesquisa se tornasse realidade. Tenho profunda admiração por sua competência profissional e pelo exemplo de docente e pesquisador que representa.

Ao mestrando Matheus Duarte, companheiro de jornada acadêmica, que não mediu esforços para me apoiar ao longo deste processo. Sou imensamente grata pela amizade, pelas inúmeras contribuições, pelas palavras de incentivo e pela disposição em auxiliar nas diversas etapas desta pesquisa. Seu apoio foi essencial para a concretização deste trabalho.

Ao técnico do Núcleo de Atendimento às Pessoas com Necessidades Educacionais Específicas (NAPNEE), Mayk Machado, pela valiosa colaboração e pelas ricas contribuições relacionadas à inclusão de pessoas com deficiência visual. Agradeço especialmente pela socialização de suas experiências, pelos conhecimentos compartilhados sobre o sistema Braille e pelo apoio prestado durante o desenvolvimento desta pesquisa, enriquecendo significativamente sua fundamentação e aplicação prática.

Ao Professor Leôncio Dominici, docente de Física do Colégio Universitário (COLUN/UFMA), por ter acolhido e viabilizado a realização desta proposta em sua turma. Sua receptividade, disponibilidade e compromisso com a educação foram fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa. Estendo meus agradecimentos ao Professor Ulisses, docente de Geografia, pela compreensão e pela cessão de horários, possibilitando a execução das atividades previstas.

Aos técnicos Maria e Carlos Adriano, dos Laboratórios de Eletricidade e de Física Moderna do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal

do Maranhão (CCET/UFMA), pela disponibilidade, orientação e auxílio prestados na construção e organização dos experimentos utilizados neste estudo.

Ao meu irmão Joás Viegas e aos amigos Pedro Lucas Rocha e Jonas Viana, pela colaboração na construção dos experimentos, na realização dos testes e na aquisição dos materiais necessários para a execução deste trabalho. O empenho e a dedicação de cada um foram indispensáveis para que esta pesquisa se tornasse realidade.

À Dr. Luciana Alencar e ao doutorando Álefe Roger Silva, pela ajuda na produção das primeiras matrizes impressas em 3D, bem como pelas valiosas sugestões e orientações relacionadas à operação da impressora 3D. Suas contribuições foram fundamentais para o aperfeiçoamento dos recursos desenvolvidos ao longo da pesquisa.

Expresso minha sincera gratidão à professora Patrícia Costa Ataíde pelos ensinamentos compartilhados na disciplina de Educação Especial, que contribuíram para ampliar minha compreensão sobre a educação inclusiva, seus fundamentos e a legislação que garante o direito à educação para todos. Suas reflexões foram fundamentais para minha formação e fortaleceram meu compromisso com uma prática pedagógica inclusiva.

Ao professor Eduardo Diniz, agradeço pelos ensinamentos, incentivo e apoio ao longo da minha formação, especialmente na disciplina Computação para o Ensino de Física no 2º Grau. As ferramentas apresentadas em suas aulas, como PhET, GeoGebra e Kahoot, foram incorporadas à minha prática docente, contribuindo para um ensino de Física mais dinâmico e significativo. Além de professor, foi um importante mentor e conselheiro, cuja confiança e dedicação marcaram minha trajetória acadêmica.

Por fim, agradeço a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho. Cada gesto de apoio, incentivo e colaboração foi importante para a conclusão desta etapa tão significativa de minha trajetória acadêmica.

RESUMO

O ensino de Física caracteriza-se pelo uso predominante de representações visuais, como gráficos, tabelas, diagramas e equações, o que pode dificultar a participação e a aprendizagem de estudantes com deficiência visual. Diante desse contexto, esta pesquisa buscou responder ao seguinte problema: como utilizar gráficos táteis no ensino de Eletrodinâmica de modo a favorecer a aprendizagem de estudantes com deficiência visual? O objetivo geral consistiu em analisar as contribuições da utilização de gráficos táteis como proposta pedagógica para o ensino de Eletrodinâmica a estudantes com deficiência visual. A pesquisa fundamentou-se nos pressupostos da Educação Inclusiva, do Modelo Social da Deficiência, do Desenho Universal para a Aprendizagem e da teoria sociocultural de Vygotsky. Metodologicamente, caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, de abordagem qualitativa e delineamento em pesquisa-ação. A intervenção pedagógica foi desenvolvida por meio de uma sequência didática composta por quatro encontros, aplicada em uma turma do terceiro ano do Ensino Médio do Colégio Universitário da Universidade Federal do Maranhão (COLUN/UFMA), com a participação de um estudante com deficiência visual. Durante as atividades, os estudantes construíram e interpretaram gráficos táteis a partir de dados obtidos em experimentos sobre circuitos elétricos para verificar graficamente a Lei de Ohm. Diferentemente de propostas centradas apenas na adaptação de materiais, a pesquisa estruturou uma prática pedagógica colaborativa, na qual todos os estudantes participaram da montagem dos experimentos, da coleta e análise dos dados, da construção dos gráficos táteis e da interpretação dos resultados, favorecendo a interação entre estudantes com e sem deficiência visual e a exploração de diferentes formas de representação dos fenômenos físicos. Os resultados indicaram que a proposta favoreceu a participação ativa de toda a turma, ampliou as possibilidades de aprendizagem e de interpretação de gráficos pelo estudante com deficiência visual, fortaleceu a alfabetização gráfica e estimulou a construção colaborativa do conhecimento. Conclui-se que o uso de gráficos táteis constitui uma estratégia pedagógica promissora para ampliar as possibilidades de ensino e aprendizagem de conteúdos de Física em contextos que envolvem estudantes com e sem deficiência visual, embora os resultados estejam restritos ao contexto investigado.

Palavras-chave: Ensino de Física. Gráficos táteis. Eletrodinâmica. Deficiência visual. Aprendizagem colaborativa.

ABSTRACT

Physics teaching is predominantly based on visual representations, such as graphs, tables, diagrams, and equations, which may hinder the participation and learning of students with visual impairments. In this context, this study sought to answer the following research question: how can tactile graphs be used in the teaching of Electrodynamics to promote the learning of students with visual impairments? The main objective was to analyze the contributions of using tactile graphs as a pedagogical approach to teaching Electrodynamics to students with visual impairments. The study was grounded in the principles of Inclusive Education, the Social Model of Disability, Universal Design for Learning, and Vygotsky's sociocultural theory. Methodologically, this applied research adopted a qualitative approach and was conducted through action research. The pedagogical intervention consisted of a four-session teaching sequence implemented in a third-year high school class at the Colégio Universitário of the Federal University of Maranhão (COLUN/UFMA), including the participation of a student with visual impairment. During the activities, students constructed and interpreted tactile graphs based on data collected from electrical circuit experiments designed to verify Ohm's Law graphically. Unlike approaches focused solely on adapting teaching materials, this study proposed a collaborative pedagogical practice in which all students participated in setting up the experiments, collecting and analyzing data, constructing tactile graphs, and interpreting the results, fostering interaction among students with and without visual impairments while exploring different forms of representing physical phenomena. The findings indicated that the proposal encouraged the active participation of the entire class, expanded learning opportunities and graph interpretation for the student with visual impairment, strengthened graph literacy, and promoted collaborative knowledge construction. It is concluded that the use of tactile graphs represents a promising pedagogical strategy for expanding teaching and learning opportunities in Physics for contexts involving students with and without visual impairments, although the findings are limited to the investigated context.

Keywords: Physics Teaching. Tactile Graphs. Electrodynamics. Visual Impairment. Collaborative Learning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sistema de coordenadas cartesianas e localização de pontos no plano. ...	45
Figura 2: Representação de uma relação linear entre duas grandezas físicas em escala linear-linear.	46
Figura 3: Representação gráfica da relação linear entre a diferença de potencial (V) e a corrente elétrica (I), conforme estabelecido pela Lei de Ohm, evidenciando a proporcionalidade entre as grandezas e a determinação da resistência elétrica pelo coeficiente angular da reta.	59
Figura 4: Representação gráfica da relação não linear entre a diferença de potencial (V) e a corrente elétrica (I) em componentes não ôhmicos, evidenciando a variação da resistência elétrica conforme a tensão aplicada.	61
Figura 5: Montagem das pilhas caseiras: células eletroquímicas com eletrólito básico (água sanitária), eletrodo de cobre e eletrodo de zinco.	69
Figura 6: Esquema do circuito de medição: células eletroquímicas com eletrólito básico (água sanitária), eletrodo de cobre (cátodo, polo positivo) e eletrodo de zinco (ânodo, polo negativo), conectadas em série para obter tensões crescentes.	71
Figura 7: Diagrama do circuito de verificação da Lei de Ohm: fonte de tensão variável (pilhas em série), amperímetro em série (medida de corrente) e voltímetro em paralelo ao resistor (medida de tensão).	72
Figura 8: Gráfico $V \times I$ com os quatro pontos experimentais e reta de ajuste. A inclinação da reta corresponde à resistência elétrica do circuito. O comportamento linear confirma que o resistor obedece à Lei de Ohm.	78
Figura 9: Sistema de montagem do kit para elaboração de gráficos táteis.	80
Figura 10: Aula expositiva dialogada sobre a Primeira e a Segunda Lei de Ohm e as características dos dispositivos ôhmicos e não ôhmicos.	96
Figura 11: Modelos táteis ampliados utilizados para a introdução à leitura e interpretação de gráficos de dispositivos ôhmicos e não ôhmicos.	98
Figura 12: Atividade prática envolvendo a montagem de circuitos elétricos com pilhas caseiras associadas em série e em paralelo, utilizando protoboard, resistores e LED.	106

Figura 13: Modelos de gráficos táteis produzidos com EVA, canudos e pérolas para a representação das relações corrente–tensão ($I \times V$) em dispositivos ôhmicos e não ôhmicos, bem como da relação força–aceleração ($F \times a$).	107
Figura 14: Interface do simulador PhET Colorado — Lei de Ohm.	109
Figura 15: Apresentação realizada pelos estudantes sobre o comportamento e o funcionamento de circuitos elétricos com associações em série, paralelo e mista.	111
Figura 16: Atividade prática envolvendo a montagem de circuitos elétricos com pilhas convencionais e cano de PVC.....	114
Figura 17: Gráficos Tensão $\times$ Corrente ($I \times V$) elaborados no Microsoft Excel a partir dos dados coletados experimentalmente para o resistor (ôhmico).	116
Figura 18: Gráficos Tensão $\times$ Corrente ($I \times V$) elaborados no Microsoft Excel a partir dos dados coletados experimentalmente para o buzzer ativo (não ôhmicos) com as pilhas caseiras.....	116
Figura 19: Gráficos Tensão $\times$ Corrente ($I \times V$) elaborados no Microsoft Excel a partir dos dados coletados experimentalmente para o buzzer ativo (não ôhmicos) pilhas comerciais.	117
Figura 21: Gráficos táteis finalizados produzidos pelas equipes.	121
Figura 22: Momento de apresentação oral dos estudantes durante a socialização dos resultados.	129
Figura 23: Pôster científico apresentado na I Semana do Físico.	131
Figura 24: Apresentação do pôster na I Semana do Físico.	132

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Legenda da notação em Braille: Lei de Ohm.	57
Tabela 2: Dados experimentais de referência para tensão e corrente em função do número de pilhas ($R \approx 220 \, \Omega$).	74
Tabela 3: Dados experimentais de tensão e corrente para o buzzer em função do número de pilhas (valores de referência).	74
Tabela 4: Resultados do questionário de satisfação sobre o produto educacional.	124

LISTA DE ABREVIATURAS

Sigla	Significado
AEE	Atendimento Educacional Especializado
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CAST	Center for Applied Special Technology
CCET	Centro de Ciências Exatas e Tecnologia
CCFL	Coordenação do Curso de Física Licenciatura
CMU	Código Matemático Unificado (notação Braille para matemática)
COLUN	Colégio Universitário
DUA	Desenho Universal para a Aprendizagem
EVA	Ethylene Vinyl Acetate (espuma vinílica)
LBi	Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
NAPNEE	Núcleo de Atendimento às Pessoas com Necessidades Educacionais Específicas
ONU	Organização das Nações Unidas
PCT-3D	Plano Cartesiano Tátil Tridimensional
PhET	Physics Education Technology (simulador interativo)
PNEE-EI	Política Nacional de Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva
TALE	Termo de Assentimento Livre e Esclarecido
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
UDL	Universal Design for Learning
UFMA	Universidade Federal do Maranhão
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UNESP	Universidade Estadual Paulista

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	EDUCAÇÃO INCLUSIVA COMO EIXO EPISTEMOLÓGICO CENTRAL	22
2.1	Fundamentos da Educação Inclusiva	22
2.2	Fundamentos Jurídicos e Marcos Legais da Educação Inclusiva	23
3	EDUCAÇÃO INCLUSIVA E ACESSIBILIDADE NO ENSINO DE FÍSICA: REPRESENTAÇÕES, MEDIAÇÕES E TECNOLOGIAS ASSISTIVAS	28
3.1	A Natureza da Linguagem e Representação em Física	28
3.2	Barreiras Atitudinais e Epistemológicas à Educação Inclusiva em Física	29
3.3	Aspectos Cognitivos e Perceptivos no Ensino de Física para Estudantes com Deficiência Visual	31
3.4	Processamento da Informação e Mediação Pedagógica	33
3.5	Tecnologia Assistiva e sua aplicação no ensino de Física	35
3.6	Metodologias Pedagógicas Inclusivas no Ensino de Física	36
3.7	Modelagem e Experimentação Acessível	39
3.8	Representações Gráficas na Física Experimental	40
4	A EDUCAÇÃO INCLUSIVA SOB A PERSPECTIVA DA TEORIA Sociocultural DE VYGOTSKY	47
4.1	Fundamentos da Teoria Sociocultural de Vygotsky	47
4.2	Mediação Pedagógica e Inclusão no Ensino de Física	48
4.3	Vygotsky e a Educação de Estudantes com Deficiência Visual	51
4.4	Recursos Táteis e Representações Acessíveis na Aprendizagem de Física	53
5	Fundamentos Teóricos da Eletrodinâmica	57
5.1	Lei de Ohm: fundamentos teóricos e representação gráfica	57
5.1.1	Comportamento ôhmico e não ôhmico	60
5.2	Circuitos elétricos	61
5.2.1	Circuito em série	62
5.2.2	Circuito em paralelo	63
5.3	Funcionamento físico das pilhas eletroquímicas	63
6	ABORDAGEM EXPERIMENTAL E REPRESENTAÇÃO TÁTIL EM ELETRODINÂMICA: ANÁLISE DA LEI DE OHM EM DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DE CIRCUITOS	66
6.1	Materiais utilizados na prática experimental	67
6.1.1	Materiais para a construção das pilhas caseiras	67
6.1.2	Materiais para a montagem do circuito	67
6.1.3	Materiais para o gráfico tátil	68
6.2	Experimento: construção das pilhas e coleta de dados	68
6.2.1	Construção das pilhas caseiras	68
6.2.2	Montagem do circuito de medição	70
6.2.3	Procedimento de coleta de dados	72
6.3	Construção do gráfico $V \times I$ e determinação da resistência	77

6.3.1	Representação gráfica convencional (com recursos visuais)	77
6.3.2	Construção e Leitura do Gráfico Tátil – Lei de Ohm (com recurso táteis)	79
6.4	Análise dos resultados e discussão	83
6.5	Dimensão inclusiva: autonomia, colaboração e aprendizagem significativa	85
7	PERCURSO METODOLÓGICO DA PESQUISA	87
7.1	Caracterização da pesquisa	87
7.2	Contexto e participantes	88
7.3	Aspectos éticos	89
7.4	Instrumentos de coleta de dados	89
7.5	A sequência Didática	90
7.5.1	Materiais e recursos	91
7.5.2	Preparação dos materiais táteis	92
7.5.3	Descrição das etapas da intervenção	95
7.6	Análise dos dados	101
8	APLICAÇÃO DA PROPOSTA E RELATO DA EXPERIÊNCIA	103
8.1	Experiência Prévia e Encontros com Pessoas com Deficiência Visual	104
8.2	Sequência de Ensino	104
8.2.1	Aulas Teóricas: Leis de Ohm e Participação Ativa da Turma	105
8.2.2	Recursos Táteis de Acessibilidade: Gráficos em Relevô	107
8.2.3	Simulação Computacional: Plataforma PhET Colorado	109
8.2.4	Aula sobre Circuitos Elétricos e Atividade Prática	109
8.2.5	Experimento Prático: Medição de Tensão e Corrente Elétrica	112
8.3	A Construção dos Gráficos Táteis: Cooperatividade, Equidade e Inclusão	118
8.3.1	Organização das equipes: cooperatividade como estratégia pedagógica	119
8.3.2	Resultados da avaliação da sequência didática	122
8.3.2.1	Diagnóstico Inicial	122
8.3.2.2	Questionário de Satisfação: Percepções dos Estudantes	123
8.3.2.3	Questões em escala Likert	123
8.3.2.4	Questões abertas: vozes dos estudantes	126
8.4	Socialização dos Resultados e Percepções dos Estudantes	128
8.5	Difusão Científica da Proposta Didática Inclusiva	130
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	133
	REFERÊNCIAS	139
	APÊNDICE A: Requerimento de realização da pesquisa	143
	APÊNDICE B: Declaração de autorização da pesquisa pela coordenação de extensão do COLUN	144
	APÊNDICE C: Teste de conhecimentos prévios	145
	APÊNDICE D: Questionário de satisfação	147
	APÊNDICE E: Código para construção da plataforma PCT-3D	149
	APÊNDICE F: Apostila	151

1 INTRODUÇÃO

O ensino de Física ocupa posição estratégica na formação científica dos estudantes da educação básica, pois contribui para a compreensão dos fenômenos naturais, para o desenvolvimento do raciocínio lógico-matemático e para a construção de uma visão crítica sobre as relações entre ciência, tecnologia e sociedade. Apesar dessa relevância, a disciplina é frequentemente percebida como abstrata, excessivamente formal e distante da realidade dos alunos, o que impacta negativamente a aprendizagem e a motivação discente (MOREIRA, 2011; CARVALHO; GIL-PÉREZ, 2011).

Quando se consideram estudantes com deficiência visual, sejam eles cegos ou com baixa visão, os desafios tornam-se ainda mais evidentes. A Física escolar estrutura-se, em grande medida, por meio de representações visuais, tais como gráficos, diagramas, esquemas, tabelas e demonstrações experimentais baseadas na observação. Essa centralidade do canal visual limita o acesso equitativo aos conteúdos e impõe barreiras pedagógicas e comunicacionais que dificultam a plena participação desses estudantes (CAMARGO, 2016).

Esse cenário evidencia a necessidade de refletir sobre práticas pedagógicas que favoreçam a participação de todos os estudantes no processo de ensino e aprendizagem. Entretanto, para compreender esse desafio, é importante distinguir conceitos frequentemente empregados como sinônimos, mas que possuem significados distintos. Conforme Camargo, a inclusão constitui um processo social voltado à participação plena de todas as pessoas nos diferentes espaços da sociedade; a educação inclusiva corresponde ao paradigma educacional que orienta a organização da escola para acolher a diversidade e garantir o direito à aprendizagem; enquanto a educação especial configura-se como uma modalidade de ensino que disponibiliza recursos, serviços e estratégias destinados a eliminar barreiras e favorecer a escolarização dos estudantes público-alvo dessa modalidade. Embora distintos, esses conceitos são complementares e fundamentam a construção de sistemas educacionais comprometidos com a equidade e a justiça social.

À luz da educação inclusiva, tal configuração revela-se incompatível com os princípios de equidade e justiça educacional. A Declaração de Salamanca (UNESCO, 1994) e a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (BRASIL, 2015) estabelecem que os sistemas educacionais devem garantir acesso, permanência dos estudantes na escola, mas também condições efetivas de participação e

aprendizagem. Isso implica transformar práticas pedagógicas, recursos didáticos e formas de representação do conhecimento, de modo que a diversidade dos estudantes seja considerada no planejamento do ensino.

Sob essa perspectiva, é fundamental reconhecer que a linguagem da Física não é intrinsecamente visual. Embora historicamente ensinada por meio de representações gráficas e imagéticas, a ciência constrói significados por múltiplos sistemas simbólicos, matemáticos, verbais, gráficos, experimentais e gestuais, que podem ser acessados por diferentes vias sensoriais. A predominância do visual constitui mais uma tradição cultural do que uma exigência epistemológica da própria Física (CAMARGO, 2016).

Nesse contexto, os gráficos táteis emergem como recurso pedagógico acessíveis capaz de ampliar as possibilidades de representação e compreensão de fenômenos físicos. Ao permitir a exploração por meio do tato, esses materiais favorecem a percepção de relações entre grandezas, tendências e variações, contribuindo para a construção de modelos mentais consistentes. Ademais, quando concebidos sob os princípios do Desenho Universal para a Aprendizagem (CAST, 2018), os gráficos táteis podem beneficiar todos os estudantes, promovendo abordagens multissensoriais e diversificando as formas de interação com o conhecimento.

Paralelamente ao uso desses recursos pedagógicos, esta pesquisa contempla o desenvolvimento de um kit para a construção de gráficos táteis pelos próprios estudantes, concebido como produto educacional. Enquanto os gráficos táteis em relevo constituem recursos didáticos acessíveis utilizados na mediação das atividades de ensino, o kit reúne materiais e instrumentos que possibilitam aos estudantes construir, interpretar e analisar seus próprios gráficos táteis. Nessa perspectiva, o kit busca favorecer maior autonomia, participação e acessibilidade durante o processo de aprendizagem, aproximando-se do conceito de Tecnologia Assistiva.

A utilização de gráficos táteis no ensino de Física configura-se como uma estratégia pedagógica fundamental para a promoção da educação inclusiva. Ao converter representações visuais em recursos táteis, possibilita-se que estudantes com deficiência visual tenham acesso efetivo à interpretação de dados experimentais e à compreensão de fenômenos físicos, ampliando suas possibilidades de aprendizagem (SILVA; PINTO NETO; CARVALHO, 2025). Nesse contexto, os

gráficos táteis em relevo constituem recursos pedagógicos acessíveis que auxiliam o professor na mediação de conteúdos que envolvem representações gráficas.

Essa proposta está em consonância com o pensamento de Paulo Freire, que defende uma educação centrada no protagonismo do aluno. Para Freire (1996), o processo educativo deve promover a autonomia e a construção crítica do conhecimento, superando práticas transmissivas. Nesse sentido, o uso de gráficos táteis favorece a participação ativa do estudante, que deixa de ser um sujeito passivo e passa a construir significados a partir da interação com o objeto de estudo.

Além disso, a abordagem também dialoga com as contribuições de Lev Vygotsky, especialmente no que se refere à mediação e ao uso de instrumentos no processo de aprendizagem. Segundo Vygotsky (2007), o desenvolvimento cognitivo ocorre por meio da interação social e do uso de ferramentas culturais que mediam a relação do sujeito com o conhecimento. Sob essa perspectiva, os gráficos táteis em relevo não substituem a mediação docente, mas constituem recursos pedagógicos que podem potencializar esse processo, favorecendo o acesso de estudantes com deficiência visual às representações gráficas utilizadas no ensino de Física.

Ademais, a proposta favorece práticas pedagógicas colaborativas ao possibilitar a interação entre estudantes com e sem deficiência visual durante as atividades de ensino, fortalecendo a construção coletiva do conhecimento. Tal perspectiva contribui para a efetivação de uma educação mais equitativa, na qual a diversidade é reconhecida como elemento constitutivo do processo educativo e considerada no planejamento pedagógico.

Dessa forma, os gráficos táteis em relevo constituem recursos pedagógicos acessíveis que ampliam as possibilidades de representação e compreensão de fenômenos físicos, contribuindo para práticas de ensino comprometidas com a participação, a aprendizagem e a autonomia dos estudantes, em consonância com princípios discutidos por Freire (1996) e Vygotsky (2007).

A perspectiva da educação inclusiva, defendida por Mantoan (2015), pressupõe a transformação das estruturas escolares e das práticas pedagógicas, deslocando o foco de ações pontuais para a construção de ambientes educacionais capazes de atender à diversidade dos estudantes. Essa compreensão implica repensar os modos de ensinar, avaliar e representar o conhecimento, de modo a garantir a participação de todos no processo de aprendizagem. Nesse contexto, o desenvolvimento de recursos didáticos acessíveis, como gráficos táteis de baixo custo, constitui uma

estratégia relevante para promover a inclusão no ensino de Ciências. Além de favorecer o acesso ao conhecimento científico por estudantes com deficiência visual, tais recursos contribuem para a renovação das práticas pedagógicas e para a efetivação do direito à educação. É com base nessa perspectiva que o presente trabalho propõe o desenvolvimento de recursos pedagógicos acessíveis, como os gráficos táteis, constitui uma estratégia relevante para promover a inclusão no ensino de Ciências. Além de favorecer o acesso ao conhecimento científico por estudantes com deficiência visual, tais recursos contribuem para a renovação das práticas pedagógicas e para a efetivação do direito à educação.

Nesse contexto, destaca-se a obra *Gráficos Táteis para o Ensino Inclusivo de Física Experimental*, de Silva, Pinto Neto e Carvalho (2025), publicada pela Editora da Universidade Federal do Maranhão. Desenvolvida no âmbito do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, a obra apresenta uma proposta metodológica voltada à adaptação de representações gráficas visuais para formatos táteis, com o objetivo de ampliar o acesso de estudantes com deficiência visual à construção e à interpretação de gráficos no ensino de Física.

A proposta organiza-se em duas dimensões complementares. A primeira volta-se ao professor, oferecendo subsídios para a condução de atividades experimentais mediadas por gráficos táteis e metodologias que favorecem a participação dos estudantes no processo de aprendizagem. A segunda centra-se no estudante, incentivando sua atuação ativa na construção, interpretação e análise dos gráficos. Dessa forma, o material busca promover maior autonomia e participação dos alunos, com ou sem deficiência visual, por meio da utilização de recursos acessíveis e de baixo custo, contribuindo para a construção de práticas pedagógicas mais inclusivas (SILVA; PINTO NETO; CARVALHO, 2025).

Inspirada nessa proposta, a presente pesquisa adapta seus fundamentos ao ensino de Eletrodinâmica, propondo o desenvolvimento de um produto educacional destinado à construção de gráficos táteis pelos próprios estudantes. Elaborado com materiais de baixo custo e de fácil utilização, esse produto busca ampliar a acessibilidade às representações gráficas e favorecer a participação ativa dos estudantes durante as atividades de aprendizagem.

Assim, ao considerar a importância das representações gráficas na construção do conhecimento físico, observa-se que os gráficos cartesianos desempenham papel fundamental na linguagem científica, pois permitem representar, sintetizar e

interpretar relações quantitativas e comportamentos funcionais presentes nos fenômenos estudados pela Física. No entanto, quando o ensino permanece fortemente apoiado em recursos visuais, podem surgir barreiras à participação de estudantes com deficiência visual, dificultando seu acesso a um dos principais instrumentos utilizados para organizar, analisar e comunicar informações científicas.

Sob a perspectiva técnico-pedagógica, a proposta de Silva, Pinto Neto e Carvalho (2025) articula fundamentos da análise gráfica com procedimentos práticos voltados à produção de recursos táteis acessíveis. Entre os conteúdos abordados, destacam-se o estudo de comportamentos lineares, exponenciais e de potência, bem como estratégias de linearização de funções, frequentemente utilizadas na análise de dados experimentais em Física. No que se refere à construção dos materiais, os autores apresentam uma técnica de produção de gráficos táteis que envolve, inicialmente, a fabricação de grades táteis lineares, monolog e dilog por meio de impressão 3D. Essas grades são utilizadas como matrizes no processo de termoformação de folhas de acetato, gerando superfícies em alto-relevo. Além disso, são empregadas chapas de offset nas quais a marcação em relevo é realizada com o uso de punção. Esses recursos permitem que estudantes com deficiência visual participem ativamente da construção, interpretação e análise de gráficos. Nesta pesquisa, esses fundamentos foram adaptados às necessidades do contexto investigado, priorizando materiais de baixo custo, de fácil reprodução e compatíveis com a realidade escolar.

Em termos sociais, a proposta responde à necessidade de ampliar o acesso de estudantes com deficiência visual ao ensino de Física por meio de recursos pedagógicos acessíveis e de um produto educacional que favorece maior autonomia durante as atividades de construção e interpretação de gráficos. Essa perspectiva está alinhada às concepções de educação inclusiva defendidas por Mantoan (2015), ao pressupor a transformação das práticas pedagógicas para garantir a participação de todos os estudantes. Também dialoga com as contribuições de Camargo (2016), ao buscar superar barreiras decorrentes da predominância de abordagens centradas na visualidade e ampliar as formas de acesso ao conhecimento científico.

No plano pedagógico, a proposta favorece práticas de ensino mais acessíveis e inclusivas, reconhecendo os estudantes com deficiência visual como participantes ativos do processo educativo. De modo semelhante, aproxima-se das contribuições de Vygotsky (2007), ao compreender que a aprendizagem ocorre em processos de

interação social mediados pela atuação docente e pelo uso de recursos pedagógicos culturalmente produzidos que favorecem a construção do conhecimento e o desenvolvimento da autonomia dos estudantes.

Considerando a importância das representações gráficas para a compreensão de conceitos em Física e a predominância de abordagens visuais no processo de ensino e aprendizagem, questiona-se: **como utilizar gráficos táteis no ensino de Eletrodinâmica de modo a favorecer a aprendizagem de estudantes com deficiência visual por meio de uma proposta pedagógica acessível?**

O objetivo geral desta pesquisa é analisar as contribuições de uma proposta pedagógica baseada na utilização de gráficos táteis acessíveis e de um produto educacional concebido como Tecnologia Assistiva para o ensino de Eletrodinâmica, visando favorecer a aprendizagem de estudantes com deficiência visual.

Como objetivos específicos, pretende-se:

- Analisar os fundamentos teóricos, pedagógicos e legais da educação inclusiva aplicados ao ensino de Física;
- Investigar o papel das representações gráficas na compreensão e aprendizagem de conceitos físicos por estudantes com deficiência visual;
- Desenvolver recursos pedagógicos acessíveis e um produto educacional destinado à construção de gráficos táteis;
- Aplicar a proposta pedagógica em contexto escolar, analisando suas contribuições para a acessibilidade, a participação e a aprendizagem dos estudantes;
- Identificar as potencialidades e as limitações da proposta pedagógica a partir das experiências vivenciadas pelos participantes.

A consolidação de uma escola inclusiva exige a superação de práticas pedagógicas centradas em um único canal perceptivo. No ensino de Física, essa necessidade torna-se particularmente relevante em razão do papel desempenhado pelas representações gráficas na compreensão de fenômenos e conceitos científicos. A presente pesquisa justifica-se por quatro dimensões complementares:

- **Dimensão ética e legal:** atende aos princípios da educação inclusiva previstos em documentos internacionais e na legislação brasileira (UNESCO, 1994; BRASIL, 2015), assegurando o direito de estudantes com deficiência visual ao acesso equitativo ao conhecimento científico;

- **Dimensão pedagógica:** amplia as possibilidades de representação de conceitos físicos, por meio da utilização de recursos pedagógicos acessíveis, favorecendo abordagens multissensoriais e práticas de ensino alinhadas aos princípios do Desenho Universal para a Aprendizagem (CAST, 2018);
- **Dimensão educacional:** Disponibiliza um recurso para apoiar professores na adaptação de atividades com gráficos e propõe um produto educacional para que os próprios estudantes construam seus gráficos táteis. Como Tecnologia Assistiva, essa proposta promove autonomia, acessibilidade e participação ativa no processo de aprendizagem.
- **Dimensão inclusiva e colaborativa:** favorece a participação conjunta de estudantes com e sem deficiência visual em atividades de Física, promovendo experiências de aprendizagem compartilhadas e fortalecendo práticas pedagógicas comprometidas com a valorização da diversidade.

Além disso, ao repensar as formas de representação utilizadas no ensino de Física, este trabalho contribui para a ressignificação da prática docente e para a construção de ambientes educacionais que reconhecem a diversidade como elemento constitutivo do processo de ensino e aprendizagem (MANTOAN, 2015).

No âmbito desta pesquisa, o recorte temático adotado foi a Eletrodinâmica, com ênfase na Lei de Ohm, conteúdo curricular do 3º ano do Ensino Médio que articula, de forma especialmente produtiva, a representação gráfica de relações lineares e não lineares entre grandezas físicas e a possibilidade de comprovação experimental direta em sala de aula. A proposta foi desenvolvida e aplicada no Colégio Universitário (COLUN), unidade de aplicação vinculada à Universidade Federal do Maranhão (UFMA), em uma turma do 3º ano do Ensino Médio que contava com um estudante com deficiência visual, configurando um delineamento de pesquisa-ação de abordagem qualitativa, conforme detalhado no percurso metodológico apresentado nos capítulos subsequentes.

Este trabalho está organizado em nove capítulos. Após a Introdução, o Capítulo 2 apresenta os fundamentos da Educação Inclusiva, contemplando seus principais referenciais teóricos, jurídicos e os marcos legais que orientam a garantia do direito à educação. O Capítulo 3 discute a acessibilidade no ensino de Física, abordando aspectos relacionados à linguagem científica, às representações, às barreiras enfrentadas por estudantes com deficiência visual, à mediação pedagógica, às

Tecnologias Assistivas, às metodologias inclusivas e ao papel da modelagem, da experimentação e das representações gráficas na aprendizagem de conceitos físicos. O Capítulo 4 analisa a Educação Inclusiva sob a perspectiva da Teoria Sociocultural de Vygotsky, enfatizando a mediação pedagógica, a aprendizagem de estudantes com deficiência visual e a utilização de recursos táteis como instrumentos de acesso ao conhecimento científico. O Capítulo 5 reúne os fundamentos teóricos da Eletrodinâmica, com ênfase na Lei de Ohm, nos comportamentos ôhmico e não ôhmico, nas associações de circuitos elétricos e no funcionamento das pilhas eletroquímicas. O Capítulo 6 apresenta a abordagem experimental e a construção de representações táteis aplicadas ao estudo da Lei de Ohm, descrevendo os materiais utilizados, os procedimentos experimentais, a elaboração dos gráficos táteis e a análise dos resultados sob uma perspectiva inclusiva. O Capítulo 7 descreve o percurso metodológico da pesquisa, contemplando sua caracterização, o contexto investigado, os participantes, os aspectos éticos, os instrumentos de coleta de dados, a sequência didática e os procedimentos de análise. O Capítulo 8 apresenta a aplicação da proposta pedagógica e o relato da experiência, discutindo o desenvolvimento da sequência didática, a utilização dos recursos táteis, das simulações computacionais, das atividades experimentais, a construção dos gráficos táteis, os resultados obtidos e as percepções dos participantes. Por fim, o Capítulo 9 reúne as considerações finais da pesquisa, destacando suas principais contribuições, limitações e perspectivas para futuras investigações.

2 EDUCAÇÃO INCLUSIVA COMO EIXO EPISTEMOLÓGICO CENTRAL

2.1 Fundamentos da Educação Inclusiva

A compreensão da deficiência tem sido historicamente moldada por diferentes referenciais teóricos e sociais, refletindo mudanças profundas na maneira como a sociedade percebe a diversidade humana. Durante grande parte do século XX, predominou o chamado modelo médico ou assistencialista, que concebia a deficiência como um problema inerente ao indivíduo. Nesse paradigma, o foco recai sobre a limitação funcional ou a patologia, entendida como um desvio em relação a um padrão considerado “normal”. A intervenção social e educacional, nesse contexto, orientava-se prioritariamente pela reabilitação, pelo tratamento clínico e por práticas compensatórias, frequentemente associadas a abordagens segregacionistas (SASSAKI, 2006).

Esse modelo contribuiu para a consolidação de práticas institucionais que reforçavam a dependência e a marginalização das pessoas com deficiência, uma vez que as dificuldades de participação social eram atribuídas quase exclusivamente às suas condições individuais. A ênfase na cura ou na normalização tendia a desconsiderar os fatores ambientais e sociais que restringiam a autonomia e a cidadania desses sujeitos. Assim, a deficiência era interpretada como uma tragédia pessoal ou uma condição a ser corrigida, legitimando a criação de espaços educacionais e sociais separados (DINIZ, 2007; SASSAKI, 2003).

A partir das últimas décadas do século XX, impulsionada por movimentos sociais e por avanços nos debates sobre direitos humanos, consolida-se o modelo social da deficiência, que propõe uma mudança paradigmática significativa. Nesse referencial, a deficiência passa a ser compreendida como resultado da interação entre as características do indivíduo e as barreiras impostas pelo meio social. Barreiras arquitetônicas, comunicacionais, pedagógicas e atitudinais tornam-se elementos centrais na análise das situações de exclusão. Dessa forma, o foco desloca-se do corpo individual para a organização da sociedade, que pode ampliar ou restringir as possibilidades de participação (BRASIL, 2015; DINIZ, 2007).

Essa perspectiva encontra respaldo na Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência, incorporada ao ordenamento jurídico brasileiro, ao reconhecer que a deficiência resulta da interação entre os impedimentos de longo prazo e as barreiras existentes na sociedade. Nessa compreensão, a promoção da inclusão requer não apenas ações voltadas às pessoas com deficiência, mas também

a eliminação de barreiras e a construção de ambientes acessíveis, favorecendo sua participação em igualdade de oportunidades (BRASIL, 2015).

No campo educacional, essa mudança conceitual produz impactos significativos. A educação passa a deslocar seu foco da adaptação exclusiva do estudante para o compromisso institucional com a eliminação das barreiras à aprendizagem e à participação. Nesse contexto, a educação inclusiva pressupõe a reorganização das práticas pedagógicas, curriculares e organizacionais, de modo a atender à diversidade presente nas escolas. Assim, o desafio educacional consiste em identificar e remover barreiras, adotando estratégias didáticas diversificadas, recursos de acessibilidade e práticas pedagógicas comprometidas com a participação de todos os estudantes (GLAT; FERNANDES, 2005).

É importante destacar, entretanto, que os conceitos de inclusão, educação inclusiva e educação especial não são sinônimos. Conforme Camargo, a inclusão constitui um princípio social mais amplo, relacionado à participação de todos nos diferentes espaços da sociedade, enquanto a educação inclusiva refere-se à organização dos sistemas educacionais para garantir o acesso, a permanência, a participação e a aprendizagem dos estudantes. Já a educação especial configura-se como uma modalidade de ensino que oferece serviços e recursos especializados destinados a apoiar esse processo, não se confundindo com a educação inclusiva propriamente dita (CAMARGO, 2017).

Nesse sentido, a transição do modelo médico para o modelo social da deficiência não representa apenas uma mudança terminológica, mas uma reorientação ética, política e educacional. Sob a perspectiva da educação inclusiva, reconhece-se que as diferenças constituem parte da condição humana e que a qualidade do ensino se fortalece quando considera a diversidade de sujeitos, experiências e formas de aprender. Assim, é a instituição escolar que se adapta às necessidades de seus estudantes, assumindo a responsabilidade de criar ambientes acessíveis, colaborativos e equitativos, capazes de garantir a participação plena de todos.

2.2 Fundamentos Jurídicos e Marcos Legais da Educação Inclusiva

A educação inclusiva apoia-se em um conjunto articulado de dispositivos jurídicos, formulados em esferas nacional e internacional, que reconhecem a educação como um direito humano fundamental e a inclusão como eixo estruturante das políticas educacionais contemporâneas. Esse marco legal resulta de um processo

histórico de ampliação de direitos sociais, no qual o acesso à educação passa a ser indissociável dos princípios de equidade, justiça social e valorização da diversidade humana. Nesse sentido, a consolidação de garantias legais reflete o compromisso dos Estados com a promoção de sistemas educacionais capazes de atender à pluralidade de sujeitos que compõem a sociedade.

No cenário internacional, declarações, tratados e convenções elaborados por organismos multilaterais contribuíram para estabelecer a compreensão de que os sistemas educacionais devem ser organizados de modo a assegurar a participação de todos os estudantes, independentemente de suas características físicas, sensoriais, cognitivas ou socioculturais. Documentos como a Declaração Universal dos Direitos Humanos (ONU, 1948), a Declaração de Salamanca (UNESCO, 1994) e a Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência (ONU, 2006) reforçam que a educação inclusiva constitui não apenas um ideal pedagógico, mas uma obrigação jurídica dos países signatários. Esses instrumentos orientam a formulação de políticas públicas voltadas à remoção de barreiras à aprendizagem e à participação, atribuindo aos Estados a responsabilidade de estruturar sistemas educacionais acessíveis e equitativos.

No contexto brasileiro, os princípios internacionais são incorporados e detalhados por meio de dispositivos constitucionais e infraconstitucionais que regulamentam a educação especial na perspectiva inclusiva. A Constituição Federal de 1988 assegura a educação como direito de todos e dever do Estado, enquanto a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional – LDB nº 9.394/1996 estabelece a oferta da educação especial preferencialmente na rede regular de ensino. Complementam esse quadro normativo a Política Nacional de Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva (BRASIL, 2008), a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Lei nº 13.146/2015) e a Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2018), que orientam a organização dos sistemas de ensino, a oferta do atendimento educacional especializado e a implementação de práticas pedagógicas voltadas à promoção da participação e da aprendizagem dos estudantes público-alvo da educação especial. A articulação entre normas internacionais e legislação nacional confere respaldo jurídico às ações pedagógicas e administrativas, orientando a organização dos sistemas de ensino e a formação docente sob a ótica da inclusão.

A Declaração de Salamanca (UNESCO, 1994) constitui um dos principais marcos internacionais da educação inclusiva ao afirmar que as escolas regulares

devem acolher todos os estudantes, independentemente de suas condições físicas, sensoriais, cognitivas, sociais ou culturais. O documento desloca o foco das limitações individuais para a responsabilidade dos sistemas de ensino, defendendo que as instituições escolares organizem suas práticas pedagógicas, currículos e recursos de modo a responder à diversidade presente nas salas de aula (UNESCO, 1994).

Mais do que garantir o acesso à escola, a Declaração enfatiza a necessidade de assegurar a participação e a aprendizagem dos estudantes, por meio de metodologias diversificadas, recursos de acessibilidade, formação de professores e atuação colaborativa entre escola, família e comunidade. Dessa forma, esse documento tornou-se referência para a formulação de políticas públicas voltadas à construção de sistemas educacionais mais equitativos e comprometidos com o direito à educação para todos.

No contexto brasileiro, a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (Lei nº 9.394/1996) estabelece os fundamentos legais da educação e reafirma a educação especial como modalidade de ensino a ser ofertada, preferencialmente, na rede regular. Em seu artigo 58, a legislação orienta que o atendimento educacional especializado (AEE) seja organizado como serviço complementar ou suplementar ao ensino comum, fortalecendo a perspectiva da escolarização em ambientes inclusivos (BRASIL, 1996).

Ao atribuir aos sistemas de ensino a responsabilidade pela oferta de recursos de acessibilidade, serviços especializados e formação de professores, a LDB reforça o compromisso institucional com a eliminação de barreiras à aprendizagem e à participação dos estudantes público-alvo da educação especial. Assim, a legislação constitui um importante fundamento para a organização de práticas pedagógicas comprometidas com a equidade e com o direito à educação.

A Política Nacional de Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva (BRASIL, 2008) representa um importante marco para a organização das políticas públicas voltadas à escolarização dos estudantes público-alvo da educação especial. O documento estabelece que a educação especial deve integrar o ensino comum, assegurando o acesso, a permanência, a participação e a aprendizagem desses estudantes em todas as etapas da educação.

Nesse contexto, a política define o atendimento educacional especializado (AEE) como um serviço complementar ou suplementar ao ensino regular, destinado à oferta de recursos de acessibilidade e apoios pedagógicos que favoreçam a

participação dos estudantes. Além disso, destaca a necessidade de investimentos na formação docente, na organização de serviços especializados e na eliminação de barreiras arquitetônicas, comunicacionais, pedagógicas e atitudinais, reafirmando a responsabilidade dos sistemas de ensino na construção de uma educação orientada pelos princípios da inclusão (BRASIL, 2008).

A Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Lei nº 13.146/2015) representa um importante marco jurídico na consolidação dos direitos das pessoas com deficiência no Brasil, ao incorporar os princípios do modelo social da deficiência previstos na Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência. A legislação compreende a deficiência como resultado da interação entre os impedimentos de longo prazo e as barreiras existentes na sociedade, reafirmando uma perspectiva fundamentada nos direitos humanos (BRASIL, 2015).

No campo educacional, a LBI assegura a implementação de um sistema educacional inclusivo em todos os níveis e modalidades de ensino, estabelecendo como responsabilidade do poder público e das instituições de ensino garantir o acesso, a permanência, a participação e a aprendizagem dos estudantes com deficiência. Para isso, prevê a oferta de recursos de acessibilidade, atendimento educacional especializado (AEE), formação de professores e eliminação de barreiras arquitetônicas, comunicacionais, pedagógicas e atitudinais (BRASIL, 2015).

Desse modo, a LBI fortalece a compreensão de que a inclusão ultrapassa o acesso à escola, exigindo a organização de práticas pedagógicas e de ambientes educacionais que favoreçam a participação dos estudantes em igualdade de oportunidades.

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC), homologada em 2018, constitui o documento normativo que orienta a organização dos currículos da educação básica no Brasil. Embora não seja direcionada especificamente à educação inclusiva, seus princípios dialogam com essa perspectiva ao defender o desenvolvimento integral dos estudantes, a valorização da diversidade e a promoção de uma educação comprometida com a formação cidadã (BRASIL, 2018).

Ao organizar o currículo por competências e habilidades, a BNCC favorece a diversificação das estratégias de ensino e das formas de avaliação, possibilitando maior flexibilidade para atender às diferentes necessidades de aprendizagem. Contudo, a efetivação desses princípios depende da atuação dos sistemas de ensino e dos professores, que devem orientar sua prática por princípios de acessibilidade,

equidade e respeito à diversidade. Assim, articulada aos demais marcos legais da educação inclusiva, a BNCC contribui para a construção de currículos mais flexíveis e comprometidos com a participação de todos os estudantes.

Portanto, os documentos apresentados constituem o principal arcabouço normativo que orienta a educação inclusiva no Brasil, reafirmando o direito de todos à educação e a responsabilidade dos sistemas de ensino na promoção de condições de acesso, permanência, participação e aprendizagem. Entretanto, a existência desse conjunto de dispositivos legais não garante, por si só, sua efetivação no cotidiano escolar.

Como destacam Bueno e Nunes (2018), ainda persistem desafios relacionados à implementação das políticas inclusivas, evidenciando um distanciamento entre o que é assegurado pela legislação e as condições concretas encontradas nas instituições de ensino. Nesse contexto, a pesquisa em Educação assume papel relevante ao propor estratégias pedagógicas capazes de contribuir para a materialização desses princípios no cotidiano escolar.

3 EDUCAÇÃO INCLUSIVA E ACESSIBILIDADE NO ENSINO DE FÍSICA: REPRESENTAÇÕES, MEDIAÇÕES E TECNOLOGIAS ASSISTIVAS

3.1 A Natureza da Linguagem e Representação em Física

A Física é uma ciência que busca compreender os fenômenos naturais por meio de um processo de modelagem que envolve diferentes níveis de representação: a observação do fenômeno, a construção de conceitos, a formalização matemática e o uso de representações externas, como gráficos, diagramas e linguagem verbal (KARAM; COELHO, 2016). Esses níveis não atuam de forma isolada, mas se articulam na construção do conhecimento científico.

No ensino de Física, a aprendizagem depende da capacidade de os estudantes transitarem entre essas diferentes formas de representação. As representações visuais, especialmente os gráficos cartesianos, desempenham papel central nesse processo, pois sintetizam informações e evidenciam relações entre variáveis, funcionando como pontes entre a experiência empírica e a abstração matemática (ARAÚJO; BORGES, 2005). Assim, o uso integrado de múltiplas representações favorece a compreensão conceitual e a construção de significados científicos.

Para estudantes videntes, os gráficos desempenham papel fundamental na aprendizagem de conceitos científicos e matemáticos, pois permitem visualizar relações entre grandezas, identificar padrões de variação e compreender características como máximos, mínimos e tendências. Entretanto, a leitura e a interpretação de gráficos não constituem habilidades naturais ou imediatas (CARVALHO; CRUZ; ROSA, 2020).

Essas habilidades são construídas progressivamente por meio da escolarização, exigindo a aprendizagem de convenções simbólicas, escalas, eixos e relações funcionais. Assim, mesmo para estudantes que utilizam predominantemente a visão, a compreensão gráfica resulta de um processo de mediação pedagógica sistemático (SILVA, 2023).

Para estudantes com deficiência visual, esse desafio assume uma dimensão adicional. A ausência de acesso direto à informação visual implica a necessidade de reconfigurar as formas de representação, recorrendo a recursos táteis, sonoros e verbais que possibilitem a construção de significados equivalentes aos proporcionados pelos gráficos visuais (CRUZ; ROSA, 2024). Nessa perspectiva, recursos pedagógicos acessíveis, como gráficos em relevo, materiais manipuláveis e descrições verbais estruturadas, possibilitam explorar relações espaciais e

quantitativas por meio de diferentes canais sensoriais. Mais do que adaptar materiais, esse processo requer o planejamento de estratégias didáticas que favoreçam a exploração, a comparação e a interpretação das informações (BATISTA; LIMA, 2017).

Nesse contexto, a mediação pedagógica intencional assume papel central. O professor precisa planejar intervenções que articulem linguagem verbal, exploração tátil e raciocínio matemático, auxiliando o estudante a construir representações mentais coerentes dos fenômenos estudados. A interação entre professor e estudantes, associada à explicitação das convenções gráficas e ao uso de diferentes formas de representação, contribui para o desenvolvimento da alfabetização gráfica. Além disso, estratégias de ensino multimodais beneficiam toda a turma, ao ampliar as possibilidades de acesso e compreensão dos conceitos científicos.

Dessa maneira, o ensino de gráficos em uma perspectiva inclusiva exige a compreensão de que a acessibilidade é parte integrante do processo pedagógico. Ao reconhecer a diversidade sensorial dos estudantes e investir em estratégias de mediação adequadas, a escola promove condições mais equitativas de aprendizagem e fortalece a construção de conceitos científicos de forma significativa.

3.2 Barreiras Atitudinais e Epistemológicas à Educação Inclusiva em Física

No contexto da educação inclusiva, as dificuldades enfrentadas por estudantes com deficiência visual não se restringem às barreiras sensoriais ou materiais, mas envolvem também dimensões atitudinais profundamente enraizadas nas concepções sociais e educacionais sobre capacidade e aprendizagem. A crença de que estudantes cegos não teriam condições de compreender conteúdos de Física — especialmente aqueles tradicionalmente associados à visualização, como óptica, eletromagnetismo ou interpretação de gráficos — contribui para a redução das expectativas pedagógicas e para a limitação das oportunidades de participação. Tais expectativas influenciam decisões curriculares, estratégias didáticas e formas de avaliação, produzindo um ciclo de exclusão que compromete o desenvolvimento acadêmico e científico desses estudantes (CAMARGO, 2012).

Associadas a essas barreiras, emergem limitações de natureza epistemológica, relacionadas à forma como o conhecimento físico é frequentemente apresentado no contexto escolar. Em muitos casos, estabelece-se uma vinculação direta entre fenômeno físico e representação visual, como se a compreensão conceitual dependesse necessariamente da observação ocular. Essa perspectiva restringe o acesso ao conhecimento ao privilegiar uma única via de representação,

desconsiderando que a Física se constitui como um sistema de modelos, relações e abstrações que podem ser construídos por meio de diferentes mediações pedagógica (DUVAL, 2012).

A superação das barreiras presentes no ensino de Física demanda uma reflexão crítica acerca das práticas pedagógicas e das concepções que historicamente têm orientado a produção e a circulação do conhecimento científico na escola. Nessa perspectiva, a mediação docente assume papel fundamental ao promover estratégias que ampliem as possibilidades de acesso aos conteúdos, contemplando diferentes formas de representação e interação com os fenômenos estudados. A articulação entre linguagem verbal, recursos táteis, atividades experimentais e formalização conceitual contribui para a construção de ambientes de aprendizagem mais acessíveis, nos quais a participação dos estudantes não esteja condicionada a uma única forma de percepção (DICKMAN; FERREIRA, 2008).

A relevância dessas estratégias torna-se particularmente evidente em conteúdos cuja abordagem tradicional se apoia fortemente em elementos visuais. No ensino de Óptica, por exemplo, o estudo da reflexão da luz é frequentemente apresentado por meio de diagramas que representam raios incidentes, normais e raios refletidos. Embora tais representações desempenhem importante função didática, sua compreensão não depende exclusivamente da observação visual. Descrições verbais estruturadas, modelos táteis e atividades experimentais podem favorecer a construção de significados conceituais equivalentes, possibilitando que diferentes formas de percepção sejam mobilizadas no processo de aprendizagem. Essa perspectiva reforça a compreensão de que o conhecimento científico é construído por meio da articulação entre múltiplas formas de representação e não pela dependência de um único canal sensorial (CAMARGO, 2012).

A defesa de abordagens pedagógicas que valorizem a pluralidade de formas de percepção encontra sólido respaldo na produção acadêmica de Eder Pires de Camargo, físico cego e pesquisador vinculado à Universidade Estadual Paulista (UNESP). Em seus estudos, o autor problematiza a centralidade historicamente atribuída à visão no ensino de Ciências e demonstra que a aprendizagem de conceitos físicos pode ocorrer de maneira significativa quando são oferecidas condições adequadas de mediação e acesso ao conhecimento (CAMARGO, 2012). Ao reconhecer a diversidade sensorial como componente legítimo dos processos de aprendizagem, suas contribuições ampliam o debate sobre educação inclusiva e

oferecem importantes referenciais para a construção de práticas pedagógicas mais acessíveis e participativas no ensino de Física.

Essa perspectiva dialoga diretamente com propostas pedagógicas que valorizam a aprendizagem ativa e a construção do conhecimento a partir da interação do estudante com materiais, modelos e situações experimentais. A incorporação de recursos táteis, descrições sistemáticas e tecnologias acessíveis não apenas viabiliza a participação de estudantes com deficiência visual, mas também amplia as possibilidades de aprendizagem para todos os estudantes, ao diversificar as formas de representação e compreensão dos fenômenos científicos (CAMARGO, 2012; MANTOAN, 2015).

Dessa forma, as contribuições de Eder Camargo evidenciam que as limitações frequentemente atribuídas aos estudantes com deficiência visual decorrem, em grande medida, de barreiras pedagógicas, epistemológicas e atitudinais presentes nos contextos educacionais. Assim, reconhecer a acessibilidade como princípio orientador do ensino de Física significa promover práticas pedagógicas que ampliem as oportunidades de participação e aprendizagem, valorizando a diversidade como elemento constitutivo do processo educativo.

3.3 Aspectos Cognitivos e Perceptivos no Ensino de Física para Estudantes com Deficiência Visual

A aprendizagem de conceitos físicos envolve processos cognitivos relacionados à construção e manipulação de representações espaciais. Fenômenos associados ao movimento, à propagação de ondas, à geometria, aos campos vetoriais e às relações entre grandezas exigem que o estudante estabeleça conexões entre diferentes elementos de um sistema, identificando padrões, proporções e relações espaciais. Nesse contexto, diagramas, gráficos e modelos desempenham papel relevante não por sua natureza visual, mas por sua capacidade de representar estruturas conceituais e relações abstratas. Assim, a compreensão desses recursos depende fundamentalmente da elaboração cognitiva dos significados que eles expressam, e não exclusivamente do canal sensorial utilizado para acessá-los (CAMARGO, 2012).

No caso de estudantes com cegueira congênita, a compreensão e a organização do espaço desenvolvem-se por meio de referências diferentes daquelas utilizadas por pessoas videntes. Inicialmente, o próprio corpo constitui o principal ponto de orientação, caracterizando um referencial egocêntrico, baseado na posição

e nos movimentos corporais. Com o tempo, esse sistema evolui para a construção de referenciais allocêntricos, que correspondem a representações mentais do ambiente independentes da posição do observador. Esse processo é possibilitado pela integração de informações provenientes dos sentidos tátil, auditivo e cinestésico, bem como da memória, permitindo a formação de mapas mentais cada vez mais elaborados e funcionais para a orientação e a compreensão espacial (MILLAR, 1994).

A percepção tátil apresenta características cognitivas específicas que influenciam a maneira como as informações espaciais são processadas. Diferentemente da visão, que tende a operar de forma simultânea e global, o tato organiza-se de modo sequencial e analítico, exigindo exploração ativa e tempo para a construção de uma representação integrada do objeto. Esse caráter sequencial não implica inferioridade cognitiva, mas sim uma dinâmica distinta de processamento, que pode ser altamente eficiente quando apoiada por estratégias pedagógicas adequadas (MILLAR, 1994).

Pesquisas em psicologia cognitiva e educação indicam que a exploração tátil sistemática, associada a mediações verbais e a atividades motoras, favorece o desenvolvimento da cognição espacial em estudantes com deficiência visual. Modelos tridimensionais, gráficos em relevo e materiais manipuláveis funcionam como suportes concretos para a construção de conceitos abstratos, ampliando as possibilidades de compreensão em áreas como a Física e a Matemática (HATWELL, 2003; CAMARGO, 2012).

Em decorrência dessas particularidades, um gráfico tátil não pode constituir-se como mera transposição em relevo de um gráfico visual. Sua elaboração precisa considerar as limitações da memória tátil de trabalho, uma vez que a construção da representação mental ocorre de forma gradual e sequencial pelo leitor. Assim, o planejamento do gráfico tátil deve priorizar a clareza das informações, a simplicidade na organização e a distinção adequada entre seus elementos, por meio de variações de textura, relevo e outros recursos perceptíveis ao tato, de modo a facilitar a identificação das informações e favorecer sua compreensão de forma integrada.

Sob essa perspectiva, a elaboração de gráficos táteis deve considerar princípios de acessibilidade cognitiva e de design da informação. A seleção das informações essenciais, a eliminação de detalhes desnecessários e a organização adequada dos elementos favorecem a compreensão das relações representadas e reduzem a sobrecarga cognitiva durante a exploração tátil (TUFTE, 2001).

Esses princípios também são compatíveis com o Desenho Universal para a Aprendizagem, que recomenda a oferta de múltiplas formas de representação para atender à diversidade dos estudantes. Assim, a construção de gráficos táteis deve priorizar sua funcionalidade pedagógica, possibilitando diferentes formas de acesso aos conceitos científicos (CAST, 2018).

Dessa forma, os gráficos táteis em relevo desenvolvidos para esta pesquisa devem ser compreendidos como recursos pedagógicos acessíveis, elaborados com materiais de baixo custo para subsidiar as atividades de ensino durante a intervenção pedagógica. Esses recursos foram confeccionados pela pesquisadora e utilizados como apoio à mediação pedagógica, favorecendo a exploração tátil e a compreensão de conceitos físicos pelos estudantes.

O produto educacional desenvolvido nesta pesquisa consiste na construção de gráficos táteis, estruturado por meio de um kit destinado à elaboração dessas representações e de um Guia Teórico-Experimental que orienta suas etapas de construção e utilização. O kit foi concebido como uma Tecnologia Assistiva ao favorecer a autonomia dos estudantes, possibilitando sua participação ativa na produção, exploração e interpretação dos gráficos táteis, contribuindo para uma aprendizagem mais inclusiva e significativa.

3.4 Processamento da Informação e Mediação Pedagógica

A aprendizagem de Física por estudantes com deficiência visual requer práticas pedagógicas planejadas e fundamentadas nos princípios da acessibilidade. Nesse cenário, o professor desempenha um papel essencial como mediador do conhecimento, organizando os conteúdos de modo que possam ser compreendidos e explorados por diferentes canais sensoriais (VYGOTSKY, 1998). Considerando que o ensino de Física frequentemente utiliza gráficos, diagramas, fórmulas e representações experimentais, torna-se indispensável adaptar essas informações para formatos acessíveis. Dessa forma, a mediação pedagógica deve promover a transposição das representações visuais para recursos que preservem o significado conceitual dos conteúdos e favoreçam a participação efetiva dos estudantes.

Grande parte das informações em sala de aula é tradicionalmente transmitida por meios visuais imediatos, como anotações no quadro, gestos do professor e representações gráficas. Para estudantes cegos, esses elementos precisam ser convertidos em descrições verbais estruturadas e em recursos táteis ou tecnológicos que preservem o significado científico das representações. Essa adaptação envolve o

uso articulado de materiais em Braille, gráficos e modelos táteis, audiodescrição, simulações sonoras e tecnologias assistivas. O objetivo não é apenas permitir o acesso à informação, mas favorecer a construção de conceitos científicos de forma significativa, promovendo a autonomia cognitiva do estudante (VYGOTSKY, 1998; SÁ; CAMPOS; SILVA, 2007).

Entre esses recursos, destaca-se a descrição verbal sistematizada, também denominada audiodescrição pedagógica, como uma estratégia fundamental para a acessibilidade no ensino de Física. Diferentemente de uma simples narração dos elementos visuais, a audiodescrição pedagógica deve ser estruturada de forma conceitual, estabelecendo conexões entre a representação apresentada e o fenômeno físico que ela representa. Assim, uma descrição eficiente deve contemplar a identificação dos componentes presentes em gráficos, imagens ou experimentos, a explicação das variáveis envolvidas e a interpretação dos significados físicos associados aos resultados observados.

Por exemplo, ao apresentar um gráfico de posição em função do tempo, uma descrição adequada não se restringe a afirmar que a linha é crescente. É necessário explicitar que o eixo horizontal representa o tempo, medido em segundos, e o eixo vertical representa a posição, medida em metros; indicar que a inclinação constante da reta revela uma variação proporcional da posição ao longo do tempo; e relacionar essa característica ao conceito de movimento retilíneo uniforme, no qual a velocidade permanece constante. Nesse processo, a audiodescrição opera como instrumento de mediação conceitual, pois traduz a estrutura lógica da representação gráfica e possibilita ao estudante compreender simultaneamente o fenômeno físico e sua forma de representação (MARTINS, 2012; NUNES; LOMÔNACO, 2010).

Essa perspectiva fundamenta-se nas abordagens socioconstrutivistas da aprendizagem, que compreendem a construção do conhecimento como um processo mediado pela linguagem, pelos instrumentos culturais e pelas interações sociais (VYGOTSKY, 1991). Nessa visão, recursos como representações táteis, verbais e sonoras não possuem valor pedagógico isoladamente, mas tornam-se mediadores da aprendizagem quando articulados à ação docente e a metodologias ativas que favoreçam a participação, a investigação e a construção coletiva do conhecimento (FREIRE, 1996; BACICH; MORAN, 2018). No ensino de Física, essas estratégias ampliam as possibilidades de acesso aos conceitos científicos e contribuem para uma

prática pedagógica mais inclusiva e significativa para todos os estudantes (CAMARGO, 2012; MANTOAN, 2015).

No caso de estudantes com baixa visão, as estratégias pedagógicas devem considerar a diversidade de condições visuais existentes. Recursos como lupas ópticas, softwares de ampliação de tela, materiais com alto contraste, tipografia ampliada e iluminação adequada podem facilitar o acesso à informação. A seleção desses recursos deve ser realizada de forma individualizada, com base na avaliação das necessidades específicas do estudante e em diálogo contínuo com ele. Essa postura reforça o princípio da educação especial, segundo o qual a adaptação do ambiente de aprendizagem é uma responsabilidade institucional e pedagógica, e não uma atribuição exclusiva do estudante (BRASIL, 2008).

Em síntese, o processamento da informação no ensino de Física para estudantes com deficiência visual depende de uma mediação pedagógica planejada, que integre recursos acessíveis e descrições conceituais rigorosas. Ao promover a tradução qualificada das representações visuais e a utilização de múltiplas linguagens, o professor amplia as possibilidades de compreensão dos conceitos científicos e favorece condições mais equitativas de participação no processo de aprendizagem.

3.5 Tecnologia Assistiva e sua aplicação no ensino de Física

A Tecnologia Assistiva (TA) constitui uma área de conhecimento voltada ao desenvolvimento de recursos, estratégias e serviços que buscam ampliar a autonomia, a participação e a independência das pessoas com deficiência em diferentes atividades. Segundo o Comitê de Ajudas Técnicas (CAT), a TA envolve produtos, equipamentos, metodologias, práticas e serviços destinados a promover a inclusão e melhorar a qualidade de vida das pessoas (BRASIL, 2009). Nessa perspectiva, a TA não tem como objetivo modificar as características individuais do sujeito, mas reduzir ou eliminar barreiras presentes no ambiente, nos recursos e nas práticas sociais que dificultam sua participação.

No contexto educacional, a Tecnologia Assistiva assume papel fundamental ao possibilitar o acesso ao currículo e favorecer a aprendizagem dos estudantes com deficiência. Entretanto, é importante destacar que nem todo recurso acessível pode ser considerado uma TA. Conforme Bersch (2017), um recurso caracteriza-se como assistivo quando sua função principal é superar uma barreira específica e possibilitar maior autonomia ao usuário na realização de determinada atividade. Assim, a diferença entre um material didático acessível e uma Tecnologia Assistiva está

relacionada não apenas às suas características físicas, mas principalmente à sua capacidade de promover participação independente.

A utilização da Tecnologia Assistiva no ambiente escolar também está relacionada ao direito à educação inclusiva garantido pela legislação brasileira. A Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Lei nº 13.146/2015) estabelece a necessidade de garantir recursos e serviços que favoreçam o acesso, a participação e a aprendizagem dos estudantes. Dessa forma, a oferta de recursos assistivos não deve ser compreendida como uma ação complementar ou uma adaptação isolada, mas como parte das condições necessárias para assegurar uma educação que respeite as diferentes formas de aprender.

No ensino de Física, a Tecnologia Assistiva contribui para superar barreiras impostas pela predominância de representações visuais, possibilitando diferentes formas de acesso aos conceitos científicos sem reduzir seu rigor (CAMARGO, 2012).

Diante desse contexto, os gráficos táteis desenvolvidos nesta pesquisa são compreendidos como uma Tecnologia Assistiva, pois não se limitam a apresentar uma representação acessível, mas possibilitam que o estudante com deficiência visual participe ativamente da construção, exploração e interpretação dos dados experimentais. O kit de construção de gráficos táteis, associado ao Guia Teórico-Experimental, busca ampliar a autonomia do estudante, reduzindo barreiras relacionadas ao acesso às representações gráficas presentes no ensino de Física. Dessa forma, o recurso integra acessibilidade, mediação docente e participação ativa dos estudantes, contribuindo para uma prática pedagógica inclusiva e significativa (BERSCH, 2017; CAMARGO, 2012; MANTOAN, 2015).

3.6 Metodologias Pedagógicas Inclusivas no Ensino de Física

A educação inclusiva, enquanto perspectiva educacional voltada à eliminação de barreiras e à promoção da participação e aprendizagem dos estudantes, pressupõe uma reorganização das práticas pedagógicas, superando a ideia de que as adaptações devem ocorrer apenas após a identificação das dificuldades individuais. Dessa forma, o planejamento do ensino deve considerar previamente a diversidade dos estudantes, buscando construir estratégias que ampliem as possibilidades de participação e apropriação dos conhecimentos escolares. No ensino de Física, essa perspectiva implica repensar não apenas os conteúdos trabalhados, mas também as formas pelas quais esses conhecimentos são apresentados, explorados e avaliados (BRASIL, 2008; MANTOAN, 2003).

Nesse sentido, metodologias inclusivas no ensino de Física envolvem a utilização de diferentes modos de representação e comunicação dos fenômenos científicos. A articulação entre representações verbais, matemáticas, gráficas, táteis e experimentais amplia as possibilidades de compreensão conceitual, pois permite que os estudantes estabeleçam relações entre diferentes formas de expressar determinado fenômeno. Segundo Ainsworth (2006), o uso de múltiplas representações pode favorecer a aprendizagem ao possibilitar diferentes caminhos para interpretação, integração e construção do conhecimento.

No caso específico dos estudantes com deficiência visual, a adaptação das representações visuais não significa apenas substituir imagens por descrições verbais, mas reorganizar as informações de modo que preservem seus significados científicos. Dessa maneira, gráficos, diagramas e modelos podem ser explorados por meio de recursos táteis, descrições estruturadas e materiais manipuláveis, permitindo que o estudante estabeleça relações conceituais entre a representação e o fenômeno físico estudado. Conforme destaca Camargo (2012), o ensino de Física para estudantes com deficiência visual exige a valorização de diferentes linguagens e formas de interação com o conhecimento científico, considerando que a aprendizagem não depende exclusivamente da percepção visual.

Nesse processo, a mediação pedagógica realizada pelo professor assume papel fundamental, pois é por meio das interações sociais, da linguagem e do uso de diferentes recursos culturais que os estudantes constroem significados sobre os conceitos científicos. Assim, materiais acessíveis, como gráficos táteis, modelos experimentais adaptados e recursos sonoros, não substituem a ação docente, mas podem contribuir para ampliar as possibilidades de interação dos estudantes com os conteúdos e favorecer processos de aprendizagem mais acessíveis (VYGOTSKY, 2007).

Além da diversificação das representações, estratégias baseadas na aprendizagem colaborativa apresentam potencial para favorecer práticas inclusivas no Ensino de Física. Entretanto, a colaboração entre estudantes não ocorre automaticamente pela simples organização em grupos, sendo necessária uma estrutura metodológica planejada pelo professor. Nesse contexto, destaca-se a aprendizagem cooperativa, compreendida como uma metodologia em que os estudantes trabalham conjuntamente para alcançar objetivos comuns de

aprendizagem, organizados por princípios específicos que diferenciam essa abordagem do simples trabalho coletivo.

Segundo Johnson e Johnson (1999), a aprendizagem cooperativa fundamenta-se em cinco elementos essenciais: interdependência positiva, responsabilidade individual, interação promotora, desenvolvimento de habilidades sociais e processamento grupal. A interdependência positiva ocorre quando os integrantes compreendem que o sucesso do grupo depende da contribuição de cada participante; a responsabilidade individual garante que cada estudante tenha participação efetiva no processo; a interação promotora envolve o apoio mútuo entre os integrantes; as habilidades sociais favorecem a comunicação e a cooperação; e o processamento grupal permite que o grupo avalie seu próprio funcionamento e os resultados alcançados.

No contexto do ensino de Física experimental, esses princípios podem contribuir para a organização de atividades nas quais diferentes habilidades sejam valorizadas durante a construção do conhecimento. Em uma atividade envolvendo estudantes com e sem deficiência visual, por exemplo, as funções podem ser distribuídas de modo que todos participem do processo investigativo, seja por meio da montagem experimental, da coleta de dados, da descrição dos fenômenos observados, da análise dos resultados ou da construção das representações científicas. Dessa forma, a participação dos estudantes não é definida pela ausência ou presença de determinada habilidade sensorial, mas pela contribuição que cada integrante pode oferecer ao processo coletivo.

Para os estudantes videntes, a participação em atividades que envolvem a descrição e explicação de fenômenos físicos pode favorecer o desenvolvimento da comunicação científica, uma vez que exige a organização das ideias, a explicitação de relações conceituais e a transformação de observações em explicações fundamentadas. Ao comunicar informações que não dependem exclusivamente da linguagem visual, os estudantes são estimulados a refletir sobre os conceitos envolvidos e sobre as diferentes formas de representação do conhecimento científico.

Em atividades experimentais de Eletrodinâmica, essa abordagem possibilita a integração entre experimentação, acessibilidade e cooperação. Durante a investigação de circuitos elétricos, por exemplo, os estudantes podem participar da montagem dos componentes, realização das medições de tensão e corrente, interpretação dos dados obtidos e construção das representações gráficas

correspondentes. Para estudantes com deficiência visual, recursos acessíveis, como instrumentos adaptados, descrições sistematizadas e gráficos táteis, podem ampliar as possibilidades de participação nas diferentes etapas da atividade experimental.

Assim, as metodologias pedagógicas inclusivas no Ensino de Física não consistem apenas na adaptação de materiais, mas envolvem uma reorganização das práticas docentes, considerando diferentes formas de acesso, representação e construção do conhecimento científico. Nesse contexto, o desenvolvimento de recursos pedagógicos acessíveis, associado a estratégias colaborativas e experimentais, pode contribuir para reduzir barreiras de aprendizagem e ampliar as oportunidades de participação dos estudantes nas aulas de Física.

3.7 Modelagem e Experimentação Acessível

A construção de modelos físicos palpáveis tem sido apontada na literatura como uma estratégia pedagógica com potencial para ampliar as formas de acesso aos conceitos científicos e favorecer a compreensão de fenômenos físicos, especialmente quando associada a processos de mediação docente e diferentes formas de representação. No ensino de Física, esses modelos possibilitam explorar conceitos abstratos por meio da interação com representações concretas, contribuindo para aproximar o formalismo científico das experiências sensoriais dos estudantes. Entretanto, a manipulação de um modelo ou a percepção de um fenômeno físico, por si só, não garante a construção do conhecimento conceitual, sendo fundamental a articulação entre observação, linguagem, interpretação e sistematização teórica.

É fundamental destacar que a experimentação em Física não se restringe à percepção visual. Em contextos educacionais inclusivos, diferentes modalidades sensoriais podem e devem ser mobilizadas de forma planejada, ampliando as possibilidades de interação dos estudantes com os fenômenos investigados.

- **Experimentação tátil:** em atividades experimentais envolvendo circuitos elétricos, a exploração tátil possibilita ao estudante interagir diretamente com os componentes e materiais utilizados na investigação dos fenômenos físicos. Por meio da manipulação de elementos como fios condutores, resistores, pilhas, LEDs e outros componentes adaptados, o estudante pode reconhecer características estruturais dos materiais, compreender a organização dos circuitos e participar ativamente das etapas de montagem e coleta de dados experimentais.

- **Experimentação auditiva:** o uso de dispositivos que convertem sinais elétricos em sons — como buzzers ou sensores sonoros acoplados ao circuito — permite discutir variações de corrente e tensão, possibilitando a análise de grandezas elétricas por meio de diferenças perceptíveis na intensidade ou na frequência do som emitido.
- **Experimentação cinestésica:** ao interagir com componentes elétricos em diferentes configurações, como montar circuitos com resistores variados ou ajustar fontes de tensão, o estudante vivencia, por meio da ação e da manipulação, conceitos como corrente elétrica, resistência e a relação entre tensão e corrente descrita pela Lei de Ohm, integrando percepção corporal e formalização teórica.

Nesse sentido, a utilização de modelos palpáveis e experimentos multissensoriais contribui não apenas para a acessibilidade do ensino, mas também para o aprofundamento conceitual, ao estimular diferentes formas de interação com o conhecimento científico.

Camargo (2020) destaca a importância de desenvolver estratégias experimentais acessíveis que possibilitem diferentes formas de interação com os fenômenos físicos, sem reduzir a complexidade conceitual dos conteúdos trabalhados. Nessa perspectiva, a utilização de recursos acessíveis e experimentações multissensoriais não representa uma simplificação da Física, mas uma reorganização das formas de apresentação e exploração do conhecimento científico, ampliando as possibilidades de participação dos estudantes no processo de aprendizagem.

3.8 Representações Gráficas na Física Experimental

Na Física Experimental, a construção e a interpretação de gráficos são procedimentos fundamentais para a análise de resultados obtidos em medições. Por meio deles, torna-se possível organizar dados experimentais, identificar relações entre grandezas físicas e verificar se o comportamento observado está de acordo com o modelo teórico proposto. Dessa forma, o gráfico não desempenha apenas função ilustrativa, mas integra o processo de análise quantitativa dos fenômenos e a comunicação dos resultados obtidos (HEWITT, 2015; HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

Os gráficos constituem ferramentas fundamentais em diversas áreas do conhecimento, como Física, Química e Matemática, sendo utilizados para organizar

dados, identificar relações e representar informações de maneira sistemática. Entretanto, no ensino de Física, sua função ultrapassa a simples apresentação final de resultados experimentais. Os gráficos atuam como instrumentos de análise e construção do conhecimento científico, permitindo identificar padrões, estabelecer relações entre grandezas, construir modelos, testar hipóteses e representar leis físicas.

Além disso, a análise da distribuição dos pontos experimentais em relação a curvas ou retas ajustadas possibilita avaliar a qualidade das medidas realizadas, identificar possíveis discrepâncias associadas aos erros experimentais e verificar se o modelo matemático utilizado representa adequadamente o fenômeno investigado. Dessa forma, a construção e interpretação de gráficos em atividades experimentais de Física favorecem a articulação entre dados obtidos, representações matemáticas e modelos científicos, contribuindo para uma compreensão mais significativa dos fenômenos estudados (TAYLOR, 1997).

No estudo da Eletrodinâmica, por exemplo, a construção de gráficos relacionando tensão e corrente elétrica permite analisar experimentalmente o comportamento de diferentes componentes e discutir relações entre grandezas físicas. No caso de resistores ôhmicos, a representação gráfica possibilita identificar a proporcionalidade entre essas grandezas e estabelecer relações com o modelo matemático da Lei de Ohm. Dessa forma, o gráfico participa do processo de interpretação do fenômeno investigado, permitindo que os estudantes relacionem dados experimentais, modelos matemáticos e conceitos físicos.

Diversos estudos na área de Ensino de Física apontam que a realização de atividades experimentais associadas à análise de gráficos favorece o desenvolvimento do raciocínio científico dos estudantes. Pesquisas conduzidas por McDermott, Rosenquist e van Zee (1987) mostram que a interpretação de representações gráficas em cinemática apresenta dificuldades sistemáticas para os estudantes, tanto na conexão entre gráficos e conceitos físicos quanto na articulação entre representações gráficas e fenômenos do mundo real, evidenciando a necessidade de abordagens pedagógicas que aproximem essa interpretação das práticas de análise utilizadas na investigação científica. Segundo os autores, essas dificuldades decorrem, em grande medida, de uma compreensão fragmentada dos conceitos envolvidos e da tendência de interpretar gráficos apenas como figuras geométricas, sem estabelecer conexões com os processos físicos que representam.

Diversos estudos na área de Ensino de Física apontam que a interpretação de representações gráficas constitui uma dificuldade recorrente entre estudantes. McDermott, Rosenquist e Van Zee (1987) identificaram que muitos alunos apresentam dificuldades em estabelecer conexões entre gráficos e fenômenos físicos, interpretando frequentemente essas representações como figuras geométricas isoladas, sem relacioná-las aos processos físicos que representam. Segundo os autores, essas dificuldades estão associadas à compreensão limitada das relações entre diferentes formas de representação e à ausência de articulação entre aspectos matemáticos e conceituais da Física.

Essa problemática também é abordada por Hestenes (1992), cujos estudos sobre modelagem científica no ensino de Física defendem que a aprendizagem dos conceitos físicos está intimamente relacionada à capacidade dos estudantes de construir, interpretar e utilizar modelos para representar fenômenos naturais.

Nessa perspectiva, a compreensão de gráficos, equações, diagramas e descrições verbais não ocorre de forma isolada, mas depende da habilidade de estabelecer relações coerentes entre diferentes representações de um mesmo fenômeno físico. Para o autor, grande parte das dificuldades encontradas pelos estudantes decorre da incapacidade de transitar entre essas diferentes formas de representação e de atribuir significado físico aos modelos matemáticos empregados na descrição dos fenômenos.

Em consonância com essa perspectiva, Redish (2003) argumenta que as dificuldades observadas na aprendizagem da Física não se restringem à compreensão dos conceitos científicos, mas envolvem também a maneira como os estudantes interpretam e utilizam a linguagem matemática em contextos físicos. Segundo o autor, muitos estudantes aplicam procedimentos matemáticos de forma mecânica, sem compreender os significados físicos associados às expressões matemáticas. Dessa forma, a interpretação de gráficos, funções e relações quantitativas exige não apenas domínio técnico da matemática, mas também a capacidade de integrar conhecimentos conceituais, representacionais e epistemológicos próprios da Física.

Ao estabelecer um diálogo entre essas perspectivas, observa-se que tanto Hestenes quanto Redish atribuem papel central às representações na construção do conhecimento científico. Enquanto Hestenes enfatiza a modelagem como processo fundamental para a compreensão dos fenômenos físicos, Redish destaca a

necessidade de desenvolver formas de raciocínio que integrem matemática e significado físico. Nessa perspectiva, a abordagem sistemática das representações gráficas em atividades experimentais e investigativas constitui uma estratégia relevante para superar dificuldades de aprendizagem frequentemente observadas no ensino de Física, pois favorece a articulação entre procedimentos de medição, organização de dados, modelagem e interpretação das relações físicas envolvidas. Ao participarem ativamente da coleta e análise de dados, da construção de gráficos e da comparação entre resultados experimentais e previsões teóricas, os estudantes passam a compreender as representações não apenas como produtos formais de cálculos matemáticos, mas como instrumentos de análise, interpretação e comunicação dos fenômenos estudados, aproximando-se das práticas epistêmicas características da atividade científica.

Além disso, é importante considerar que parte dessas dificuldades tem origem em lacunas formativas anteriores, particularmente no domínio de conceitos matemáticos básicos. Isso ocorre porque a Física utiliza a matemática como linguagem de descrição e de modelização dos fenômenos naturais. Equações, funções e representações gráficas não constituem apenas ferramentas operacionais, mas formas de expressar relações físicas entre grandezas. Assim, quando o estudante apresenta dificuldades na compreensão dessas estruturas matemáticas, a aprendizagem da Física tende a ser impactada de maneira mais ampla, pois a interpretação dos fenômenos passa necessariamente pela leitura e pela manipulação dessas representações.

Diante dessas considerações, observa-se que as dificuldades relacionadas à interpretação de gráficos e ao uso da linguagem matemática no ensino de Física já constituem um desafio significativo para muitos estudantes. Esse quadro torna-se ainda mais complexo quando se considera a presença de estudantes com deficiência visual, para os quais as representações gráficas tradicionalmente utilizadas em sala de aula, predominantemente visuais, podem se tornar barreiras adicionais ao acesso ao conteúdo.

Dessa forma, diferentes estudos na literatura de ensino de ciências têm enfatizado a importância de uma articulação mais consistente entre o ensino de Matemática e o ensino de Física. A compreensão de gráficos, funções e relações quantitativas entre grandezas constitui um ponto de convergência entre essas áreas do conhecimento, e seu desenvolvimento progressivo ao longo da formação escolar

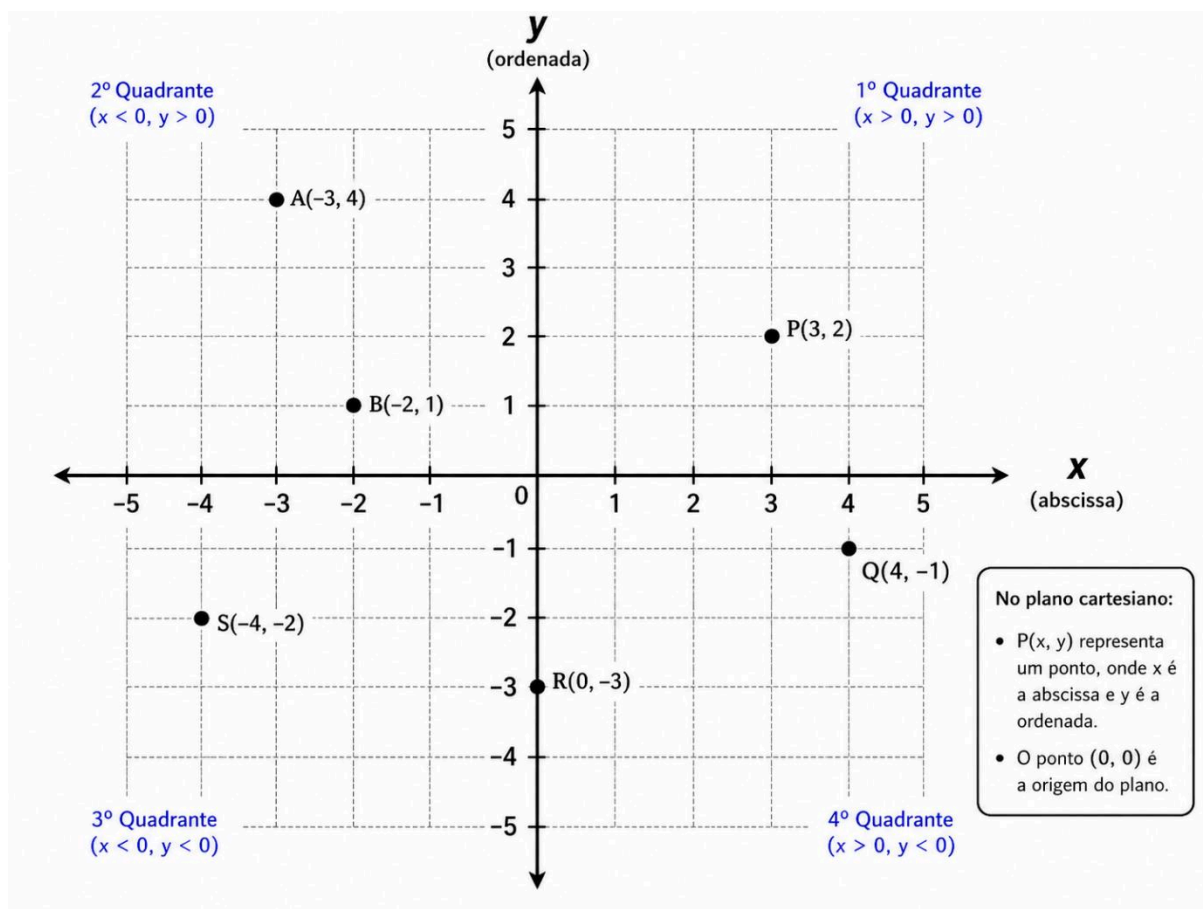
pode contribuir para que os estudantes interpretem com maior autonomia os modelos e representações utilizados na descrição dos fenômenos físicos. No caso de estudantes com deficiência visual, a compreensão dessas representações exige a adoção de recursos pedagógicos que permitam a exploração tátil das relações entre as grandezas físicas, possibilitando que as informações normalmente apresentadas de forma visual sejam reorganizadas em formatos acessíveis.

A interpretação e construção de gráficos no ensino de Física exigem o desenvolvimento da alfabetização gráfica, compreendida como a capacidade de compreender, produzir e atribuir significado às representações gráficas utilizadas na descrição dos fenômenos científicos. Essa habilidade envolve não apenas a identificação dos elementos matemáticos que compõem um gráfico, mas também a compreensão das relações estabelecidas entre as grandezas representadas, a análise de padrões de comportamento e a interpretação física das informações expressas. Dessa forma, os gráficos deixam de ser compreendidos como simples representações visuais e passam a constituir uma linguagem científica fundamental para a análise e comunicação dos fenômenos físicos (McDERMOTT; ROSENQUIST; VAN ZEE, 1987).

Nesse contexto, o sistema de coordenadas cartesianas constitui uma estrutura matemática essencial para a construção e interpretação dessas representações. Formado por dois eixos perpendiculares entre si, o eixo das abscissas (x) e o eixo das ordenadas (y), que se interceptam na origem, esse sistema permite representar a relação entre duas grandezas por meio de pares ordenados (x, y) . Na Física, essa organização possibilita expressar relações entre variáveis, analisar tendências e construir modelos que descrevem o comportamento de diferentes fenômenos experimentais.

Assim, compreender o plano cartesiano não se limita à localização de pontos em um espaço bidimensional, mas envolve reconhecer o significado físico atribuído a cada eixo, às escalas utilizadas e às relações estabelecidas entre as grandezas representadas. A Figura 1 apresenta a estrutura de um plano cartesiano, destacando a disposição dos eixos coordenados e a localização dos pontos no espaço bidimensional, elementos fundamentais para a construção e interpretação dos gráficos empregados na análise de fenômenos físicos.

Figura 1: Sistema de coordenadas cartesianas e localização de pontos no plano.



Fonte: Autoria própria.

Na análise de fenômenos físicos, esse sistema permite representar explicitamente a dependência funcional entre variáveis mensuráveis. Convencionalmente, a variável independente é posicionada no eixo horizontal, enquanto a variável dependente é disposta no eixo vertical, de modo que a organização espacial dos pontos evidencie a natureza da relação estabelecida entre elas. A distribuição dos dados no plano cartesiano possibilita identificar comportamentos lineares e não lineares, reconhecer proporcionalidades e avaliar tendências experimentais.

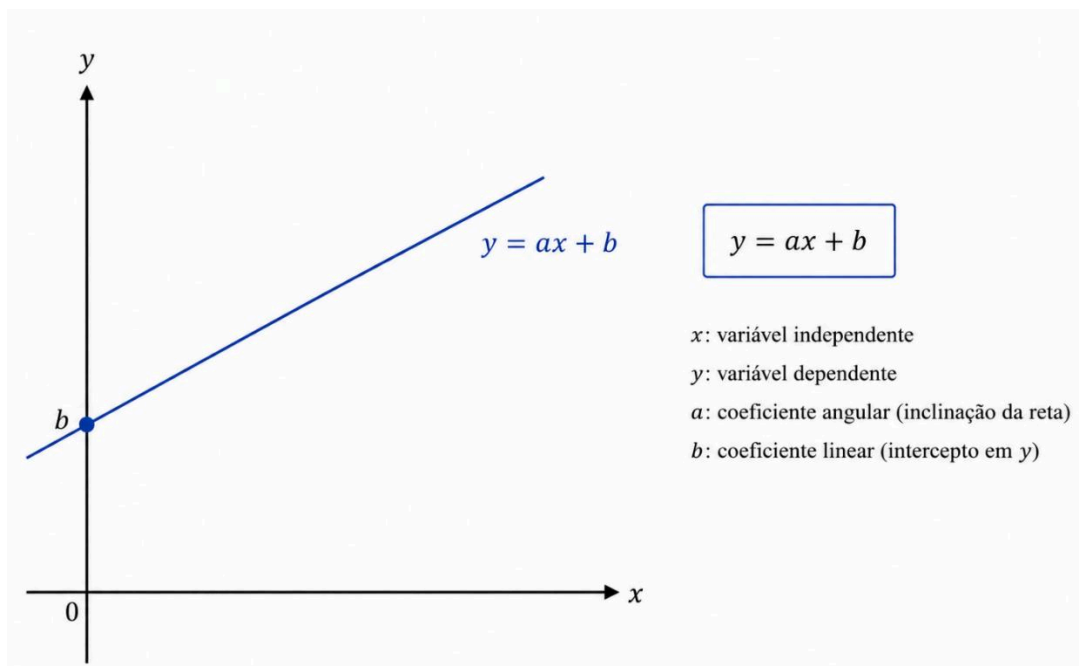
A escolha da forma de representação gráfica depende da natureza da relação matemática entre as grandezas analisadas. Entre os formatos mais utilizados em Física encontram-se os gráficos lineares, monologarítmicos (monolog) e dilogarítmicos (dilog), cada um adequado a determinados tipos de dependência funcional.

Em relação aos gráficos lineares, quando duas grandezas apresentam uma relação descrita por uma função afim, essa relação pode ser expressa pela equação:

$$y = ax + b, \quad (1)$$

a representação adequada é o gráfico em escala linear–linear, no qual ambas as variáveis são expressas em escalas proporcionais. Nessa configuração, os dados experimentais alinham-se ao longo de uma reta, cujo coeficiente angular traduz a taxa de variação entre as variáveis, enquanto o termo independente indica o valor inicial ou condição de contorno do fenômeno analisado. A Figura 2 apresenta um exemplo de gráfico linear descrito pela função ($y = ax + b$), destacando o significado do coeficiente angular e do termo independente na interpretação dos dados.

Figura 2: Representação de uma relação linear entre duas grandezas físicas em escala linear–linear.



Fonte: Autoria própria.

Essa forma de representação possibilita a determinação direta dos parâmetros físicos envolvidos, conferindo objetividade à interpretação dos resultados. Em diferentes domínios da Física, como na mecânica, ao analisar a relação entre força e deformação elástica; no eletromagnetismo, ao investigar a dependência entre corrente elétrica e diferença de potencial; ou na cinemática, ao examinar o deslocamento em função do tempo em movimentos uniformes, o gráfico linear constitui instrumento essencial para evidenciar proporcionalidades e validar modelos teóricos. Assim, a escala linear–linear não apenas organiza visualmente os dados, mas também estrutura a compreensão quantitativa das leis que regem relações lineares entre grandezas físicas.

4 A EDUCAÇÃO INCLUSIVA SOB A PERSPECTIVA DA TEORIA SOCIOCULTURAL DE VYGOTSKY

4.1 Fundamentos da Teoria Sociocultural de Vygotsky

A teoria sociocultural de Lev Semyonovich Vygotsky (1896–1934) constitui um dos referenciais mais fecundos para compreender os processos de aprendizagem humana, especialmente em contextos educacionais marcados pela diversidade. Desenvolvida no início do século XX, em diálogo crítico com o behaviorismo e com as concepções inatistas predominantes na época, a obra vygotskyana propõe que o desenvolvimento cognitivo não é um processo interno e solitário, mas fundamentalmente social, histórico e culturalmente mediado (VYGOTSKY, 2007).

Na perspectiva de Vygotsky, o processo de aprendizagem tem origem no plano social, sendo inicialmente constituído nas interações estabelecidas entre os indivíduos para, posteriormente, ser internalizado e reconstruído no plano individual. Esse princípio, formulado na Lei Geral do Desenvolvimento Cultural, evidencia que o conhecimento não surge de maneira isolada, mas é produzido coletivamente antes de integrar os processos psicológicos do sujeito.

Nessa direção, Oliveira (1993), ao interpretar a obra de Vygotsky, destaca que o desenvolvimento humano é resultado de um processo sócio-histórico, no qual a linguagem, a mediação e as interações sociais desempenham papel fundamental na formação das funções psicológicas superiores. No contexto da educação inclusiva, esses pressupostos reforçam a importância de ambientes de aprendizagem que valorizem a participação de todos os estudantes, reconhecendo a diversidade de experiências, formas de percepção e modos de aprender como fatores que enriquecem o processo educativo. Assim, a convivência entre estudantes com diferentes características favorece a construção coletiva do conhecimento e amplia as possibilidades de aprendizagem (MANTOAN, 2015).

Um dos pilares centrais da teoria é o conceito de mediação. Para Vygotsky, o ser humano não se relaciona diretamente com o mundo físico, mas por intermédio de instrumentos e signos, ferramentas culturais que mediam a relação entre o sujeito e o objeto do conhecimento. Os instrumentos atuam sobre o mundo externo, enquanto os signos, sobretudo a linguagem, organizam o pensamento e possibilitam a construção e a comunicação do conhecimento. No ensino de Física, essa perspectiva tem implicações diretas: gráficos, equações, representações experimentais e gráficos táteis constituem importantes recursos de mediação que, quando articulados à ação

pedagógica do professor, favorecem a compreensão de conceitos abstratos por meio de diferentes formas de representação. Como destaca Oliveira (1993), a mediação não se reduz ao uso de recursos ou ferramentas, mas corresponde a um processo de interação social no qual o sujeito se apropria dos conhecimentos historicamente produzidos, promovendo o desenvolvimento das funções psicológicas superiores (VYGOTSKY, 2007; OLIVEIRA, 1993).

O conceito de Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) representa outra contribuição seminal da teoria. Vygotsky (2007) define a ZDP como a distância entre o nível de desenvolvimento real do estudante, aquilo que ele já é capaz de realizar de forma autônoma, e o nível de desenvolvimento potencial, aquilo que ele pode alcançar com a mediação de um par mais experiente. A aprendizagem, portanto, não se organiza em função do que o aluno já sabe, mas do que ele pode vir a saber. Essa concepção desloca o foco pedagógico da limitação para o potencial, orientando o planejamento docente para a criação de situações que operem na ZDP, desafiando o estudante sem impor obstáculos intransponíveis.

4.2 Mediação Pedagógica e Inclusão no Ensino de Física

À luz desses pressupostos, é possível compreender que a teoria histórico-cultural oferece importantes contribuições para a educação inclusiva. No ensino de Física, a mediação docente, a colaboração entre os estudantes e o uso de diferentes estratégias e recursos pedagógicos ampliam as oportunidades de aprendizagem ao reconhecer que o desenvolvimento ocorre nas interações sociais. Nessa perspectiva, as diferenças entre os estudantes deixam de ser entendidas como limitações e passam a orientar a construção de práticas pedagógicas que favoreçam a participação e a aprendizagem de todos (OLIVEIRA, 1993; MANTOAN, 2015).

No ensino de Física, o papel do professor como mediador assume especial relevância quando se considera a presença de estudantes com deficiência visual. A Física escolar estrutura-se, em grande medida, por representações predominantemente visuais, como gráficos cartesianos, diagramas de circuitos, vetores e esquemas de campos. Nesse contexto, a simples exposição oral dos conteúdos nem sempre é suficiente para favorecer a compreensão conceitual. Torna-se necessário um processo intencional de mediação pedagógica, no qual o professor reorganiza essas representações em formatos acessíveis, preservando seus significados científicos e articulando diferentes formas de representação que

possibilitem aos estudantes compreender os fenômenos físicos por múltiplos canais sensoriais (VYGOTSKY, 1998; SÁ; CAMPOS; SILVA, 2007).

A importância dessa mediação é evidenciada por Camargo, Nardi e Veraszto (2008), que analisaram as dificuldades comunicacionais entre licenciandos e estudantes com deficiência visual em aulas de Óptica. Os autores demonstraram que a linguagem empregada pelos futuros professores era fortemente apoiada em referenciais visuais e em estruturas semântico-sensoriais centradas na visão, constituindo uma barreira para a participação e para a compreensão dos conteúdos pelos estudantes cegos. Os resultados do estudo indicam que a promoção da participação desses estudantes não depende apenas da disponibilização de recursos didáticos acessíveis, mas também da reorganização das estratégias de comunicação e da mediação pedagógica, de modo que diferentes formas de representação possam ser utilizadas para favorecer o acesso aos conceitos científicos (CAMARGO; NARDI; VERASZTO, 2008).

Conforme indicado na proposta didática desenvolvida neste trabalho, ao apresentar o gráfico $V \times I$ da Lei de Ohm a um estudante com deficiência visual, não basta afirmar que a linha é crescente: é necessário explicitar que o eixo horizontal representa a corrente elétrica em miliampères e o eixo vertical representa a tensão em volts; que a inclinação constante da reta traduz a proporcionalidade direta entre essas grandezas; e que esse comportamento linear é precisamente o que caracteriza um condutor ôhmico (Figura 3).

A apostila elaborada no âmbito desta pesquisa constitui um exemplo de como a mediação pedagógica intencional pode ser organizada e favorecida no contexto escolar. Ao orientar que estudantes com deficiência visual realizem as atividades experimentais utilizando multímetros com saída de áudio ou com o apoio de colegas responsáveis pela leitura oral dos valores obtidos (Apêndice F, Apostila, Seção 12), o material didático cria condições para que professores e estudantes estabeleçam interações mediadas pela linguagem e pela colaboração. Nessa perspectiva, em consonância com a teoria sociocultural de Vygotsky, não é o recurso didático que realiza a mediação, mas a ação intencional dos sujeitos, que, por meio das interações sociais e da utilização de instrumentos e signos culturalmente produzidos, favorecem a apropriação dos conceitos científicos.

Nessa perspectiva, tanto a atuação do professor quanto a colaboração entre pares assumem papel fundamental na construção do conhecimento e no

desenvolvimento das funções psicológicas superiores. Desse modo, a diversidade sensorial presente na sala de aula deixa de ser compreendida como uma limitação ao processo educativo e passa a ser reconhecida como um elemento potencializador das interações, favorecendo práticas pedagógicas mais inclusivas, colaborativas e acessíveis.

A construção de conceitos científicos em contextos inclusivos requer a integração de diferentes formas de representação e aprendizagem, articulando linguagem verbal, exploração tátil, experimentação e formalização matemática. Na atividade experimental desenvolvida nesta pesquisa, o estudante com deficiência visual interage ativamente com o material didático por meio da exploração tátil de um plano cartesiano confeccionado em impressora 3D. Ao percorrer os eixos com os dedos, identificar as divisões da escala, localizar os pontos experimentais e traçar a reta de ajuste com o auxílio de uma régua, o estudante participa de um processo de investigação que mobiliza simultaneamente percepção, ação e reflexão. Mais do que um recurso de acessibilidade, essa experiência constitui uma forma concreta de mediação pedagógica, permitindo que a compreensão da relação funcional entre tensão elétrica e corrente elétrica seja construída a partir da interação direta com os dados experimentais.

Nessa perspectiva, a dimensão corporal e cinestésica não substitui a elaboração conceitual, mas atua como fundamento para sua consolidação, favorecendo a formação de representações mentais significativas que antecedem e sustentam a posterior formalização algébrica da Lei de Ohm. Esse processo encontra respaldo na teoria sociocultural de Vygotsky, segundo a qual a apropriação dos conceitos científicos é favorecida pelas interações sociais intencionalmente organizadas, nas quais professores e estudantes mobilizam instrumentos e signos culturalmente produzidos para construir significados. Nessa perspectiva, os gráficos táteis constituem instrumentos culturais que potencializam essas interações, sem que a mediação esteja no recurso em si. Tal compreensão também é corroborada pelos estudos de Silva, Pinto Neto e Carvalho (2025), que evidenciam o potencial dos gráficos táteis para a apropriação de conceitos científicos por estudantes com deficiência visual (VYGOTSKY, 2007; SILVA; PINTO NETO; CARVALHO, 2025).

Esse percurso metodológico encontra respaldo, ainda, na perspectiva das múltiplas representações no ensino de ciências. Ainsworth (2006), ao propor o framework DeFT (*Design, Functions, Tasks*), argumenta que o uso combinado de

representações externas distintas como, por exemplo, verbais, gráficas, táteis, sonoras serve a três funções complementares: restringir interpretações equivocadas, complementar informações que uma única representação não poderia veicular isoladamente, e construir compreensão mais profunda por meio da integração entre os diferentes formatos. No ensino de Física inclusivo, esse princípio se traduz na oferta deliberada de múltiplos canais de acesso ao mesmo conceito, superando a dependência exclusiva do visual (AINSWORTH, 2006).

4.3 Vygotsky e a Educação de Estudantes com Deficiência Visual

Entre as contribuições de Vygotsky para a compreensão do desenvolvimento humano destaca-se a Defectologia, área dedicada ao estudo do desenvolvimento e da educação de pessoas com deficiência. Diferentemente das concepções que compreendiam a deficiência como uma limitação insuperável ou uma tragédia individual, Vygotsky entende que ela não determina as possibilidades de desenvolvimento do sujeito, mas exige a construção de caminhos alternativos, mediados pelas relações sociais, pela cultura e pela educação. No caso da pessoa com deficiência visual, a ausência da visão não implica incapacidade cognitiva; ao contrário, por meio da mediação social e do acesso a instrumentos e signos culturalmente produzidos, podem ser desenvolvidas formas alternativas de percepção, orientação espacial e construção de significados, apoiadas principalmente na exploração tátil, auditiva e cinestésica (VIGOTSKI, 2022).

Essa compreensão está fundamentada no conceito de compensação social da deficiência. Para Vygotsky, a compensação não ocorre no plano biológico, como defendiam teorias que atribuíam aos demais sentidos um desenvolvimento extraordinário para suprir a perda visual. Ao contrário, ela se realiza no plano social e cultural, por meio das interações, das mediações pedagógicas e dos instrumentos disponibilizados ao estudante. Assim, o desenvolvimento cognitivo da pessoa com deficiência visual depende menos da ausência da visão e mais das oportunidades de aprendizagem oferecidas pelo contexto social.

Como sintetizam Lima, Rossetto e Castro (2020, p. 25982), Vygotski compreende que não é o defeito em si que define os limites do desenvolvimento do sujeito, mas sim o contexto social que a cerca. A deficiência produz dificuldades reais, mas é a sociedade, com suas barreiras e recursos, que determina se essas dificuldades se traduzem em exclusão ou em desenvolvimento por caminhos

alternativos. Nessa perspectiva, a escola desempenha papel central ao criar condições para que tais caminhos alternativos possam se desenvolver.

A oferta de recursos acessíveis, como gráficos táteis, audiodescrição, materiais em Braille e tecnologias assistivas, constitui um exemplo concreto dessa função compensatória. Ao disponibilizar instrumentos adequados às diferentes formas de percepção, a escola favorece a participação ativa dos estudantes e amplia suas possibilidades de aprendizagem. Desse modo, a deficiência visual deixa de ser compreendida como um obstáculo cognitivo e passa a representar um desafio pedagógico que demanda criatividade, planejamento e compromisso com a inclusão (VIGOTSKI, 2022; MANTOAN, 2015).

Nessa mesma direção, Ruppel, Hansel e Ribeiro (2021) destacam que a teoria histórico-cultural evidencia a necessidade de reorganizar as práticas pedagógicas para que todos os estudantes tenham acesso aos processos de construção do conhecimento. Nessa perspectiva, as diferenças individuais deixam de ser compreendidas como obstáculos intransponíveis e passam a orientar a adoção de estratégias de ensino que ampliem as possibilidades de aprendizagem. Assim, não cabe ao estudante adaptar-se a um currículo concebido para um único perfil sensorial; cabe à instituição escolar transformar suas práticas para assegurar a participação de todos. Essa mudança de foco, da adaptação do indivíduo para a transformação do ambiente educacional, constitui um dos legados mais significativos da Defectologia para a educação contemporânea.

Esses pressupostos encontram respaldo nas pesquisas de Éder Pires de Camargo, pesquisador da Universidade Estadual Paulista (UNESP), cuja produção constitui uma das principais referências brasileiras no campo do ensino de Física para estudantes com deficiência visual. Em seus estudos, Camargo demonstra que grande parte das dificuldades enfrentadas por esses estudantes decorre de barreiras comunicacionais, pedagógicas e atitudinais presentes nos processos de ensino, e não de limitações cognitivas associadas à deficiência. Ao evidenciar que a compreensão dos conceitos físicos depende da construção de significados e de relações conceituais, e não da utilização exclusiva da percepção visual, o autor reforça a necessidade de práticas pedagógicas que mobilizem diferentes formas de representação e comunicação do conhecimento científico, em consonância com os pressupostos da teoria histórico-cultural de Vygotsky (CAMARGO, 2008; NARDI, 2010).

A convergência entre a Defectologia de Vygotsky e as pesquisas de Camargo evidencia que a superação das barreiras no ensino de Física para estudantes com deficiência visual não apenas é possível, como também beneficia o processo educativo de toda a turma. Ao planejar estratégias que contemplem diferentes formas de representação, como audiodescrição, modelos táteis e recursos multimodais, o professor amplia as possibilidades de compreensão dos fenômenos físicos e torna as relações conceituais mais explícitas, acessíveis e significativas para todos os estudantes (CAMARGO, 2016; AINSWORTH, 2006).

4.4 Recursos Táteis e Representações Acessíveis na Aprendizagem de Física

A aplicação dos princípios vygotskianos ao ensino de Física para estudantes com deficiência visual encontra sua expressão mais concreta no desenvolvimento de recursos táteis como instrumentos culturais que integram o processo de mediação pedagógica. Na perspectiva da teoria sociocultural, um gráfico tátil não é uma mera versão adaptada de um gráfico visual, mas uma forma de representação elaborada para possibilitar o acesso e a construção de significados sobre os fenômenos físicos por meio da exploração tátil, em articulação com a linguagem, as interações sociais e a ação pedagógica intencional. Sua eficácia pedagógica não reside apenas na fidelidade geométrica ao modelo visual, mas na capacidade de comunicar relações conceituais quando utilizado em situações de ensino que mobilizam diferentes formas de representação do conhecimento científico (SILVA; PINTO NETO; CARVALHO, 2025).

Nesse sentido, Gonçalves *et al.* (2024), ao analisarem a mediação vigotskiana no ensino de ciências para estudantes com deficiência visual por meio de audioguias, demonstraram que ferramentas pedagógicas adequadas, quando planejadas intencionalmente para atuar na Zona de Desenvolvimento Iminente¹, denominação empregada pelos autores para a ZDP, potencializam o desenvolvimento do aprendiz para além de suas capacidades autônomas. Esse princípio se aplica diretamente à proposta dos gráficos táteis: ao mediar a relação do estudante cego com as representações gráficas da Física, o instrumento tátil opera na ZDP, permitindo que o

¹ Gonçalves *et al.* (2024) utilizam a expressão Zona de Desenvolvimento Iminente como tradução/interpretação do conceito originalmente formulado por Vygotsky e tradicionalmente difundido na literatura brasileira como Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP).

estudante acesse conceitos que, sem essa mediação, permaneceriam inacessíveis (GONÇALVES *et al.*, 2024; VYGOTSKY, 2007).

O protocolo de construção de gráficos táteis apresentado na apostila inclusiva deste trabalho (Apêndice F, Apostila, Seção 14) exemplifica de maneira concreta o papel dos instrumentos de mediação no processo de aprendizagem. Sua estrutura é composta por diferentes recursos que atuam de forma integrada para possibilitar a representação gráfica acessível e a construção de conceitos científicos. A prancheta com pinos garante o alinhamento espacial; a folha de EVA fornece a base amortecedora para a punção; a folha A4 (180 g/m²) para registro das marcações em baixo-relevo que, ao ser invertida, resultam em pontos em alto-relevo legíveis pelo tato; e o plano cartesiano tátil produzido em impressora 3D (PCT-3D) funciona como referencial de escala, permitindo ao estudante converter valores numéricos em posições espaciais concretas. Em conjunto, esses recursos integram um processo de mediação pedagógica que possibilita ao estudante explorar, organizar e interpretar informações gráficas por meio do tato, em articulação com a linguagem, as interações sociais e a orientação docente.

Sob a perspectiva vygotskyana, esses materiais podem ser compreendidos como instrumentos culturais mobilizados nas práticas educativas, contribuindo para estabelecer relações entre o sujeito e o objeto de conhecimento. Nesse contexto, a utilização intencional desses recursos favorece a compreensão da relação funcional entre tensão elétrica e corrente elétrica descrita pela Lei de Ohm, possibilitando a construção de significados científicos por meio da participação ativa do estudante na análise dos dados experimentais e na interpretação de suas representações gráficas.

O procedimento de escalonamento apresentado na apostila constitui um elemento fundamental do processo de mediação pedagógica proposto nesta pesquisa. Ao orientar o estudante a utilizar uma tabela de escalonamento para converter os valores experimentais obtidos em posições correspondentes no PCT-3D, de modo que cada divisão represente um intervalo previamente definido de corrente elétrica ou de tensão (Apêndice F, Apostila, Seção 14.2), o material didático estabelece uma ponte entre a representação numérica das grandezas físicas e sua representação espacial acessível ao tato. Nessa perspectiva, a tabela de escalonamento atua como um instrumento semiótico mediador, possibilitando a transformação de conceitos abstratos, expressos em unidades de medida como volts e miliampères, em referências espaciais concretas passíveis de exploração tátil. Tal

processo configura-se como uma atividade cognitiva complexa, envolvendo a compreensão de relações proporcionais, o domínio do conceito de escala e a articulação entre representações numéricas e espaciais. Dessa forma, o escalonamento não apenas viabiliza a construção do gráfico tátil, mas também favorece o desenvolvimento de habilidades de interpretação e representação de fenômenos físicos, promovendo uma aprendizagem mais significativa e acessível.

Ao mediar esse processo com linguagem verbal estruturada, o docente opera diretamente na ZDP do estudante, guiando-o até que a operação possa ser realizada de forma autônoma. Essa progressão, da execução assistida à execução independente, é precisamente a trajetória do desenvolvimento cognitivo descrita por Vygotsky (2007): o que hoje o estudante faz com apoio, amanhã fará sozinho, pois a mediação deixa traços internalizados no funcionamento psicológico (VYGOTSKY, 2007; OLIVEIRA, 1993).

Sob a perspectiva das múltiplas representações, Ainsworth (2006) argumenta que a aprendizagem se aprofunda quando o estudante tem acesso a diferentes formas de representação do mesmo conceito, pois cada formato revela aspectos distintos da estrutura conceitual subjacente. No contexto deste trabalho, o estudante com deficiência visual acessa a relação $V \times I$ pela via tátil (gráfico em alto-relevo), pela via verbal (audiodescrição e explicação do professor), pela via algébrica (a equação da lei de Ohm em Braille CMU) e pela via cinestésica (montagem do circuito e operação dos multímetros). Essa multimodalidade não é uma concessão adaptativa, mas uma estratégia pedagógica de qualidade superior, que é capaz de beneficiar toda a turma ao tornar explícitas as estruturas conceituais que, no ensino convencional, permanecem implícitas nas representações exclusivamente visuais (AINSWORTH, 2006; CAMARGO; NARDI; VERASZTO, 2008).

A perspectiva vygotskiana também esclarece por que a aprendizagem cooperativa é pedagogicamente superior à simples adaptação individual. Quando estudantes videntes descrevem, com precisão conceitual, o comportamento visual do gráfico, isto é, sua inclinação positiva, a linearidade dos pontos, a passagem pela origem, enquanto o estudante com deficiência visual compartilha as percepções táteis obtidas na exploração da grade em alto-relevo, ocorre exatamente o processo descrito pela Lei Geral do Desenvolvimento Cultural: a aprendizagem se inicia no plano interpsicológico, na troca entre pares, e progride para o plano intrapsicológico, na compreensão individualizada do conceito. A turma inteira se beneficia, pois, a

necessidade de tornar explícitas as relações que, no ensino convencional, permanecem implícitas nas representações visuais contribui para a consolidação conceitual de todos os estudantes (VYGOTSKY, 2007; MANTOAN, 2015; AINSWORTH, 2006).

Em síntese, a teoria sociocultural de Vygotsky oferece o fundamento epistemológico que permite compreender o ensino de Física inclusivo não como uma concessão ou adaptação marginal, mas como uma prática pedagógica qualitativamente superior. Ao deslocar o foco da deficiência biológica para as condições sociais de desenvolvimento; ao reconhecer que o aprendizado ocorre pela mediação de instrumentos culturais adequados; ao afirmar que a ZDP é o espaço privilegiado da ação pedagógica; e ao demonstrar pela defectologia que a compensação social depende de uma escola que se reorganize para ofertar caminhos alternativos de desenvolvimento, Vygotsky fornece os alicerces teóricos sobre os quais se assenta a proposta deste trabalho.

5 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DA ELETRODINÂMICA

A Eletrodinâmica integra o currículo de Física do Ensino Médio como um dos domínios fundamentais para a descrição quantitativa do movimento de cargas elétricas, bem como para o estabelecimento das relações entre as grandezas que regem os circuitos elétricos. Entre seus conceitos centrais, destaca-se a Lei de Ohm, caracterizada pela relação linear entre a diferença de potencial aplicada aos terminais de um condutor ôhmico, mantido sob temperatura constante, e a corrente elétrica que o percorre, sendo a resistência elétrica o fator de proporcionalidade dessa relação. Essa lei não apenas sintetiza um comportamento experimental recorrente, mas também constitui a base quantitativa essencial para o projeto e a análise de qualquer circuito de corrente contínua.

5.1 Lei de Ohm: fundamentos teóricos e representação gráfica

Georg Simon Ohm publicou, em 1827, os resultados de investigações experimentais que estabeleceram uma relação quantitativa entre grandezas fundamentais da Eletrodinâmica. A partir de medições controladas de tensão e corrente, verificou que, em condutores metálicos homogêneos submetidos a temperatura constante, a razão entre essas grandezas permanece invariável, definindo uma propriedade característica do material: a resistência elétrica. Essa relação é expressa por:

$$V = R \cdot I. \quad (2)$$

A Tabela 1 apresenta a legenda da notação em Braille utilizada na representação da Lei de Ohm, contemplando os símbolos empregados na equação, suas respectivas correspondências em Braille, as grandezas físicas associadas, sua natureza, unidades de medida no Sistema Internacional e os respectivos significados físicos.

Tabela 1: Legenda da notação em Braille: Lei de Ohm.

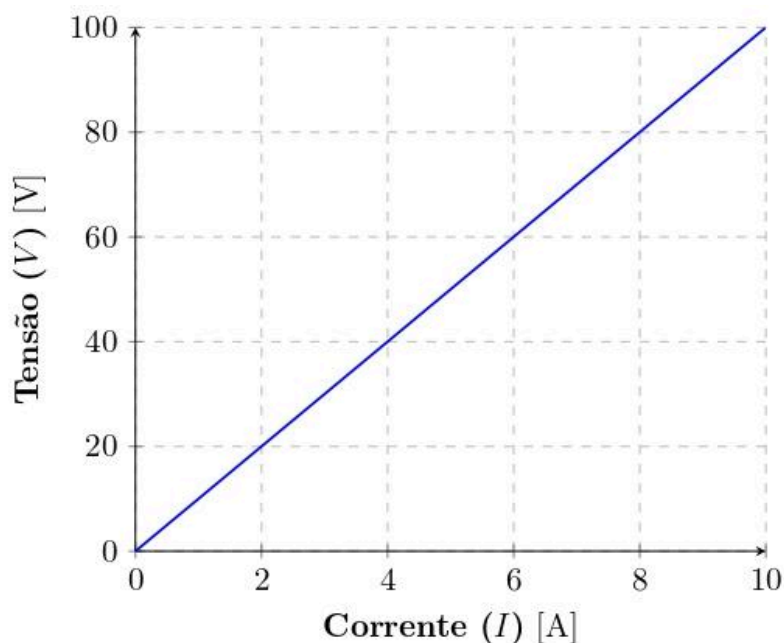
Símbolo	Braille	Grandeza	Natureza	Unidade (S.I.)	Significado Físico
V	⠠⠧⠨	Diferença de potencial (tensão)	Escalar	V (volt)	Trabalho realizado por unidade de carga elétrica entre dois pontos do circuito, responsável por promover o movimento das cargas livres.

Símbolo	Braille	Grandeza	Natureza	Unidade (S.I.)	Significado Físico
R	⠠⠷⠨	Resistência elétrica	Escalar	Ω (ohm)	Oposição que o condutor oferece à passagem da corrente; constante para materiais ôhmicos a temperatura fixa.
I	⠠⠢⠨	Corrente elétrica	Escalar	A (Ampère)	Quantidade de carga elétrica que atravessa a seção transversal do condutor por unidade de tempo.

Fonte: Autoria própria.

Com base na Lei de Ohm, a diferença de potencial V (tensão), medida em volts (V), é proporcional à corrente elétrica I , medida em ampères (A), sendo a resistência elétrica R , expressa em ohms (Ω), o parâmetro que relaciona essas grandezas. Trata-se de uma função linear do tipo $y = a \cdot x + b$, com coeficiente linear $b = 0$, uma vez que, para um condutor ôhmico ideal, a tensão é nula quando a corrente também é nula. Nesse contexto, o coeficiente angular da reta corresponde à própria resistência elétrica R , que expressa, do ponto de vista físico, a oposição do material ao movimento das cargas elétricas, decorrente de colisões microscópicas que dificultam o escoamento da corrente. Graficamente, essa relação é representada por uma reta que passa pela origem, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3: Representação gráfica da relação linear entre a diferença de potencial (V) e a corrente elétrica (I), conforme estabelecido pela Lei de Ohm, evidenciando a proporcionalidade entre as grandezas e a determinação da resistência elétrica pelo coeficiente angular da reta.



Fonte: Autoria própria.

Considerando os valores de tensão e corrente que possam ser obtidos experimentalmente, torna-se conveniente reescrever a Lei de Ohm de modo a explicitar a resistência elétrica como a grandeza de interesse. Essa reorganização favorece a análise da proporcionalidade entre as variáveis medidas e orienta o tratamento dos dados. Manipulando a Equação (2), obtém-se:

$$R = \frac{V}{I}. \quad (3)$$

Para um resistor ôhmico, R permanece constante independentemente dos valores de V e I , o que evidencia uma relação de proporcionalidade direta entre essas grandezas. Conforme ilustrado na Figura 3, essa relação é representada por uma reta no gráfico da tensão em função da corrente, com I no eixo das abscissas e V no eixo das ordenadas, passando pela origem e indicando que, na ausência de corrente, não há diferença de potencial nos terminais do resistor.

No gráfico da tensão em função da corrente ($V \times I$), a resistência elétrica do circuito pode ser determinada pela inclinação da reta obtida, ou seja, pelo seu coeficiente angular. Essa relação corresponde à razão entre a variação da diferença de potencial e a variação da corrente elétrica, sendo expressa por:

$$R = \frac{\Delta V}{\Delta I} = \frac{V_2 - V_1}{I_2 - I_1}. \quad (4)$$

Esse é o princípio central do experimento: em vez de determinar R por uma única medição pontual, coletam-se múltiplos pares (I, V) , plota-se o gráfico e calcula-se a inclinação da reta de ajuste, procedimento que minimiza erros aleatórios e confere maior confiabilidade ao resultado.

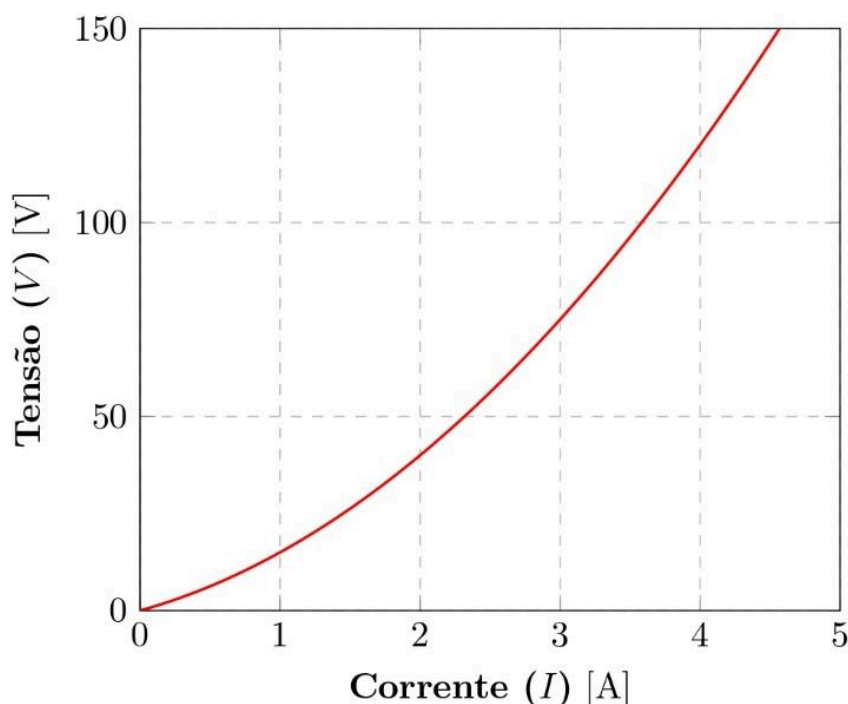
5.1.1 Comportamento ôhmico e não ôhmico

Nem todos os componentes de um circuito seguem a Lei de Ohm. Embora fundamental na eletrodinâmica, a lei afirma que a corrente elétrica I é proporcional à tensão V aplicada, definindo uma resistência R constante sob certas condições. Essa relação linear é, contudo, uma idealização válida apenas para materiais cujas propriedades elétricas permanecem praticamente inalteradas com a variação de tensão ou corrente. Na prática, muitos elementos apresentam comportamento não ôhmico: semicondutores, diodos, lâmpadas incandescentes e resistores sensíveis à temperatura não mantêm resistência constante, exibindo respostas não lineares que dependem de corrente, tensão ou condições ambientais. Portanto, a Lei de Ohm descreve apenas um caso particular do comportamento elétrico, sendo uma ferramenta útil, porém limitada, para analisar circuitos ideais.

Elementos ôhmicos são aqueles para os quais essa razão permanece constante, independentemente da tensão aplicada. Nesses casos, o gráfico $V \times I$ resulta em uma linha reta, indicando linearidade, conforme a Figura 3. Metais como cobre e ligas de níquel-cromo (fio de resistência), comumente utilizados em fios de resistência, apresentam esse comportamento em amplas faixas de temperatura e tensão. A resistência desses condutores, determinada pela expressão $R = V/I$, é chamada resistência estática. Quando avaliada em pequenas variações de corrente ou tensão, também pode ser denominada resistência dinâmica ou diferencial, sendo numericamente equivalente à resistência estática para condutores ôhmicos.

Por outro lado, elementos não ôhmicos, como diodos, LEDs e buzzer, apresentam resistência variável com a tensão aplicada, resultando em um gráfico $V \times I$ curvo, não linear, conforme a Figura 4. Nesses casos, a Lei de Ohm não se aplica diretamente. No entanto, é possível definir uma resistência dinâmica local em pontos específicos da curva, útil para análise de pequenas variações elétricas.

Figura 4: Representação gráfica da relação não linear entre a diferença de potencial (V) e a corrente elétrica (I) em componentes não ôhmicos, evidenciando a variação da resistência elétrica conforme a tensão aplicada.



Fonte: Autoria própria.

Assim, a distinção entre comportamentos ôhmico e não ôhmico pode ser identificada graficamente: resistores lineares geram uma reta, enquanto dispositivos não lineares produzem uma curva.

5.2 Circuitos elétricos

Um circuito elétrico consiste em um conjunto de componentes interligados por materiais condutores, formando um caminho fechado através do qual ocorre o movimento ordenado de cargas elétricas. A existência desse caminho fechado é condição indispensável para o estabelecimento da corrente elétrica. Quando o circuito permanece aberto, isto é, quando existe uma interrupção em qualquer ponto do percurso, as cargas não conseguem completar o trajeto e, conseqüentemente, não há circulação de corrente.

Fisicamente a corrente elétrica corresponde ao movimento orientado dos elétrons livres nos materiais condutores. Esse movimento não ocorre espontaneamente, mas é provocado pela diferença de potencial elétrico estabelecida pela fonte de energia do circuito, normalmente denominada tensão elétrica.

A corrente elétrica é definida matematicamente como a razão entre a quantidade de carga elétrica que atravessa uma seção transversal do condutor e o intervalo de tempo correspondente:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (5)$$

Nessa expressão, I representa a intensidade da corrente elétrica, ΔQ corresponde à carga elétrica que atravessa uma seção transversal do condutor e Δt representa o intervalo de tempo durante o qual ocorre esse transporte.

Em eletrodinâmica, a corrente elétrica quantifica o fluxo de portadores de carga que transpõem uma seção transversal do condutor em determinado intervalo de tempo. Quanto maior o número dessas cargas que atravessam esse ponto a cada unidade de tempo, mais intensa é a corrente elétrica estabelecida no circuito.

Nos materiais metálicos, a condução elétrica ocorre por meio dos elétrons livres existentes na rede cristalina. Em condições de equilíbrio térmico, esses elétrons encontram-se em permanente agitação térmica, descrevendo trajetórias caóticas e desordenadas. Contudo, ao submeter o condutor a uma diferença de potencial, instaura-se um campo elétrico interno que atua sobre essas partículas, superpondo ao movimento aleatório um deslocamento médio orientado, conhecido como velocidade de deriva. Embora essa velocidade de deriva assuma valores relativamente baixos, a propagação da perturbação do campo elétrico ao longo do circuito ocorre com velocidade próxima à da luz, razão pela qual os efeitos elétricos manifestam-se de forma praticamente instantânea após o fechamento do interruptor.

Sob a ótica energética, a fonte de tensão realiza trabalho elétrico sobre os portadores de carga, fornecendo-lhes energia potencial elétrica suficiente para vencer a oposição dos elementos receptores ao longo do circuito. Essa energia, então, é transformada nos dispositivos conectados, podendo ser convertida em energia térmica, por meio do efeito Joule, energia luminosa, energia sonora ou energia mecânica, dependendo da natureza da carga.

Os componentes de um circuito podem ser associados de diferentes maneiras, sendo as ligações em série e em paralelo.

5.2.1 Circuito em série

Na associação em série existe apenas um caminho possível para o movimento das cargas elétricas. Consequentemente, a corrente elétrica possui o mesmo valor em todos os elementos do circuito.

$$I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I \quad (6)$$

A energia potencial que é distribuída pela fonte é direcionada para os componentes de tal forma que:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots \quad (7)$$

Em uma associação em série, a resistência equivalente (R_{eq}) é calculada pela soma das resistências dos resistores que compõem o circuito, conforme a expressão a seguir:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots \quad (8)$$

Fisicamente, isso significa que cada resistor acrescenta uma nova oposição ao movimento das cargas, aumentando a resistência total do circuito. É justamente essa configuração que será utilizada ao longo deste experimento.

5.2.2 Circuito em paralelo

Quando tratamos de uma associação em paralelo temos componentes que devem permanecer submetidos à mesma diferença de potencial.

$$V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V \quad (9)$$

Já a corrente elétrica se divide entre os ramos do circuito,

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots \quad (10)$$

Já a resistência equivalente para os resistores em paralelos é determinada por

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots \quad (11)$$

Essa configuração apresenta resistência equivalente inferior ao menor resistor da associação, pois oferece caminhos adicionais para a circulação das cargas elétricas.

5.3 Funcionamento físico das pilhas eletroquímicas

As pilhas são dispositivos capazes de converter energia química em energia elétrica por meio de reações espontâneas de oxidação e redução, denominadas reações de oxirredução. Durante esse processo, ocorre transferência de elétrons entre dois materiais metálicos distintos, originando uma diferença de potencial responsável pela movimentação das cargas elétricas no circuito externo.

Uma pilha eletroquímica é constituída por dois eletrodos metálicos de materiais distintos, imersos em um eletrólito capaz de conduzir íons, e por um circuito externo que possibilita o fluxo de elétrons entre os eletrodos. A interação entre esses elementos permite a ocorrência das reações eletroquímicas responsáveis pela conversão da energia química em energia elétrica.

No experimento desenvolvido neste trabalho, utilizam-se eletrodos de cobre e zinco imersos em uma solução eletrolítica constituída por água sanitária diluída. O zinco apresenta maior tendência à oxidação quando comparado ao cobre. Assim, os átomos de zinco perdem elétrons espontaneamente, transformando-se em íons dissolvidos na solução eletrolítica.

O eletrodo de zinco constitui o ânodo da pilha, onde ocorre a reação de oxidação. Durante esse processo, os átomos de zinco perdem elétrons, que não atravessam a solução eletrolítica. Esses elétrons percorrem o circuito externo em direção ao eletrodo de cobre, denominado cátodo, estabelecendo o fluxo de corrente elétrica responsável pelo fornecimento de energia aos dispositivos conectados ao circuito.

No eletrodo de cobre, denominado cátodo, ocorre a reação de redução, na qual espécies químicas presentes no eletrólito recebem os elétrons provenientes do circuito externo. A ocorrência simultânea das reações de oxidação no ânodo e de redução no cátodo estabelece uma diferença de potencial elétrico entre os eletrodos, denominada força eletromotriz da pilha. Essa grandeza corresponde ao trabalho realizado pelas forças de origem química para deslocar uma unidade de carga elétrica através do circuito, representando, portanto, a energia disponibilizada pela pilha por unidade de carga elétrica transportada, conforme expresso na Equação 12:

$$\varepsilon = \frac{W}{Q} \quad (12)$$

Nessa expressão, ε representa a força eletromotriz da pilha, W corresponde ao trabalho realizado pelas forças de origem química associadas às reações de oxidação e redução, enquanto Q representa a quantidade de carga elétrica transportada entre os eletrodos.

Embora frequentemente chamada de "tensão da pilha", a força eletromotriz corresponde ao valor máximo de diferença de potencial que a pilha pode fornecer quando não há circulação de corrente.

Quando a pilha alimenta um circuito elétrico, parte da energia produzida é dissipada em sua resistência interna, simbolizada por r . Em consequência, a tensão efetivamente disponível nos terminais da pilha torna-se inferior à força eletromotriz, sendo descrita por:

$$V = \varepsilon - rI \quad (13)$$

Nas pilhas caseiras utilizadas neste experimento, a resistência interna é significativamente maior que a observada em pilhas comerciais. Essa característica decorre das propriedades do eletrólito, das dimensões dos eletrodos e das limitações das reações químicas envolvidas. Consequentemente, pequenas variações na corrente elétrica podem provocar reduções perceptíveis na tensão disponível nos terminais da pilha.

Na associação em série de pilhas eletroquímicas, as forças eletromotrizes de cada elemento são aditivas, resultando em uma diferença de potencial total aproximadamente igual à soma das tensões fornecidas por cada pilha individual, conforme expresso na Equação 14:

$$\varepsilon_{eq} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \cdots + \varepsilon_n \quad (14)$$

Da mesma maneira que as resistências internas se somam como visto na equação

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + \cdots R_n \quad (15)$$

Essa propriedade fundamenta o procedimento experimental adotado nesta pesquisa, no qual a associação sucessiva de pilhas eletroquímicas caseiras promove o aumento gradual da diferença de potencial aplicada aos elementos do circuito, possibilitando investigar a relação entre tensão elétrica e corrente elétrica. As pilhas atuam como fonte de força eletromotriz, convertendo energia química em energia elétrica, enquanto o resistor ôhmico e o buzzer ativo funcionam como elementos receptores, transformando essa energia, respectivamente, em energia térmica por efeito Joule e em energia sonora por meio de seu circuito oscilador e transdutor piezoelétrico. Além de subsidiar a análise experimental da Lei de Ohm, essa configuração permite compreender que o comportamento elétrico do circuito está diretamente relacionado às características da fonte eletroquímica e dos componentes conectados a ela.

6 ABORDAGEM EXPERIMENTAL E REPRESENTAÇÃO TÁTIL EM ELETRODINÂMICA: ANÁLISE DA LEI DE OHM EM DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DE CIRCUITOS

A abordagem experimental delineada neste trabalho tem como objetivo a determinação da resistência elétrica de um circuito por meio da análise da inclinação da reta obtida no gráfico da diferença de potencial em função da corrente elétrica ($V \times I$). O procedimento fundamenta-se na construção de pilhas eletroquímicas pelos próprios estudantes, empregando materiais de baixo custo, como garrafas PET, solução de água sanitária, eletrodos de cobre e zinco. Essa estratégia confere à atividade um caráter investigativo e formativo, ao evidenciar, de maneira concreta, a conversão de energia química em energia elétrica. Ademais, ao envolver os estudantes na montagem do sistema, o experimento favorece a construção coletiva do conhecimento, ao mesmo tempo em que promove maior engajamento e compreensão dos fenômenos físicos envolvidos.

A determinação gráfica da resistência elétrica pode ser incorporada ao ensino de estudantes com deficiência visual sem prejuízo do rigor experimental que caracteriza essa prática. O sistema de representação tátil desenvolvido neste trabalho, composto por um plano cartesiano produzido em impressora 3D, papel de 180 g/m² e punção, permite o registro dos pares ordenados correspondentes à corrente elétrica e à diferença de potencial, bem como a construção e análise do gráfico experimental. A reta obtida a partir dos dados coletados fornece os elementos necessários para a identificação do coeficiente angular, cuja interpretação física corresponde à resistência elétrica do condutor investigado. O aspecto mais relevante desse procedimento não reside apenas na acessibilidade do recurso empregado, mas na preservação das operações cognitivas envolvidas na atividade científica. O estudante registra medidas, organiza dados, representa relações funcionais e interpreta parâmetros físicos a partir de evidências experimentais, mobilizando os mesmos conceitos e raciocínios requeridos em atividades desenvolvidas por estudantes videntes. Nessa perspectiva, a adaptação dos meios de representação não altera a natureza do conhecimento construído, mas amplia as condições de acesso a ele, reafirmando o potencial dos gráficos táteis como instrumentos de aprendizagem em contextos inclusivos (SILVA; PINTO NETO; CARVALHO, 2025).

A comparação entre os resultados obtidos pelos diferentes procedimentos, seja por meio do papel milimetrado ou de aplicativos digitais, no caso de estudantes

videntes, seja pelo uso do gráfico tátil, no caso do estudante com deficiência visual, evidencia que ambas as abordagens conduzem a resultados equivalentes. Essa convergência reforça não apenas a validade do método experimental, mas também o caráter inclusivo da atividade, ao demonstrar que distintos recursos podem garantir aprendizagens em condições de equidade.

Adicionalmente, o experimento incorpora uma etapa comparativa entre um resistor, representando um elemento ôhmico, e um buzzer ativo, caracterizado como não ôhmico. Essa abordagem possibilita que os estudantes analisem, por meio da construção de gráficos, as diferenças no comportamento elétrico de cada componente. Enquanto o resistor apresenta uma relação linear entre tensão e corrente, o buzzer ativo evidencia uma resposta não linear, o que permite discutir, de forma concreta, os limites de validade da Lei de Ohm. Dessa maneira, a atividade amplia a compreensão conceitual dos estudantes, ao evidenciar que a lei não é universalmente aplicável, mas depende das propriedades físicas dos materiais envolvidos.

6.1 Materiais utilizados na prática experimental

6.1.1 Materiais para a construção das pilhas caseiras

Cada pilha caseira é uma célula eletroquímica simples, em que a reação entre o eletrólito básico e os eletrodos metálicos gera uma diferença de potencial de aproximadamente 0,9 V a 1,2 V, dependendo da concentração da solução e do estado de oxidação dos eletrodos. Os materiais necessários para a construção de quatro células são:

- Água sanitária ou suco de limão, como eletrólito – aproximadamente 100 ml por célula;
- Água, para solução eletrolítica – aproximadamente 200 ml por célula;
- 4 Copos ou garrafas plásticos com capacidade de 300 ml;
- 4 Pedacos de fio de cobre encapado – eletrodo positivo (cátodo);
- 4 Parafusos ou barras roscada galvanizados (revestidos de zinco) – eletrodo negativo (ânodo);
- Fios condutores com garras jacaré para interligar as células em série.

6.1.2 Materiais para a montagem do circuito

- Resistor de valor fixo: 10 Ω , 220 Ω ou 330 Ω (verificar o valor real com multímetro antes do experimento);
- Buzzer ativo;

- Multímetro digital na função amperímetro (escala mA) – ligado em série;
- Multímetro digital na função voltímetro – ligado em paralelo ao resistor;
- Fios de conexão com garras jacaré;
- Protoboard (opcional, facilita as conexões sem solda).

6.1.3 Materiais para o gráfico tátil

- Kit de Gráfico Tátil: composto por prancheta de pinos, folha de EVA perfurada, folha de papel A4 com gramatura de 180 g/m² perfurada e o dispositivo PCT-3D (Plano Cartesiano Tátil em 3D), punção e régua;
- Tabela com os dados experimentais;
- Apostila intitulada "Guia Teórico-Experimental para a Construção de Gráficos Táteis: Primeira Lei de Ohm" (disponível no Apêndice F).

6.2 Experimento: construção das pilhas e coleta de dados

O princípio de funcionamento das pilhas caseiras baseia-se na diferença de potencial eletroquímico entre dois metais distintos (cobre e zinco) imersos em uma solução eletrolítica ácida. O zinco, por ser mais ativo eletroquimicamente, oxida-se preferencialmente, liberando elétrons que fluem pelo circuito externo em direção ao eletrodo de cobre. O eletrólito (água sanitária ou suco de limão) permite o transporte iônico interno, fechando o circuito elétrico. Cada célula assim montada funciona como uma fonte de força eletromotriz de baixa tensão.

6.2.1 Construção das pilhas caseiras

O procedimento de montagem de cada célula é:

1. Preparação dos recipientes

Utilize quatro garrafas plásticas transparentes. Em cada garrafa, faça marcações de volume utilizando ligas elásticas posicionadas externamente.

- As ligas devem ser colocadas a cada 100 mL;
- Ao final, cada garrafa deve possuir três ligas, correspondentes aos níveis de 100 mL, 200 mL e 300 mL;

Essas marcações permitem a percepção tátil do volume, auxiliando especialmente estudantes com deficiência visual na compreensão de proporcionalidade.

2. Preparação da solução eletrolítica

Em cada garrafa, adicione:

- 200 mL de água (2/3 do volume total);
- 100 mL de água sanitária ou água sanitária (1/3 do volume).

Misture suavemente para homogeneizar a solução.

3. Preparo e fixação dos eletrodos nas tampas

Em cada tampa, realize dois furos separados, com distância suficiente entre si para evitar contato entre os eletrodos. Em seguida:

- Insira a barra de cobre em um dos furos;
- Insira o eletrodo de zinco (parafuso ou barra) no outro furo;
- Fixe ambos de forma firme, garantindo que não haja folgas;
- Deixe aproximadamente 1 cm de cada eletrodo exposto para fora da tampa;
- Ao fechar a garrafa, certifique-se de que as extremidades internas dos eletrodos fiquem imersas na solução;
- Verifique se os eletrodos não se encostam, evitando assim curto-circuito interno.

4. Repetição do procedimento

Repita as etapas anteriores (1 a 3) para as quatro garrafas, de modo que cada uma funcione como uma célula eletroquímica independente.

O procedimento de montagem de cada célula é realizado de forma sistemática, conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5: Montagem das pilhas caseiras: células eletroquímicas com eletrólito básico (água sanitária), eletrodo de cobre e eletrodo de zinco.



Fonte: Autoria própria.

Para o estudante com deficiência visual, a distinção tátil entre os eletrodos pode ser realizada pela diferença de textura: o fio de cobre tem superfície lisa, enquanto o parafuso galvanizado tem superfície rugosa e rosqueada. O professor deve descrever verbalmente a montagem e, sempre que possível, permitir que o estudante explore

tatilmente os componentes antes de conectá-los, construindo uma representação espacial do circuito.

6.2.2 Montagem do circuito de medição

1. Preparação dos fios condutores

Utilize fios condutores com garras jacaré em ambas as extremidades, que serão responsáveis pelas conexões elétricas entre os eletrodos. Para cada célula:

- Conecte um fio ao eletrodo de cobre, correspondente ao polo positivo (+);
- Conecte outro fio ao eletrodo de zinco, correspondente ao polo negativo (-).

2. Medição da diferença de potencial (tensão)

Antes de fechar o circuito, verifique a tensão fornecida por cada célula utilizando um multímetro.

- Conecte uma das extremidades livres da célula a um dos terminais (pontas de prova) do multímetro;
- Conecte a outra extremidade livre da célula ao segundo terminal do multímetro;
- Registre o valor da tensão indicado no equipamento;
- Após a medição, desconecte as pontas de prova do multímetro para evitar interferências nas etapas seguintes.

3. Fechamento do circuito

- Conecte uma das extremidades livres do circuito (proveniente da célula) a um dos terminais do Resistor;
- Conecte o outro terminal do Resistor à outra extremidade livre da célula, fechando o circuito;
- Utilize um multímetro para medir a corrente elétrica no circuito.

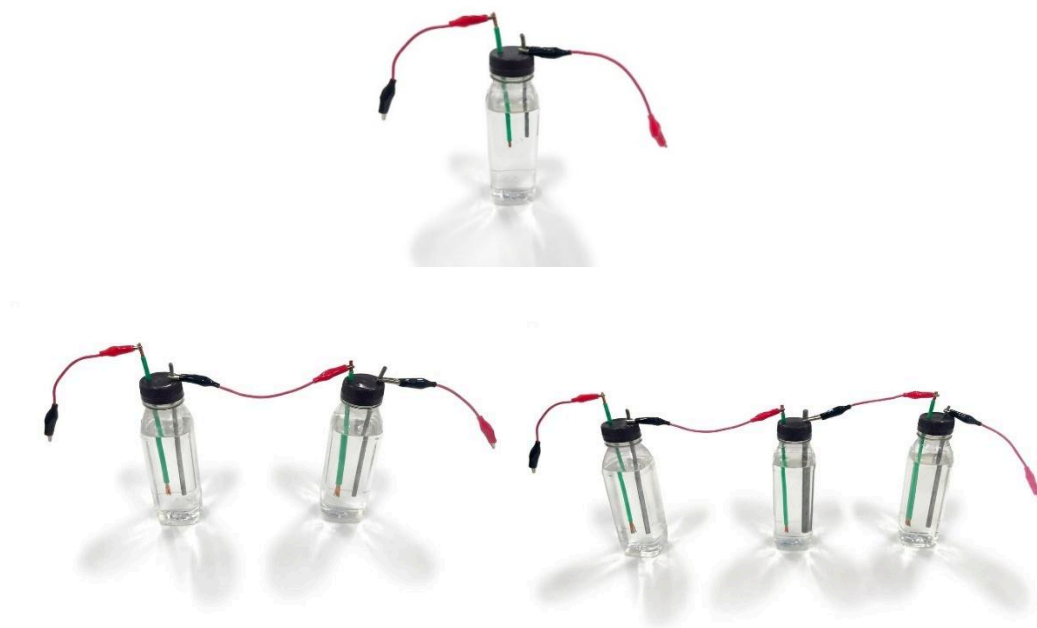
4. Conexão das células em série

Após a análise individual das células, realize a associação em série das quatro células utilizando fios com garras jacaré, a fim de aumentar a tensão total do sistema.

- Conecte o eletrodo de cobre (polo positivo) de uma célula ao eletrodo de zinco (polo negativo) da célula seguinte;
- Após conectar duas células, feche o circuito com o Resistor e realize novas medições de tensão e corrente com o multímetro;
- Repita o processo, adicionando uma célula por vez até completar as quatro células;

Nessa configuração, a tensão total do circuito corresponde à soma das tensões de cada célula. A montagem do circuito de medição é ilustrada conforme na Figura 6.

Figura 6: Esquema do circuito de medição: células eletroquímicas com eletrólito básico (água sanitária), eletrodo de cobre (cátodo, polo positivo) e eletrodo de zinco (ânodo, polo negativo), conectadas em série para obter tensões crescentes.



Fonte: Autoria própria.

O circuito de medição é configurado com os elementos dispostos em série, constituídos pela fonte de tensão (pilhas), pelo amperímetro e pelo resistor, enquanto o voltímetro é conectado em paralelo ao resistor, possibilitando a determinação direta da diferença de potencial em seus terminais, conforme ilustrado no diagrama apresentado na Figura 7. Em circuitos em série, a ordem de disposição dos componentes não altera os valores das grandezas elétricas medidas, como corrente e tensão. Entretanto, por razões operacionais e didáticas, recomenda-se iniciar a montagem pelo polo positivo da fonte, seguido do amperímetro, do resistor e do retorno ao polo negativo. Essa organização facilita a verificação da polaridade dos instrumentos e a identificação de possíveis inconsistências durante a montagem experimental.

Figura 7: Diagrama do circuito de verificação da Lei de Ohm: fonte de tensão variável (pilhas em série), amperímetro em série (medida de corrente) e voltímetro em paralelo ao resistor (medida de tensão).



Fonte: Gerado pelo autor utilizando inteligência artificial (Google Gemini), 2026.

Atenção: o amperímetro deve ser sempre ligado em série e configurado na escala adequada (mA para correntes pequenas). A ligação incorreta do amperímetro em paralelo ao resistor produz um curto-circuito e pode danificar o instrumento. O voltímetro deve ser ligado em paralelo. Verificar a polaridade dos terminais antes de ligar o circuito.

6.2.3 Procedimento de coleta de dados

Em continuidade ao delineamento experimental, propõe-se uma etapa complementar destinada à comparação dos dados obtidos para o resistor e o buzzer ativo. Para isso, realiza-se o procedimento experimental descrito na Seção 11 da apostila (Apêndice F, Apostila, Seção 11), efetuando-se a coleta dos valores de diferença de potencial e corrente elétrica sob as mesmas configurações de pilhas. Essa estratégia visa garantir a comparabilidade dos resultados, permitindo que as diferenças observadas sejam atribuídas às propriedades físicas de cada dispositivo, especialmente quanto ao comportamento da relação entre tensão e corrente representada graficamente.

O procedimento experimental tem como objetivo analisar a relação entre a diferença de potencial elétrica e a corrente elétrica em um circuito elétrico simples, por meio da variação controlada da tensão aplicada. Para isso, utilizar um circuito

composto por pilhas eletroquímicas caseiras como fonte de tensão, fios com garras jacaré para realizar as conexões elétricas e um receptor responsável pela transformação da energia elétrica. Como receptor, podem ser utilizados um resistor, um buzzer ativo ou um LED, de acordo com o fenômeno que se deseja investigar.

A tensão total do sistema deve ser aumentada progressivamente mediante a associação de pilhas em série, mantendo-se constantes os demais elementos do circuito. A cada nova pilha adicionada, espera-se um incremento aproximado de 1,0 V na diferença de potencial fornecida ao circuito. Entretanto, os valores efetivos podem apresentar pequenas variações em função das características construtivas das pilhas caseiras e das condições da solução eletrolítica utilizada em cada célula.

O processo de coleta de dados deve seguir a sequência descrita a seguir:

1. Configuração inicial (1 pilha)

Montar o circuito associado ao receptor escolhido, conectando uma única pilha eletroquímica aos fios com garras jacaré e ao receptor. Em seguida, realizar a leitura da diferença de potencial elétrica (V_1) utilizando o voltímetro e da corrente elétrica (I_1) utilizando o amperímetro. Registrar os valores obtidos.

2. Segunda configuração (2 pilhas em série)

Adicionar uma segunda pilha em série à primeira, mantendo o mesmo receptor conectado ao circuito. Realizar novas medições da diferença de potencial (V_2) e da corrente elétrica (I_2), registrando os resultados.

3. Terceira configuração (3 pilhas em série)

Acrescentar uma terceira pilha ao conjunto, preservando a associação em série e a configuração do circuito associado ao receptor. Efetuar as medições da diferença de potencial (V_3) e da corrente elétrica (I_3), registrando os valores obtidos.

4. Quarta configuração (4 pilhas em série)

Adicionar uma quarta pilha ao circuito, mantendo inalterados os demais componentes. Realizar as leituras da diferença de potencial (V_4) e da corrente elétrica (I_4), registrando os resultados experimentais.

Por fim, todos os valores obtidos experimentalmente devem ser registrados nas Tabelas de Coleta de Dados disponibilizadas na apostila (Apêndice F, Apostila, Seção 13). A Tabela 2 apresenta um modelo para o registro dos dados experimentais referentes ao resistor. Destaca-se que os valores nela apresentados possuem caráter meramente ilustrativo, tendo sido calculados para um resistor de 220 Ω . Dessa forma,

durante a realização da atividade, tais valores devem ser substituídos pelos dados efetivamente medidos pelos estudantes. De modo análogo, a Tabela 3 apresenta um exemplo de organização dos dados experimentais obtidos para o buzzer ativo, servindo como referência para o registro e a sistematização das medições realizadas ao longo do experimento.

Tabela 2: Dados experimentais de referência para tensão e corrente em função do número de pilhas ($R \approx 220 \, \Omega$).

Número de pilhas	Tensão V (V)	Corrente I (mA)
1	0,71	3,2
2	1,43	6,5
3	2,14	9,7
4	2,86	13,0

Fonte: Autoria própria.

Tabela 3: Dados experimentais de tensão e corrente para o buzzer em função do número de pilhas (valores de referência).

Número de pilhas	Tensão V (V)	Corrente I (mA)
1	0,00	0,0
2	1,80	0,5
3	2,10	4,2
4	2,25	12,8

Fonte: Autoria própria.

Verifica-se que, em regimes de baixa diferença de potencial, isto é, abaixo da tensão limiar² característica do dispositivo, o buzzer ativo apresenta funcionamento

² Fisicamente, a tensão limiar em um buzzer ativo marca o ponto em que a barreira de potencial associada aos componentes semicondutores presentes em seu circuito eletrônico interno é suficientemente superada, permitindo o estabelecimento efetivo da condução elétrica necessária ao seu funcionamento. Antes desse ponto, a energia fornecida aos portadores de carga (elétrons) é insuficiente para atravessar essas regiões de potencial, resultando em corrente praticamente nula e, conseqüentemente, na ausência de emissão sonora. Ao atingir ou superar a tensão limiar, essa barreira de potencial é reduzida pelo campo elétrico aplicado, possibilitando um fluxo mais intenso de cargas e uma rápida elevação da corrente no circuito interno. Esse processo ativa o oscilador eletrônico do dispositivo, que passa a converter energia elétrica em vibrações mecânicas e, portanto, em som audível. Tal comportamento evidencia a transição de um regime de condução praticamente inexistente

praticamente inexistente, não havendo emissão sonora perceptível. Isso ocorre porque a energia fornecida ainda não é suficiente para alimentar de forma eficaz o circuito eletrônico interno responsável pela geração do sinal oscilatório. Nessa faixa de operação, a corrente elétrica que percorre o dispositivo permanece muito reduzida, indicando que o sistema ainda não atingiu sua região efetiva de funcionamento.

Entretanto, ao se ultrapassar essa tensão limiar, observa-se uma transição abrupta no comportamento do buzzer ativo: pequenos acréscimos na tensão aplicada passam a implicar aumentos significativamente maiores na corrente elétrica fornecida ao circuito interno, permitindo sua ativação plena. Esse crescimento não linear, associado a uma dependência cada vez mais acentuada da corrente em relação à tensão aplicada, evidencia que o buzzer ativo não obedece, no intervalo de tensão investigado, a uma relação de proporcionalidade simples entre tensão e corrente, indicando um comportamento elétrico distinto daquele observado em dispositivos ôhmicos. Assim, seu comportamento é tipicamente não ôhmico, distinguindo-se claramente de elementos que seguem a Lei de Ohm, nos quais a corrente varia linearmente com a tensão aplicada.

Ao se representar graficamente a relação entre tensão (V) e corrente (I) para ambos os dispositivos, resistor e buzzer ativo, em um mesmo sistema de eixos, torna-se evidente a distinção entre seus comportamentos elétricos. Os dados experimentais do resistor organizam-se ao longo de uma reta, indicando proporcionalidade direta entre tensão e corrente, o que corresponde a uma resistência elétrica constante. Em contrapartida, os pontos associados ao buzzer ativo delineiam uma curva acentuadamente não linear, refletindo o fato de que sua resposta elétrica não obedece à proporcionalidade direta entre tensão e corrente, sendo frequentemente aproximada por um comportamento exponencial em seus componentes internos.

No contexto da educação inclusiva, essa diferença pode ser explorada por meio de representações táteis: ao marcar os pontos experimentais do buzzer ativo em uma folha de papel (180 g/m^2) e realizar a leitura pelo relevo, o estudante com deficiência visual percebe que os pontos não se alinham de forma retilínea. Ao contrário, distribuem-se segundo uma trajetória curva, especialmente após a superação da tensão limiar, impossibilitando o ajuste por uma única reta com distribuição

para um regime não linear dominante, sendo esse o mecanismo físico subjacente ao funcionamento do buzzer ativo, caracterizando-o como um dispositivo não ôhmico.

equilibrada. Essa percepção tátil reforça, de maneira concreta, a distinção entre comportamentos ôhmicos e não ôhmicos, promovendo uma compreensão mais significativa dos fenômenos físicos envolvidos.

A análise decorrente dessa comparação possibilita uma compreensão mais abrangente dos fenômenos envolvidos, permitindo destacar os seguintes pontos: (a) a Lei de Ohm é estritamente válida apenas para condutores ôhmicos, isto é, aqueles nos quais a resistência elétrica se mantém aproximadamente constante, independentemente da tensão aplicada, resultando em uma relação linear entre tensão e corrente; (b) no caso do buzzer ativo, observa-se um comportamento não ôhmico, uma vez que sua resistência não é constante, mas depende do regime de operação, diminuindo à medida que a tensão aplicada supera o valor de limiar, o que provoca um aumento acentuado da corrente e evidencia a variação da resistência dinâmica do dispositivo; (c) a caracterização da resistência de um buzzer ativo não pode ser realizada de maneira satisfatória por meio da simples razão entre tensão e corrente (V/I), pois essa abordagem não reflete adequadamente a natureza não linear do componente; nesse caso, torna-se mais apropriado considerar a resistência diferencial, expressa por $(\Delta V/\Delta I)$, calculada em um ponto específico da curva característica, permitindo uma análise local do comportamento elétrico; (d) além das propriedades intrínsecas dos componentes, fatores experimentais também influenciam os resultados obtidos, como as limitações das pilhas caseiras, que apresentam resistência interna não desprezível e possíveis variações na força eletromotriz em função da corrente fornecida, aspectos que contribuem para pequenas discrepâncias em relação ao comportamento linear ideal esperado para o resistor e afetam a precisão das medidas realizadas.

A utilização de diferentes receptores no circuito constitui um elemento importante da proposta didática, pois amplia as possibilidades de percepção e compreensão dos fenômenos elétricos investigados. Enquanto o resistor possibilita a análise do comportamento de um elemento ôhmico por meio das medições de tensão e corrente elétrica, o buzzer ativo e o LED permitem que os efeitos decorrentes do aumento da diferença de potencial sejam percebidos de forma direta pelos estudantes. A escolha do buzzer ativo mostrou-se especialmente adequada para a participação do estudante com deficiência visual, uma vez que o aumento da tensão aplicada ao circuito torna a intensidade sonora emitida pelo dispositivo mais perceptível. De forma complementar, a utilização do LED favorece a observação

visual desse mesmo fenômeno por meio da intensificação gradual de sua luminosidade. Considerando que o estudante participante possuía aproximadamente 10% de visão residual, também foi possível perceber variações na intensidade luminosa emitida pelo LED à medida que novas pilhas eram adicionadas ao circuito. Dessa forma, a utilização desses receptores possibilita uma abordagem multissensorial dos conceitos de diferença de potencial, corrente elétrica e transformação de energia, tornando a atividade experimental mais acessível, significativa e inclusiva para todos os estudantes.

A participação do estudante com deficiência visual na etapa de coleta de dados deve ser garantida por meio de estratégias que promovam autonomia e inclusão efetiva no experimento. A leitura dos valores indicados nos multímetros pode ser realizada de forma independente quando se dispõe de instrumentos com saída sonora (multímetros com recurso de voz), permitindo ao estudante acessar diretamente as medições de tensão e corrente.

Na ausência desse recurso, recomenda-se a adoção de uma abordagem colaborativa, em que um colega vidente realize a leitura dos valores em voz alta, assegurando que o estudante com deficiência visual possa registrar os dados de forma ativa. Nesse contexto, o estudante mantém seu papel central no processo experimental, participando da organização e sistematização das informações coletadas.

Para viabilizar esse registro, é fundamental que o professor disponibilize previamente a tabela de coleta de dados em formato acessível, preferencialmente em Braille, contendo a estrutura já organizada e espaços adequados para preenchimento manual. Essa preparação antecipada não apenas favorece a autonomia do estudante, mas também contribui para a fluidez da atividade e para a efetiva inclusão no ambiente experimental.

6.3 Construção do gráfico $V \times I$ e determinação da resistência

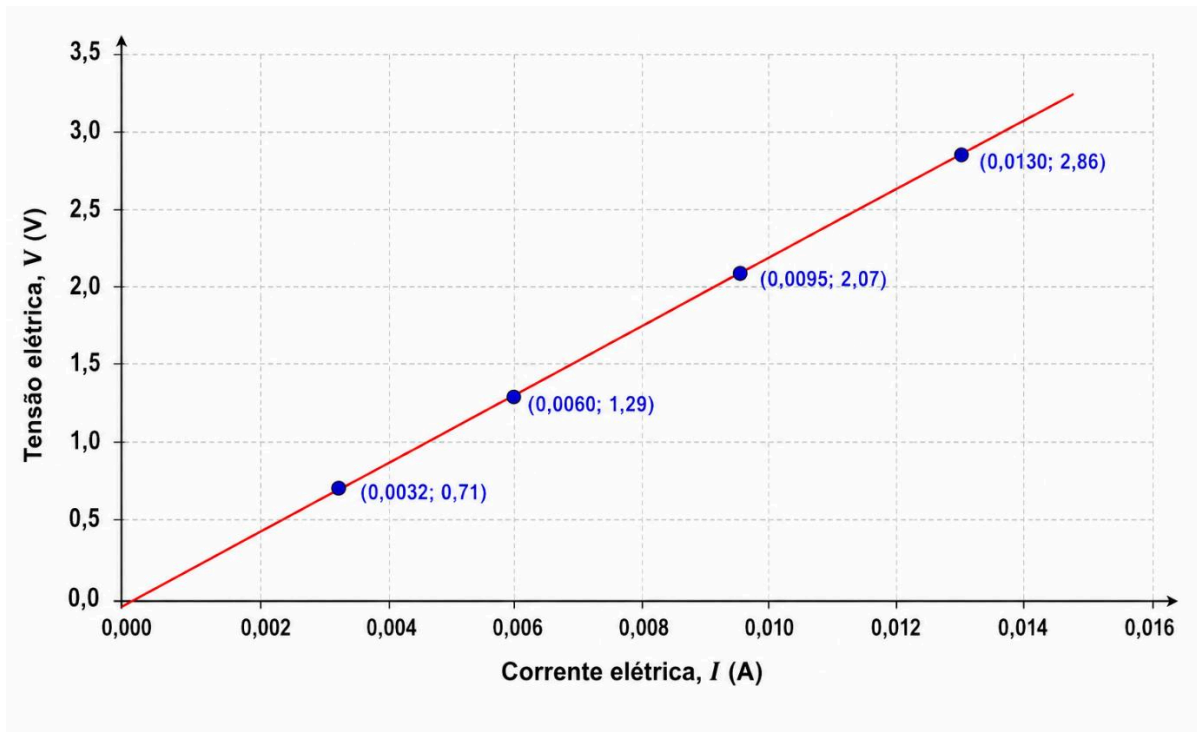
6.3.1 Representação gráfica convencional (com recursos visuais)

A representação gráfica dos dados experimentais constitui uma etapa fundamental da análise dos resultados obtidos, pois permite visualizar o comportamento das grandezas físicas investigadas e identificar as relações existentes entre elas. Para isso, todos os valores medidos devem ser registrados nas Tabelas de Coleta de Dados disponibilizadas na apostila (Apêndice F, Seção 13). A Tabela 2 apresenta um modelo para o registro dos dados experimentais referentes ao resistor.

Os valores nela apresentados possuem caráter meramente ilustrativo, tendo sido calculados para um resistor de $220\ \Omega$; durante a realização da atividade, portanto, devem ser substituídos pelos dados efetivamente medidos pelos estudantes. De modo análogo, a Tabela 3 apresenta um exemplo de organização dos dados experimentais obtidos para o buzzer ativo, servindo como referência para o registro e a sistematização das medições realizadas ao longo do experimento.

Com base nos dados registrados, os pares ordenados (I, V) devem ser representados em um gráfico cartesiano, conforme ilustrado na Figura 8, podendo-se utilizar papel milimetrado ou ferramentas digitais de construção de gráficos, como editores disponíveis em softwares de uso comum, a exemplo do Microsoft Excel. Na construção do gráfico, a corrente elétrica (I) deve ser representada no eixo das abscissas (eixo horizontal), expressa em ampères (A) ou miliampères (mA), enquanto a tensão elétrica (V) deve ser representada no eixo das ordenadas (eixo vertical), em volts (V).

Figura 8: Gráfico $V \times I$ com os quatro pontos experimentais e reta de ajuste. A inclinação da reta corresponde à resistência elétrica do circuito. O comportamento linear confirma que o resistor obedece à Lei de Ohm.



Fonte: Autoria própria.

Após a plotagem dos pontos experimentais, observa-se que estes tendem a se alinhar aproximadamente ao longo de uma reta crescente que passa pela origem do sistema de coordenadas. Esse comportamento é característico de condutores

Para a análise quantitativa, deve-se traçar uma reta de melhor ajuste, buscando representar da forma mais equilibrada possível a distribuição dos pontos experimentais, isto é, minimizando desvios e mantendo uma dispersão aproximadamente simétrica em torno da reta. O coeficiente angular dessa reta corresponde ao valor da resistência elétrica do circuito.

Notação em Braille (CMU):

O valor obtido experimentalmente apresenta excelente concordância com o valor nominal do resistor ($220\ \Omega$), estando dentro da faixa de tolerância típica do componente ($\pm 5\%$).

Eventuais discrepâncias entre o valor nominal e o valor determinado experimentalmente são esperadas e podem ser atribuídas a fatores como a resistência interna das pilhas utilizadas, a tolerância de fabricação do resistor e as incertezas associadas às medições realizadas pelos instrumentos.

6.3.2 Construção e Leitura do Gráfico Tátil – Lei de Ohm (com recurso táteis)

A construção e a leitura de gráficos táteis aplicados à Lei de Ohm constituem uma estratégia pedagógica relevante para a promoção da educação inclusiva no ensino de Física, ao possibilitarem que estudantes com e sem deficiência visual participem conjuntamente das atividades de investigação, construção e interpretação de representações gráficas, favorecendo a aprendizagem colaborativa, a interação entre os pares e a apropriação compartilhada dos conceitos científicos.

Nesse contexto, a representação da relação entre diferença de potencial (V) e corrente elétrica (I), tipicamente expressa por um comportamento linear, pode ser adaptada por meio do uso de uma grade linear. Tal procedimento, conforme orientado nas etapas metodológicas propostas por Silva, Pinto Neto e Carvalho (2025), assegura condições equitativas de acesso e compreensão dos fenômenos físicos.

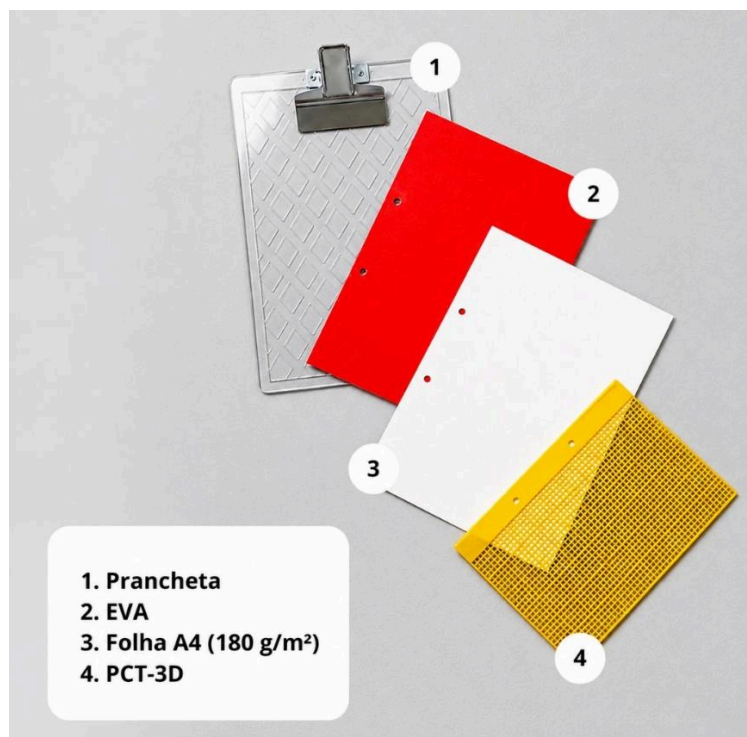
A fim de garantir a coerência entre a construção e a leitura do gráfico tátil, torna-se imprescindível observar um aspecto técnico central do procedimento: as marcações são realizadas, inicialmente, em baixo-relevo na folha de papel A4 (180 g/m²), devendo, ao término dessa etapa, ser rigorosamente invertida. Essa inversão é a condição necessária para que as marcações possam ser corretamente percebidas, pelo tato, em alto-relevo. A não observância dessa etapa pode comprometer de forma significativa a interpretação dos dados, gerando inconsistências entre a representação construída e sua leitura tátil.

Procedimento adotado para construção e leitura do gráfico:

a. Montagem do sistema

Conforme ilustrado na Figura 9, a montagem do conjunto de materiais do Kit completo para construção dos gráficos táteis deve seguir uma sequência específica para garantir a estabilidade do sistema e a correta realização das marcações táteis. Sobre a prancheta com pinos de encaixe, o estudante deve organizar os materiais de forma sequencial: primeiramente, posiciona-se a folha de EVA perfurada, que atua como base amortecedora; sobre ela, sobrepõe-se a folha de papel A4 (180 g/m²) perfurada, responsável pelo registro das marcações; por fim, insere-se o PCT-3D perfurado, que serve como referencial de escala.

Figura 9: Sistema de montagem do kit para elaboração de gráficos táteis.



Fonte: Autoria própria.

Todos os elementos devem ser cuidadosamente alinhados aos pinos, garantindo um encaixe firme e estável, sem qualquer deslocamento entre as camadas. Antes do início do procedimento de marcação, é fundamental que o professor verifique se o conjunto está corretamente montado e devidamente fixado, assegurando a precisão e a confiabilidade da atividade.

b. Escalonamento dos eixos

Antes da etapa de marcação dos pontos, é imprescindível que o estudante estabeleça o escalonamento dos eixos, de modo a garantir que os dados experimentais obtidos (Apêndice F, Apostila, Seção 13) sejam representados de forma adequada e proporcional no espaço disponível do PCT-3D. Esse procedimento consiste em definir a correspondência entre as divisões físicas da grade e os valores numéricos das grandezas envolvidas, assegurando a legibilidade e a precisão da representação gráfica.

No eixo das abscissas, correspondente à corrente elétrica (I), considera-se uma variação de 0 a 15 mA. Para essa faixa de valores, recomenda-se a adoção de uma escala com intervalos regulares de 2,5 mA, o que resulta em seis divisões igualmente espaçadas. No eixo das ordenadas, referente à tensão elétrica (V), estabelece-se uma variação de 0 a 3,5 V, com intervalos de 0,5 V, totalizando sete divisões. Essa escolha de escalas permite uma distribuição equilibrada dos pontos experimentais, favorecendo a interpretação do comportamento físico analisado.

Para viabilizar a correta leitura e construção do gráfico por estudantes com deficiência visual, torna-se necessário o uso da chamada tabela de escalonamento³, a qual deve ser disponibilizada pelo professor em formato acessível, preferencialmente em Braille.

c. Marcação dos pontos e traçado da reta de ajuste

Com todos os elementos do kit devidamente posicionados, deve-se proceder inicialmente à marcação das margens livres existentes entre o gabarito do PCT-3D e

³ A tabela de escalonamento consiste em um recurso didático que estabelece, de forma sistemática, a correspondência entre cada divisão física do plano cartesiano tátil tridimensional (PCT-3D) e os respectivos valores numéricos das grandezas representadas nos eixos do gráfico. Trata-se, portanto, de um referencial de leitura que explicita quanto vale cada intervalo da escala adotada, permitindo que o estudante compreenda a relação entre posição espacial e valor físico. Seu funcionamento baseia-se na associação direta entre as divisões da grade (identificadas sequencialmente) e os valores previamente definidos no processo de escalonamento. Além de garantir precisão na localização dos pares ordenados, esse instrumento favorece a percepção de padrões e proporcionalidades, contribuindo para uma organização espacial clara e para a construção consistente do gráfico, especialmente em contextos de deficiência visual.

a folha de papel A4 (180 g/m²). Essas regiões são utilizadas para a construção dos eixos principais do gráfico, sendo suas marcações realizadas com o auxílio de um punção, de modo a fornecer referências espaciais que orientem a leitura e a construção da representação gráfica. Posteriormente, para cada par ordenado (I, V) obtido a partir dos dados experimentais, o estudante deve identificar, por meio da exploração tátil, as divisões correspondentes aos eixos do gráfico presentes no PCT-3D. Em seguida, deve percorrer o eixo horizontal até localizar a divisão referente ao valor da corrente elétrica (I) e, a partir desse ponto, deslocar-se verticalmente até a divisão correspondente ao valor da tensão elétrica (V). No ponto de interseção entre essas duas coordenadas, realiza-se a marcação mediante pressão firme com o punção, transpassando o gabarito e registrando o ponto de forma precisa na folha de papel. Esse procedimento deve ser repetido para todos os pares de dados experimentais, possibilitando a construção completa do gráfico tátil e a posterior análise da relação entre as grandezas físicas investigadas.

Concluída a etapa de marcação dos pontos, procede-se à retirada do PCT-3D. É importante ressaltar que, embora a plotagem das coordenadas e o traçado da linha e dos eixos principais sejam suficientes para uma visualização ou noção espacial rápida do comportamento do gráfico, sua representação de acordo com as convenções da linguagem científica e sua correta interpretação exigem a inclusão de elementos estruturais complementares, tais como eixos, pontos, coordenadas, títulos dos eixos e o título do gráfico, garantindo sua adequada identificação e análise.

Desse modo, caso o objetivo seja obter um gráfico mais detalhado e formal, segue-se o procedimento anterior a esta etapa conforme as orientações da apostila Guia Teórico Experimental para a Construção de Gráficos Táteis: Primeira Lei de Ohm (Apêndice F) para a fase de preenchimento de títulos e coordenadas em Braille. Assim, ainda com a folha de papel posicionada em sua orientação original após a remoção do dispositivo, o estudante deve realizar a análise da distribuição espacial das marcações, identificando, por meio do tato, a tendência de alinhamento dos pontos.

Verificada a presença de um comportamento aproximadamente linear e crescente para dispositivos ôhmicos, ou de um perfil curvilíneo para dispositivos não ôhmicos, posiciona-se a régua sobre a superfície de modo a ajustar uma reta que represente adequadamente o conjunto de dados, buscando contemplar o maior número possível de pontos e manter uma distribuição equilibrada em torno dessa

linha. Em seguida, realiza-se a marcação da linha com o punção, estabelecendo um traçado tátil contínuo que conecta os pontos previamente registrados.

Por meio da exploração tátil do gráfico final, o estudante deve reconhecer que a reta obtida apresenta inclinação positiva e se inicia na origem ou em sua proximidade, evidenciando uma relação de proporcionalidade direta entre corrente elétrica e tensão, conforme previsto pela Lei de Ohm.

d. Determinação da resistência a partir do gráfico tátil

Com a reta de ajuste em relevo, o estudante seleciona dois pontos sobre ela – preferencialmente bem afastados para maior precisão – e identifica as coordenadas (I_1, V_1) e (I_2, V_2) com auxílio da régua e da tabela de escalonamento. O coeficiente angular é calculado pela Eq. (3) com as correntes expressas em ampères. O cálculo é realizado com a calculadora de áudio, e o valor obtido corresponde à resistência elétrica do circuito determinada pelo método gráfico tátil. O estudante registra o resultado na tabela em Braille e comunica-o ao grupo para comparação com o valor obtido pelos demais métodos.

Essa etapa evidencia que o estudante com deficiência visual não se limita a uma participação passiva no experimento, mas atua de forma efetiva na construção do conhecimento. Ao elaborar a representação gráfica por meio da exploração tátil, reconhecer o padrão de comportamento linear dos dados e extrair de maneira autônoma o parâmetro físico de interesse, a resistência elétrica, o estudante mobiliza simultaneamente competências procedimentais e conceituais. Ademais, o rigor inerente ao método tátil mostra-se equivalente àquele dos procedimentos visuais tradicionais, sendo essa equivalência corroborada pela consistência dos resultados obtidos e pela sua validação no contexto coletivo da atividade experimental.

6.4 Análise dos resultados e discussão

A análise dos dados coletados deve contemplar as seguintes questões, agora considerando a comparação entre o resistor e o buzzer ativo. As respostas podem ser construídas individualmente ou em grupo, por escrito ou oralmente, com o suporte do professor:

a. O gráfico $V \times I$ do resistor e do buzzer ativo apresenta o mesmo comportamento?

Para o resistor ôhmico, espera-se que os pontos se distribuam aproximadamente ao longo de uma reta, evidenciando proporcionalidade direta entre

tensão e corrente. Já para o buzzer ativo, o comportamento tende a ser não linear: em certas faixas de operação, pequenas variações na tensão podem provocar variações mais acentuadas na corrente, em função do funcionamento de seu circuito eletrônico interno. Desvios no caso do resistor podem decorrer da resistência interna das pilhas ou de imprecisões experimentais, enquanto, no buzzer, a própria não linearidade é uma característica física esperada.

b. A resistência obtida para o resistor é consistente com seu valor nominal? E no caso do buzzer ativo, essa comparação é válida?

Para o resistor, a resistência determinada a partir da inclinação da reta deve ser comparada com o valor nominal, considerando a tolerância (geralmente $\pm 5\%$ ou $\pm 10\%$). Se o valor experimental estiver dentro dessa faixa, o resultado é consistente. Para o buzzer ativo, essa comparação não é diretamente aplicável, pois não se trata de um dispositivo com resistência constante; sua resistência varia conforme o regime de operação, não sendo adequadamente descrita por um único valor.

c. O resistor e o buzzer ativo obedecem à Lei de Ohm?

O resistor obedece à Lei de Ohm se: (a) o gráfico $V \times I$ é aproximadamente linear; (b) a razão V/I é aproximadamente constante; e (c) a inclinação da reta corresponde ao valor de sua resistência. Por outro lado, o buzzer ativo não obedece à Lei de Ohm, pois apresenta comportamento não linear, com corrente dependente de forma complexa da tensão aplicada, devido à presença de circuitos eletrônicos internos.

d. Como as pilhas caseiras influenciam o funcionamento do resistor e do buzzer ativo?

As pilhas caseiras, construídas com materiais como cobre, zinco e solução eletrolítica, fornecem tensões menores que pilhas comerciais, tipicamente entre 0,9 V e 1,2 V por célula. No caso do resistor, isso apenas limita os valores de corrente e tensão alcançados. Já para o buzzer ativo, essa limitação pode ser mais crítica, pois o dispositivo pode não operar adequadamente se a tensão total fornecida não for suficiente para ativar seu circuito interno. A associação em série aumenta a tensão total, mas também eleva a resistência interna do conjunto.

e. Qual é a influência da resistência interna das pilhas nos resultados para ambos os dispositivos?

A resistência interna das pilhas provoca uma queda de tensão que se intensifica com o aumento da corrente. Para o resistor, isso pode resultar em pequenas

distorções no gráfico, como uma inclinação ligeiramente inferior ao esperado ou um desvio da reta em relação à origem. No caso do buzzer ativo, esse efeito pode alterar significativamente seu comportamento, afetando tanto a corrente quanto a intensidade do som emitido, uma vez que o funcionamento do dispositivo depende diretamente das condições de alimentação elétrica.

6.5 Dimensão inclusiva: autonomia, colaboração e aprendizagem significativa

A realização do experimento da Lei de Ohm com pilhas caseiras e gráficos táteis, no contexto de uma turma inclusiva do 3º ano do Ensino Médio, constitui um exemplo concreto do que Camargo (2012) denomina inclusão substantiva no ensino de Física: não se trata de adaptar superficialmente uma atividade para que o estudante cego a acompanhe à margem, mas de garantir que ele acesse, construa e aplique o conhecimento físico com o mesmo rigor e protagonismo disponíveis aos demais estudantes.

A construção manual das pilhas caseiras é especialmente favorável à participação do estudante com deficiência visual: a distinção tátil entre os eletrodos (textura lisa do cobre versus textura rugosa do zinco), o odor característico da água sanitária, o som produzido pelas conexões das garras jacaré e a percepção da resistência mecânica dos componentes constituem informações sensoriais acessíveis que permitem ao estudante acompanhar e executar a montagem com autonomia crescente.

A organização em grupos colaborativos – com o estudante cego integrado a uma equipe com colegas videntes – favorece a troca de perspectivas sensoriais descrita por Vygotsky (1998) como condição para o desenvolvimento cognitivo na zona de desenvolvimento proximal: os estudantes videntes descrevem verbalmente as leituras nos multímetros e o aspecto dos gráficos no papel; o estudante com deficiência visual relata o que percebe pela exploração tátil do gráfico em relevo, comunicando ao grupo as propriedades geométricas da distribuição dos pontos e da reta de ajuste que seus colegas videntes só veriam, mas não necessariamente traduziriam em palavras. Essa complementaridade sensorial enriquece a aprendizagem de toda a turma.

A comparação dos valores de resistência obtidos pelos diferentes métodos, como gráfico manual em papel milimetrado pelos estudantes videntes, ou ferramentas digitais de construção de gráficos, como editores presentes em softwares de uso comum (por exemplo, Microsoft Excel) e pelo gráfico tátil pelo estudante cego,

demonstra que a acessibilidade não implica simplificação do conteúdo nem redução da precisão esperada. Ao contrário, o rigor procedimental exigido pela construção tátil fortalece a compreensão conceitual de toda a turma sobre o significado físico do coeficiente angular de uma reta experimental, tornando explícito que a determinação de um parâmetro físico por método gráfico é um procedimento científico de validade universal – independentemente da modalidade sensorial por meio da qual a representação gráfica é apreendida.

Assim, o experimento da Lei de Ohm com pilhas caseiras e gráficos táteis não é apenas um recurso de acessibilidade: é um instrumento pedagógico que, ao tornar concreto, manipulável e coletivamente compartilhável o processo de determinação experimental de uma grandeza física, amplia a qualidade da aprendizagem para todos os estudantes da turma, com e sem deficiência visual (SILVA; PINTO NETO; CARVALHO, 2025; MANTOAN, 2015).

7 PERCURSO METODOLÓGICO DA PESQUISA

7.1 Caracterização da pesquisa

Esta pesquisa caracterizou-se como de natureza aplicada, com abordagem qualitativa e caráter exploratório. A abordagem qualitativa orientou-se pela análise das percepções, das interações e dos processos de construção do conhecimento observados durante as atividades. O caráter exploratório justifica-se pela investigação, desenvolvimento e análise de uma proposta pedagógica baseada na construção e aplicação de gráficos táteis para o ensino de Física Experimental em contexto inclusivo. Para isso, foram utilizados procedimentos de intervenção pedagógica e análise interpretativa dos dados produzidos durante a implementação da proposta, em consonância com os pressupostos metodológicos da pesquisa qualitativa (THIOLLENT, 2011; TRIPP, 2005).

Do ponto de vista dos objetivos, a pesquisa assumiu caráter descritivo e exploratório, na medida em que buscou desenvolver, aplicar gráficos táteis como tecnologia assistiva no ensino de Física experimental, identificando possibilidades, limitações e potencialidades desse recurso pedagógico para a promoção da aprendizagem inclusiva (GIL, 2010).

A sequência didática foi desenvolvida em quatro encontros de três horas-aula, realizados no turno vespertino, em sala de aula e no laboratório. A carga horária foi definida em comum acordo com outro professor, em razão da organização das atividades da turma. O produto educacional resultante desta pesquisa consistiu em uma sequência didática estruturada e em um Guia Prático de Desenvolvimento e Construção de Gráficos Táteis. Esses materiais foram elaborados para subsidiar a implementação da proposta pedagógica pelos docentes no ensino de Eletrodinâmica, particularmente no estudo da Lei de Ohm, oferecendo orientações para a utilização dos recursos didáticos acessíveis e para a condução das atividades experimentais. Paralelamente, favorecem a participação ativa dos estudantes ao orientarem a construção autônoma dos gráficos táteis e a interpretação dos dados obtidos durante a investigação experimental.

Embora a proposta pedagógica apresentada neste trabalho tenha sido desenvolvida no contexto do ensino da Lei de Ohm e da Física Experimental, o produto educacional não se restringe a essa temática. Sua concepção metodológica permite a adaptação para a construção e utilização de gráficos táteis em diferentes conteúdos da Física e de outras áreas do conhecimento que empregam

representações gráficas como linguagem de comunicação e análise de dados. Desse modo, o kit e o Guia Prático constituem recursos versáteis, passíveis de serem incorporados a distintos contextos educacionais, favorecendo a produção, a leitura e a interpretação autônoma de gráficos por estudantes, bem como subsidiando práticas pedagógicas acessíveis e inclusivas em diferentes níveis e modalidades de ensino.

7.2 Contexto e participantes

A pesquisa foi desenvolvida no Colégio Universitário (COLUN), unidade de aplicação vinculada à Universidade Federal do Maranhão (UFMA), situada em São Luís, Maranhão. A instituição caracteriza-se por seu compromisso com práticas pedagógicas inovadoras e por sua trajetória na promoção da educação inclusiva, constituindo-se como locus adequado para o desenvolvimento de propostas que articulam acessibilidade, ensino de Ciências e formação integral dos estudantes.

Os participantes da pesquisa foram 19 estudantes de uma turma do 3º ano do Ensino Médio do COLUN, regularmente matriculados e presentes nas atividades desenvolvidas ao longo da sequência didática. A turma era composta por 18 estudantes videntes e um estudante com deficiência visual, caracterizada por cegueira total em um dos olhos e visão residual aproximada de 10% no outro, condição que reforçou a necessidade de estratégias pedagógicas acessíveis e inclusivas e que fundamentou e orientou o desenvolvimento dos materiais táteis e da abordagem inclusiva adotada. Os demais estudantes, videntes, participaram das mesmas atividades com o suporte de materiais convencionais, configurando uma proposta pedagógica de caráter universal, alinhada aos princípios do Desenho Universal para a Aprendizagem (CAST, 2018).

Para a realização das atividades experimentais e da construção dos gráficos táteis, a turma foi organizada em duas equipes, seguindo princípios da aprendizagem cooperativa e da educação inclusiva, de modo a favorecer a colaboração, a troca de conhecimentos e de diferentes formas de percepção, bem como a interdependência positiva entre os participantes (JOHNSON; JOHNSON, 1999). A composição das equipes foi planejada de forma a promover a heterogeneidade do grupo e o equilíbrio entre os estudantes, estimulando a cooperação e o compartilhamento de experiências durante as atividades. O estudante com deficiência visual foi integrado a uma das equipes, participando ativamente de todas as etapas da proposta pedagógica, incluindo as aulas teóricas, a realização da prática experimental, a coleta e a análise dos dados, a construção dos gráficos táteis e a apresentação dos resultados.

Especificamente, essa equipe foi responsável pela investigação experimental utilizando o buzzer ativo como elemento de circuito, escolha que possibilitou ao estudante uma experiência mais acessível e significativa na percepção das variações de intensidade sonora em função da tensão elétrica aplicada, favorecendo sua participação efetiva na obtenção e interpretação dos dados experimentais.

7.3 Aspectos éticos

A participação dos estudantes na pesquisa foi voluntária e condicionada à assinatura do Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE), por parte dos próprios estudantes, e do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), por parte de seus responsáveis legais, dada a menoridade dos participantes. O estudante com deficiência visual recebeu versão adaptada dos documentos, disponibilizada em formato acessível. A identidade de todos os participantes foi preservada ao longo de toda a pesquisa, tendo sido adotados nomes fictícios ou códigos de identificação na apresentação dos dados.

A instituição de ensino também foi consultada previamente, mediante solicitação formal de autorização para realização da pesquisa nas dependências do COLUN, com ciência e anuência da direção escolar e da coordenação pedagógica, conforme disponível no Apêndice B.

7.4 Instrumentos de coleta de dados

A coleta de dados foi realizada por meio de instrumentos complementares, capazes de captar tanto os aspectos qualitativos do processo de aprendizagem. Os instrumentos utilizados foram:

- Questionário diagnóstico: aplicado antes do início da sequência didática, este instrumento teve como finalidade identificar os conhecimentos prévios dos estudantes acerca da interpretação de gráficos cartesianos, das relações entre grandezas físicas e dos comportamentos funcionais, com ênfase em relações lineares. Além disso, buscou avaliar a compreensão dos discentes sobre situações do cotidiano envolvendo dispositivos elétricos, bem como sua familiaridade com a análise de dados experimentais representados graficamente. O questionário foi estruturado com questões objetivas, contemplando diferentes níveis de compreensão, desde noções básicas sobre gráficos até a interpretação de fenômenos físicos, como a relação entre tensão, corrente elétrica e resistência em circuitos simples.

- Questionário de satisfação (resultados diagnósticos): aplicado ao final da sequência didática a 19 estudantes, com o propósito de avaliar suas percepções sobre o produto educacional desenvolvido. O instrumento, composto por questões em escala Likert (1 a 5) e perguntas abertas, sendo respondido por meio da plataforma Google Forms, investigou aspectos relacionados à aprendizagem, à interpretação de gráficos, ao reconhecimento de padrões em dados experimentais, ao potencial inclusivo dos gráficos táteis e às reflexões promovidas pela atividade sobre inclusão escolar. As perguntas abertas integradas ao questionário de satisfação: instrumento complementar destinado à avaliação qualitativa da sequência didática pelos participantes, com foco nas percepções sobre acessibilidade, colaboração, autonomia e significado das atividades desenvolvidas, aplicado ao final da intervenção.
- Observação participante: a pesquisadora registrou, em diário de campo, as interações entre os estudantes, as estratégias adotadas pelo estudante com deficiência visual na construção dos gráficos táteis, as dificuldades emergentes e os momentos de colaboração e mediação pedagógica observados ao longo das etapas da intervenção.
- Análise dos gráficos produzidos: os gráficos elaborados pelos estudantes, nas versões em papel milimetrado, em planilha eletrônica e em formato tátil, foram analisados quanto à precisão dos parâmetros obtidos, sendo comparados aos valores teóricos previstos pela Lei de Ohm, conforme o protocolo descrito no e-book de referência (SILVA; PINTO NETO; CARVALHO, 2025).

7.5 A sequência Didática

A sequência didática foi estruturada em quatro encontros, com duração entre duas e três horas-aula cada, e direcionada ao ensino de representações gráficas no contexto da Física teórico-experimental. A proposta contemplou aulas teóricas, metodologias ativas, atividades experimentais, coleta e análise de dados, construção de gráficos convencionais e elaboração de gráficos táteis, articulando diferentes estratégias de ensino em uma perspectiva investigativa.

Concebida para uma turma inclusiva do 3º ano do Ensino Médio, a sequência didática assegurou a participação de estudantes com e sem deficiência visual, em consonância com os princípios da educação inclusiva e do Desenho Universal para a Aprendizagem. Sua elaboração fundamentou-se nas diretrizes metodológicas apresentadas no e-book Gráficos Táteis para o Ensino Inclusivo de Física

Experimental (SILVA; PINTO NETO; CARVALHO, 2025), tendo sido adaptada aos conteúdos de Eletrodinâmica, com ênfase na Lei de Ohm. Desse modo, a proposta articulou teoria e prática experimental, promovendo a compreensão dos fenômenos físicos por meio da construção, da análise e da interpretação de representações gráficas em formatos visual e tátil.

7.5.1 Materiais e recursos

Os materiais e recursos necessários à implementação da sequência didática estão organizados nas categorias a seguir, conforme previsto na Seção 3, com base na sistematização proposta pelo Guia Teórico-Experimental para a Construção de Gráficos Táteis (VIEGAS, 2026).

- **Para a produção dos materiais táteis:**

Para a elaboração do produto educacional, constituído pelo kit para construção de gráficos táteis e pelo Guia Teórico-Experimental, foram utilizadas pranchetas de acrílico com pinos, folhas de EVA com espessura de 2 mm, folhas de papel A4 com gramatura de 180 g/m² previamente perfuradas, reglete adaptada, punções, régua, impressora 3D e filamento para a produção do PCT-3D (Plano Cartesiano Tátil Tridimensional). O dispositivo PCT-3D foi desenvolvido pela autora em conjunto com seu orientador especificamente para esta pesquisa, tendo seu código disponibilizado no Apêndice E. Esses materiais integram o kit e possibilitam que os próprios estudantes construam, de forma autônoma, representações gráficas táteis durante as atividades propostas.

Em relação aos recursos pedagógicos acessíveis empregados na intervenção didática, foram confeccionados previamente pela pesquisadora gráficos táteis ampliados em relevo, destinados à exploração tátil e à mediação pedagógica em sala de aula. Para sua confecção, utilizaram-se folhas de EVA, cola quente, furador de papel, canudos, pérolas e papelão, materiais de baixo custo que possibilitaram a produção de representações táteis voltadas à leitura, interpretação e discussão dos conceitos físicos abordados ao longo da sequência didática.

- **Para uso dos estudantes durante os encontros:**

Os materiais utilizados na atividade incluíram o sistema de gráfico tátil previamente montado, composto por prancheta, folha de EVA, folha de papel A4 com gramatura de 180 g/m² e o dispositivo PCT-3D (Plano Cartesiano Tátil Tridimensional), além de punções ou chaves de ponta firme, régua, papel milimetrado, tabelas

contendo os dados experimentais, datashow, pilhas caseiras confeccionadas pelos próprios estudantes, resistores, LEDs, buzzers ativos, protoboards, fios de conexão com garras jacaré, computadores ou dispositivos com acesso à internet para utilização do simulador PhET Colorado e da plataforma Kahoot!, gráficos ampliados em relevo, planilhas eletrônicas para a construção dos gráficos a partir dos dados experimentais, apostilas de apoio, pilhas AA e suportes confeccionados em tubos de PVC.

- **Materiais didáticos de apoio:**

Apostila elaborada para a sequência didática, intitulada Guia Teórico-Experimental para a Construção de Gráficos Táteis: Primeira Lei de Ohm (Apêndice F), disponibilizada em versão impressa e em formato PDF compatível com leitores de tela, de modo a garantir a acessibilidade e o acesso ao material por todos os participantes. O material contempla noções introdutórias de leitura e escrita em Braille, fundamentos teóricos dos conteúdos abordados, orientações para a realização das atividades experimentais e procedimentos para a construção e interpretação de gráficos táteis. Como material complementar, foi utilizado o e-book Gráficos Táteis para o Ensino Inclusivo de Física Experimental (SILVA; PINTO NETO; CARVALHO, 2025).

7.5.2 Preparação dos materiais táteis

Para a implementação da atividade Construção e Validação de Gráficos Táteis para o Ensino de Física Experimental como Tecnologia Assistiva, a pesquisadora realizou previamente a confecção e adaptação dos materiais táteis, tomando como referência o protocolo metodológico descrito no e-book Gráficos Táteis para o Ensino Inclusivo de Física Experimental (Silva, Pinto Neto e Carvalho, 2025). Esse processo envolveu o estudo aprofundado da proposta, incluindo a análise dos procedimentos de construção dos gráficos táteis, a compreensão de seus fundamentos teóricos e a realização de testes exploratórios, os quais permitiram avaliar sua aplicabilidade no contexto da pesquisa. A partir dessas análises, foram identificadas possibilidades de aprimoramento que subsidiaram a incorporação de adaptações metodológicas e recursos complementares, com vistas a ampliar a funcionalidade, a acessibilidade e o potencial pedagógico do material desenvolvido.

Em conformidade com as orientações do material de referência, foi realizada a montagem do sistema de transferência tátil utilizando uma prancheta de madeira, uma folha de EVA de 2 mm, uma chapa de offset e uma folha de acetato termoformada sobre uma matriz produzida por impressão 3D. As pranchetas dotadas de pinos de

encaixe foram preparadas de acordo com o procedimento metodológico proposto, garantindo o correto posicionamento dos materiais e a estabilidade necessária durante a construção dos gráficos pelos estudantes. A conversão das informações visuais em representações táteis ocorreu por meio da técnica de punção, responsável pela formação de relevos correspondentes aos pontos experimentais e às respectivas curvas ou retas de ajuste. Concluída essa etapa, o gráfico era finalizado pela retirada da folha de acetato e pela inversão da chapa de offset, tornando perceptíveis ao tato as marcações em relevo. Contudo, os testes e análises conduzidos ao longo da pesquisa evidenciaram a possibilidade de simplificar esse processo construtivo, reduzindo os custos de produção, otimizando o tempo de confecção e ampliando a eficiência e a viabilidade de utilização do material em contextos educacionais inclusivos.

Entre as adaptações implementadas nesta pesquisa, destaca-se a substituição da folha de acetato termoformada prevista no protocolo original. Em vez da utilização de uma matriz intermediária para a transferência das informações, os pontos experimentais passaram a ser registrados diretamente sobre o PCT-3D, tornando o processo de construção dos gráficos mais simples e operacionalmente eficiente. Além de reduzir os custos de produção, essa modificação proporcionou uma representação tátil mais nítida e precisa das escalas, divisões e coordenadas do plano cartesiano, favorecendo a exploração tátil e a interpretação dos dados pelos estudantes.

O PCT-3D foi projetado com dimensões e espessura específicas, de modo a proporcionar maior estabilidade estrutural, melhor percepção tátil das escalas e maior precisão na localização dos pontos experimentais. Como etapa preliminar à marcação dos dados, realiza-se a identificação das margens livres existentes entre o gabarito do PCT-3D e a folha de papel A4 de 180 g/m². Esses espaços são destinados à construção dos eixos cartesianos, à inserção dos títulos e das informações de identificação do gráfico, constituindo uma etapa essencial para a elaboração completa da representação gráfica tátil. Diferentemente do protocolo original, no qual as marcações eram realizadas a partir da transferência das informações para uma chapa de offset utilizando uma matriz de acetato termoformada com dimensões superiores ao suporte de registro, a adaptação proposta com o PCT-3D demandou a delimitação prévia desses espaços para garantir a organização adequada dos elementos gráficos no próprio plano cartesiano tátil. Essa adaptação possibilita uma organização espacial mais estruturada dos elementos gráficos, favorecendo a identificação da origem do

gráfico, a localização das coordenadas, a interpretação dos pontos experimentais e a análise da reta de ajuste, além de tornar a exploração tátil mais intuitiva e eficiente para os estudantes.

Outra inovação incorporada ao produto educacional foi a construção de uma reglete adaptada para a escrita e identificações dos eixos e demais elementos textuais presentes nos gráficos táteis. Produzida por meio de impressão 3D e projetada como um acessório removível, essa ferramenta possibilita a escrita de títulos, legendas e identificações em Braille diretamente na representação gráfica. Tal recurso amplia a autonomia dos estudantes na leitura, interpretação e construção dos gráficos, favorecendo a acessibilidade das informações e tornando o material mais inclusivo para usuários com e sem deficiência visual.

Além disso, foi incorporada uma régua flexível destinada ao traçado das retas e curvas de ajuste. Enquanto a proposta original priorizava a marcação dos pontos experimentais e a conexão entre eles a mão livre ou com o auxílio de uma régua de alumínio, a utilização da régua flexível possibilita a construção de representações gráficas mais próximas daquelas empregadas na prática científica, permitindo que a reta ou curva de ajuste acompanhe adequadamente a tendência dos dados experimentais.

Adicionalmente, a substituição da chapa de offset pela folha de papel A4 de gramatura 180 g/m² constituiu uma adaptação relevante sob a perspectiva da segurança, economia e da usabilidade do material. Durante os testes preliminares, observou-se que algumas chapas de offset, dependendo do fabricante e das características do material empregado, apresentavam bordas potencialmente cortantes. Além disso, após a realização das marcações por punção, os relevos produzidos nos pontos experimentais, eixos e demais elementos gráficos geravam superfícies com pequenas saliências rígidas que, em determinadas situações, poderiam provocar desconforto ou até mesmo pequenos ferimentos durante a exploração tátil. Em contraste, a utilização do papel de maior gramatura manteve a qualidade das marcações em relevo, ao mesmo tempo em que reduziu significativamente os riscos associados ao manuseio do material e reduziu significativamente os custos de produção.

Cabe destacar que todas as marcações realizadas durante o processo de construção do gráfico são produzidas inicialmente em baixo-relevo. Após a conclusão da etapa de marcação, a folha de papel A4 de 180 g/m² deve ser invertida, de modo

que os relevos passem a se apresentar em alto-relevo, tornando os pontos, linhas e demais elementos gráficos adequados à exploração e à leitura tátil pelos estudantes.

As adaptações implementadas ao longo da pesquisa contribuíram significativamente para o aprimoramento do produto educacional, tornando-o mais acessível, funcional e compatível com as demandas do ensino inclusivo de Física Experimental. Além de reduzir custos e simplificar os procedimentos de construção, as modificações favoreceram a percepção tátil das informações gráficas e ampliaram as possibilidades de participação autônoma dos estudantes com deficiência visual nas atividades experimentais.

7.5.3 Descrição das etapas da intervenção

A sequência didática foi estruturada em quatro encontros presenciais, articulados de forma progressiva, contemplando momentos de diagnóstico, fundamentação teórica, recursos de acessibilidade, simulação computacional, prática experimental, construção e análise gráfica e avaliação formativa de caráter processual. Considerando a carga horária disponível (entre duas e três horas-aula por encontro, sendo cada hora-aula com duração de 45 minutos), buscou-se uma organização metodológica que favorecesse a participação ativa de todos os estudantes, incluindo o estudante com deficiência visual. As etapas realizadas em cada encontro são descritas cronologicamente a seguir:

- **Etapla prévia — diagnóstico**

Antes da implementação da sequência didática, foi aplicado um questionário diagnóstico, disponibilizado no Apêndice C, com a finalidade de identificar os conhecimentos prévios dos estudantes acerca dos conceitos fundamentais de Eletrodinâmica abordados nesta pesquisa. O instrumento, composto por questões objetivas, avaliou a compreensão dos participantes sobre a relação entre tensão elétrica, corrente elétrica e resistência elétrica, a identificação de relações de proporcionalidade entre grandezas físicas, o comportamento da corrente elétrica em função da variação da resistência, a classificação de dispositivos quanto à obediência à Lei de Ohm, a interpretação do gráfico característico de um condutor ôhmico e a associação do conceito de resistência elétrica à oposição à passagem da corrente elétrica. Os resultados obtidos foram utilizados como base para o planejamento das intervenções pedagógicas subsequentes, permitindo adequar a abordagem às necessidades da turma.

- **Aulas teóricas: Leis de Ohm e participação ativa da turma**

A sequência didática teve início com aulas expositivas dialogadas sobre a Primeira e a Segunda Lei de Ohm e as características dos dispositivos ôhmicos e não ôhmicos. Durante as explicações, os estudantes foram incentivados a participar ativamente por meio de questionamentos, resolução de exercícios e discussões coletivas, favorecendo a mobilização de conhecimentos prévios e a construção gradual dos conceitos científicos, em consonância com os pressupostos da aprendizagem ativa (BONWELL; EISON, 1991). A Figura 10 ilustra um desses momentos de mediação pedagógica, no qual a pesquisadora apresenta os conceitos teóricos aos estudantes e conduz as discussões iniciais que fundamentaram as etapas experimentais subsequentes.

Figura 10: Aula expositiva dialogada sobre a Primeira e a Segunda Lei de Ohm e as características dos dispositivos ôhmicos e não ôhmicos.



Fonte: Autoria própria.

No desenvolvimento das aulas, a mediação pedagógica foi planejada de modo a assegurar a participação efetiva do estudante com deficiência visual, que apresentava cegueira total em um dos olhos e aproximadamente 10% de visão residual no outro. Para favorecer seu acesso às informações visuais, o estudante permanecia nas primeiras carteiras da sala e utilizava um tablet como recurso

tecnológico, tanto para ampliar textos, imagens e exercícios quanto para registrar fotografias do quadro e visualizá-las com maior ampliação. Paralelamente, a pesquisadora realizou a transposição dos conteúdos por meio de descrições orais sistemáticas, audiodescrição pedagógica e da utilização de materiais concretos acessíveis. Componentes como pilhas, baterias, resistores, LEDs, buzzers e outros dispositivos empregados nas atividades foram disponibilizados para exploração tátil, permitindo que o estudante estabelecesse relações entre suas características físicas, suas funções nos circuitos elétricos e os conceitos discutidos em sala de aula.

Além disso, durante a abordagem dos conceitos relacionados à Lei de Ohm e às representações gráficas, foram utilizados gráficos táteis (Figura 11) confeccionados com materiais de baixo custo, possibilitando a exploração tátil dos eixos cartesianos, das escalas, dos pontos experimentais e das curvas de ajuste. Em todas as etapas da sequência didática, a pesquisadora buscou verificar continuamente a compreensão dos estudantes por meio de questionamentos, discussões e momentos de reflexão coletiva, incentivando a participação de toda a turma. O estudante com deficiência visual participou ativamente dessas interações, contribuindo com questionamentos, observações e discussões ao longo das atividades.

- **Recursos táteis de acessibilidade: gráficos em relevo**

Como estratégia de acessibilidade e apoio à aprendizagem, foram confeccionados, pela pesquisadora, gráficos ampliados em relevo utilizando materiais de baixo custo e fácil obtenção, como EVA, canudos, pérolas e papelão. Esses recursos foram utilizados para representar as curvas características de dispositivos ôhmicos e não ôhmicos, possibilitando que os estudantes percebessem as diferenças entre os comportamentos lineares e não lineares da relação entre tensão e corrente elétrica, e funcionaram como instrumentos introdutórios de familiarização dos estudantes com a estrutura e a organização gráfica, anteriores à construção autônoma de seus próprios gráficos. A Figura 11 apresenta alguns dos modelos confeccionados e utilizados durante essa etapa da sequência didática.

Figura 11: Modelos táteis ampliados utilizados para a introdução à leitura e interpretação de gráficos de dispositivos ôhmicos e não ôhmicos.



Fonte: Autoria própria.

- **Simulação computacional: plataforma PhET Colorado e Kahoot!**

Como complemento às aulas teóricas, foram utilizados dois experimentos computacionais disponibilizados pela plataforma PhET Interactive Simulations, desenvolvida pela Universidade do Colorado, reconhecida por disponibilizar simulações interativas voltadas ao ensino de Ciências e Matemática. Essas simulações possibilitam a representação dinâmica de fenômenos físicos, permitindo a manipulação de variáveis e a visualização, em tempo real, das relações entre diferentes grandezas físicas, favorecendo a construção de modelos mentais e a compreensão de conceitos abstratos. Em algumas de suas simulações, a plataforma também incorpora recursos de acessibilidade, como navegação por teclado, descrições acessíveis e sonificação de determinados eventos, ampliando as possibilidades de participação de estudantes com diferentes necessidades educacionais.

Durante a sequência didática, a manipulação das simulações foi realizada pela pesquisadora, que conduziu a exploração dos fenômenos de forma dialogada, promovendo momentos de observação, levantamento de hipóteses, questionamentos e interpretação coletiva dos resultados. A primeira simulação, referente à Lei de Ohm, foi utilizada para demonstrar a relação matemática entre tensão elétrica, corrente elétrica e resistência. À medida que a tensão elétrica era modificada, os estudantes acompanhavam simultaneamente as alterações na expressão matemática da Lei de Ohm, a variação da intensidade da corrente elétrica representada graficamente no simulador e as mudanças na intensidade sonora produzida pelo circuito virtual. Essa integração entre representações matemáticas, visuais e auditivas possibilitou discutir, de forma mais concreta, as relações de proporcionalidade direta entre tensão e

corrente e de proporcionalidade inversa envolvendo a resistência elétrica, favorecendo a compreensão do significado físico da equação ($V = RI$), para além de sua simples manipulação algébrica.

Na sequência, foi empregada a simulação Circuit Construction Kit (DC), com o objetivo de complementar a abordagem teórica sobre associações de resistores e circuitos elétricos em série e em paralelo. A partir da montagem e modificação dos circuitos realizada pela pesquisadora, os estudantes analisaram o comportamento da corrente elétrica e da diferença de potencial em diferentes configurações, relacionando as representações computacionais aos princípios físicos discutidos durante as aulas e às atividades experimentais desenvolvidas posteriormente no laboratório. Durante toda a atividade, a pesquisadora realizou a mediação oral dos fenômenos observados, descrevendo as representações visuais, problematizando as situações apresentadas pelo simulador e conduzindo discussões que possibilitaram aos estudantes estabelecer relações entre o modelo computacional, os experimentos reais e os conceitos científicos envolvidos.

Como estratégia de consolidação dos conteúdos abordados ao longo da sequência didática, foi desenvolvida uma atividade de gamificação utilizando a plataforma Kahoot!. Trata-se de um ambiente digital de aprendizagem baseado em desafios e questionários interativos, no qual os participantes respondem, em tempo real, a questões projetadas pelo professor por meio de dispositivos móveis ou computadores. Nesta pesquisa, a atividade foi organizada em equipes e contemplou questões relacionadas à Primeira e à Segunda Lei de Ohm, à interpretação de circuitos elétricos e à análise de representações gráficas. Além de favorecer a revisão dos conteúdos, a dinâmica estimulou a argumentação entre os estudantes, a tomada de decisões coletivas, a participação ativa e o engajamento durante o processo de aprendizagem, constituindo-se como uma estratégia complementar de avaliação formativa ao final da etapa teórica da sequência didática.

- **Aula sobre circuitos elétricos e atividade prática com protoboard**

Na sequência, foi ministrada uma aula sobre associações de circuitos elétricos em série e em paralelo, utilizando novamente o simulador PhET Colorado como recurso didático para a demonstração visual e a exploração interativa das diferentes configurações de circuitos. Em seguida, foi realizada uma atividade experimental em que os estudantes, organizados em equipes, montaram circuitos elétricos utilizando resistores, LEDs e protoboards, ficando cada equipe responsável por identificar se a

associação correspondia a um circuito em série ou em paralelo e por descrever suas principais características e comportamentos observados. O estudante com deficiência visual participou ativamente de todas as etapas da atividade, manipulando os componentes e identificando sua disposição espacial por meio da exploração tátil. Ao término, as equipes apresentaram seus resultados para a turma, explicando os critérios utilizados para a identificação dos circuitos.

- **Experimento prático: medição de tensão e corrente elétrica**

Para a realização da atividade experimental, a turma foi organizada em duas equipes, em consonância com os princípios da aprendizagem cooperativa e da educação inclusiva. A Equipe 1, composta por estudantes videntes, investigou o comportamento elétrico de um resistor de $10\ \Omega$, representando um elemento ôhmico, enquanto a Equipe 2, formada pelo estudante com deficiência visual e seus colegas, analisou um buzzer ativo, caracterizado como elemento não ôhmico. Com o auxílio da apostila Guia Teórico-Experimental para a Construção de Gráficos Táteis: Primeira Lei de Ohm (Apêndice F), os estudantes realizaram medições de tensão e corrente elétrica em diferentes componentes do circuito, incluindo resistores, LEDs e buzzers ativos, utilizando pilhas caseiras construídas pelos próprios participantes. Os dados experimentais obtidos foram organizados em tabelas e posteriormente utilizados para a construção de gráficos em planilha eletrônica, os quais foram comparados com as previsões teóricas da Lei de Ohm. Em seguida, os estudantes reproduziram manualmente os gráficos em papel milimetrado a partir dos dados coletados experimentalmente.

- **Construção dos gráficos táteis: cooperatividade, equidade e inclusão**

A turma foi organizada em duas equipes para a construção dos gráficos táteis com base nos dados experimentais previamente obtidos. A Equipe 1, responsável pelo elemento ôhmico (resistor de $10\ \Omega$), era composta por estudantes videntes, sendo que um dos integrantes realizou a construção e a exploração do gráfico com os olhos vendados, utilizando exclusivamente a percepção tátil para interpretar a representação gráfica. A Equipe 2, responsável pelo elemento não ôhmico (buzzer ativo), foi formada pelo estudante com deficiência visual e seus colegas, que construíram o gráfico referente ao comportamento não ôhmico do dispositivo.

Para essa etapa, os estudantes receberam a apostila Guia Teórico Experimental para a Construção de Gráficos Táteis: Primeira Lei de Ohm (Apêndice F), contendo orientações sobre o sistema Braille, instruções para a construção dos

gráficos e procedimentos para a identificação dos eixos, unidades de medida e legendas. Durante a atividade, observaram-se significativas trocas de conhecimentos entre os integrantes das equipes, evidenciadas pela colaboração na montagem dos materiais, na fixação dos elementos em relevo e na conferência das medidas utilizadas na elaboração dos gráficos.

- **Apresentação dos resultados e socialização na Semana do Físico**

Ao término da sequência didática, foi realizada uma etapa de socialização dos resultados obtidos ao longo do desenvolvimento das atividades. Cada equipe apresentou os produtos construídos durante a intervenção pedagógica, incluindo os dados experimentais coletados, os gráficos elaborados em planilha eletrônica, os gráficos confeccionados em papel milimetrado e os gráficos táteis produzidos para fins de acessibilidade, descrevendo os procedimentos metodológicos adotados, os fundamentos teóricos envolvidos e as dificuldades encontradas durante a execução. O encontro foi finalizado com um momento de socialização e reflexão coletiva sobre a relação entre representação gráfica e significado físico, a importância da acessibilidade no ensino de Ciências e as contribuições da metodologia para a aprendizagem dos conteúdos abordados. Adicionalmente, os resultados desta pesquisa foram divulgados durante a I Semana do Físico, ação de extensão da Coordenação do Curso de Física Licenciatura (CCFL) realizada na Universidade Federal do Maranhão, por meio da apresentação de um pôster científico que possibilitou a interação direta dos participantes do evento com os materiais táteis produzidos.

- **Avaliação final: questionário de satisfação**

Ao final da sequência didática, os 19 estudantes responderam, por meio da plataforma Google Forms, a um questionário de satisfação, disponibilizado no Apêndice D, composto por questões em escala Likert (1 a 5) e perguntas abertas, destinado a avaliar suas percepções sobre a aprendizagem, a interpretação de gráficos, o reconhecimento de padrões em dados experimentais, o potencial inclusivo dos gráficos táteis e as reflexões promovidas pela atividade sobre inclusão escolar.

7.6 Análise dos dados

Os dados coletados ao longo da pesquisa foram analisados de forma complementar, integrando a uma abordagem qualitativa. Para os dados da etapa prévia pelo diagnóstico e do questionário de satisfação (Apêndices C e D), foi realizada análise descritiva com cálculo de frequências relativas e absolutas e de

médias, com o objetivo de identificar indícios de aprendizagem e de satisfação dos estudantes em relação à construção e à interpretação de gráficos. Para o estudante com deficiência visual, os resultados do gráfico tátil foram comparados com os valores teóricos previstos pela Lei de Ohm e com os obtidos pelos demais formatos de representação gráfica produzidos ao longo da intervenção, avaliando a precisão dos parâmetros ajustados tatilmente.

Os dados qualitativos, provenientes das observações de campo, das perguntas abertas do questionário de satisfação e das interações registradas durante as etapas da intervenção, foram submetidos à análise de conteúdo, segundo os procedimentos propostos por Bardin (2016). As categorias de análise foram definidas a posteriori, a partir do material empírico coletado, buscando identificar padrões relativos à autonomia do estudante com deficiência visual, à qualidade da mediação pedagógica, às dinâmicas de cooperação entre os participantes e às percepções sobre a acessibilidade e o potencial pedagógico dos gráficos táteis.

Os resultados obtidos foram discutidos à luz do referencial teórico da pesquisa, articulando as contribuições de Vygotsky (1998) sobre mediação e zona de desenvolvimento proximal, os princípios do Desenho Universal para a Aprendizagem (CAST, 2018) e as perspectivas da educação inclusiva no ensino de Física (CAMARGO, 2012; MANTOAN, 2015).

8 APLICAÇÃO DA PROPOSTA E RELATO DA EXPERIÊNCIA

Esta seção apresenta e discute os resultados obtidos durante a implementação da sequência didática voltada ao ensino da Lei de Ohm, dos circuitos elétricos e da diferenciação entre dispositivos ôhmicos e não ôhmicos, desenvolvida sob uma perspectiva inclusiva e fundamentada na utilização de gráficos táteis como recurso pedagógico. A proposta buscou promover a compreensão dos conceitos físicos por meio da integração entre atividades experimentais, construção e interpretação de representações gráficas e estratégias de acessibilidade que favorecessem a participação de todos os estudantes, independentemente de suas condições visuais.

A análise dos resultados foi realizada a partir dos dados obtidos por meio dos instrumentos de coleta aplicados ao longo da intervenção pedagógica, incluindo o diagnóstico inicial, o questionário de satisfação e os registros das observações realizadas durante as atividades. Também foram considerados os relatos dos estudantes, as interações estabelecidas entre os participantes e os aspectos relacionados à participação e ao desenvolvimento das etapas propostas na sequência didática.

A análise integrada dos dados provenientes dos diferentes instrumentos de coleta possibilitou uma compreensão mais abrangente do fenômeno investigado, uma vez que cada fonte de informação contribuiu com perspectivas complementares sobre o processo de ensino e aprendizagem. Conforme destaca Flick (2009), a utilização de múltiplas fontes de evidência favorece uma interpretação mais consistente dos dados, ao permitir a articulação de diferentes dimensões do objeto investigado. Nesse sentido, foi possível analisar não apenas a aprendizagem dos conceitos relacionados à eletricidade, mas também aspectos associados ao engajamento dos estudantes, à participação colaborativa, às interações estabelecidas durante a sequência didática e às percepções sobre a utilização dos recursos didáticos acessíveis e do produto educacional desenvolvido.

Dessa forma, os resultados são apresentados de maneira articulada, relacionando os dados quantitativos às evidências qualitativas observadas ao longo do processo, com o objetivo de compreender em que medida a metodologia adotada contribuiu para a construção do conhecimento científico e para o fortalecimento de práticas pedagógicas inclusivas no ensino de Física.

Para fins de organização, a discussão dos resultados foi estruturada em três eixos analíticos: (i) conhecimentos prévios e diagnóstico inicial dos estudantes; (ii)

aprendizagem conceitual e desenvolvimento das atividades de construção e interpretação de gráficos táteis; e (iii) percepção dos participantes acerca da proposta didática e de sua contribuição para a inclusão e aprendizagem em Física.

8.1 Experiência Prévia e Encontros com Pessoas com Deficiência Visual

Antes da implementação da sequência didática, foram realizados encontros com pessoas com deficiência visual com o objetivo de ampliar a compreensão acerca das experiências, desafios e necessidades educacionais desse público. Um dos encontros foi dedicado ao compartilhamento de vivências e à discussão sobre a importância da construção de uma educação mais inclusiva, proporcionando reflexões sobre as barreiras enfrentadas por estudantes com deficiência visual e sobre estratégias que favorecem sua participação efetiva nos processos de ensino e aprendizagem.

Além desse momento de diálogo, foram realizados encontros específicos com Mayk Machado, técnico do Núcleo de Atendimento aos Alunos com Necessidades Educacionais Específicas (NAPNEE) da instituição e pessoa com deficiência visual total, cuja colaboração foi fundamental para o desenvolvimento do produto educacional. Durante esses encontros, foram abordados aspectos relacionados à leitura e à escrita em Braille, ao uso de recursos de acessibilidade e às experiências vivenciadas por pessoas com deficiência visual no contexto educacional. Mayk Machado também forneceu orientações técnicas importantes para a elaboração dos materiais didáticos, contribuindo para a seleção dos recursos mais adequados e para a organização da apostila em um formato compatível com softwares leitores de tela. Suas sugestões possibilitaram a reestruturação do material, contemplando critérios de acessibilidade digital que favorecem a navegação, a leitura e a compreensão do conteúdo por estudantes com deficiência visual.

8.2 Sequência de Ensino

A intervenção pedagógica foi desenvolvida por meio de uma sequência didática composta por atividades teóricas, experimentais e investigativas voltadas ao estudo da Lei de Ohm, dos dispositivos ôhmicos e não ôhmicos e dos circuitos elétricos. As estratégias adotadas buscaram favorecer a participação ativa dos estudantes, a articulação entre teoria e prática e a utilização de recursos acessíveis no contexto da educação inclusiva.

Nas subseções seguintes, são apresentados e discutidos os principais resultados observados em cada etapa da intervenção, considerando as atividades

realizadas, as interações dos estudantes e as contribuições da proposta para o processo de ensino e aprendizagem.

8.2.1 Aulas Teóricas: Leis de Ohm e Participação Ativa da Turma

As interações estabelecidas durante as etapas iniciais da sequência didática evidenciaram que a articulação entre diferentes estratégias de ensino favoreceu o envolvimento dos estudantes com os conceitos introdutórios da Eletrodinâmica. Em vez de assumir uma postura passiva diante da exposição dos conteúdos, os estudantes participaram de discussões, formularam hipóteses, responderam aos questionamentos propostos e relacionaram seus conhecimentos prévios às situações apresentadas ao longo das aulas. Esse movimento contribuiu para que conceitos como circuitos elétricos, Primeira e Segunda Lei de Ohm e o comportamento de dispositivos ôhmicos e não ôhmicos fossem gradualmente compreendidos de maneira mais significativa.

Nesse contexto, as atividades de experimentação por demonstração integraram as aulas teóricas, constituindo uma estratégia de mediação pedagógica para aproximar os conceitos discutidos em sala de aula dos fenômenos físicos observáveis. Nessa modalidade de experimentação, a montagem, a manipulação dos materiais e a condução do experimento foram realizadas pela pesquisadora, enquanto os estudantes acompanharam as demonstrações, observaram os fenômenos apresentados e participaram das discussões por meio de questionamentos e da formulação de hipóteses. A Figura 12 ilustra um dos momentos dessa etapa, durante a montagem e a análise de circuitos elétricos utilizando pilhas caseiras.

De acordo com Ibiapina (2022), a experimentação por demonstração caracteriza-se pela centralidade da atuação do professor na execução do experimento, cabendo aos estudantes a observação dos fenômenos e o acompanhamento das explicações. Embora essa modalidade apresente menor protagonismo discente quando comparada a outras abordagens experimentais, a autora destaca que ela desempenha um papel relevante ao tornar os conteúdos mais concretos, despertar o interesse dos estudantes e favorecer a compreensão inicial dos conceitos científicos. No contexto desta pesquisa, observou-se que essa estratégia contribuiu para aproximar as representações teóricas das situações experimentais, promovendo maior participação nas discussões, frequentes questionamentos acerca do funcionamento dos circuitos elétricos e uma postura investigativa dos estudantes,

constituindo uma etapa preparatória para as atividades experimentais posteriormente desenvolvidas pelos próprios grupos.

A adoção dessas estratégias contribuiu para aproximar os conceitos teóricos dos fenômenos físicos observáveis, favorecendo uma compreensão mais concreta dos conteúdos abordados. Além disso, possibilitou que os estudantes se familiarizassem, de forma gradual, com os procedimentos experimentais, os materiais e os equipamentos que seriam posteriormente empregados nas atividades práticas, proporcionando maior segurança, autonomia e participação durante o desenvolvimento das investigações experimentais.

Figura 12: Atividade prática envolvendo a montagem de circuitos elétricos com pilhas caseiras associadas em série e em paralelo, utilizando protoboard, resistores e LED.



Fonte: Autoria própria.

A dinâmica de aula expositiva dialogada, fundamentada nos pressupostos da aprendizagem ativa (BONWELL; EISON, 1991), revelou-se eficaz para engajar os estudantes e estimular a formulação de hipóteses sobre os fenômenos físicos estudados. As perguntas realizadas ao longo das exposições funcionaram como dispositivos de ativação cognitiva, possibilitando ao professor identificar concepções alternativas e ajustar o ritmo da instrução conforme as necessidades da turma.

Do ponto de vista científico, esse achado é coerente com a perspectiva sociointeracionista de Vygotsky (1998), segundo a qual o desenvolvimento de conceitos não decorre da mera exposição do conteúdo, mas da mediação ativa entre professor e estudante por meio da linguagem e do questionamento dirigido. Nesse sentido, o diálogo estabelecido durante a aula expositiva atuou como instrumento de mediação simbólica, deslocando a interação da turma de uma postura passiva para um processo de internalização progressiva dos conceitos de tensão, corrente e

resistência elétrica, validando a escolha metodológica adotada para a etapa inicial da intervenção.

8.2.2 Recursos Táteis de Acessibilidade: Gráficos em Relevô

A utilização dos gráficos ampliados em relevô evidenciou o potencial de recursos didáticos acessíveis confeccionados com materiais de baixo custo na mediação do ensino de Física. A exploração tátil e visual dessas representações favoreceu a compreensão das diferenças entre os comportamentos característicos de dispositivos ôhmicos e não ôhmicos, permitindo que os estudantes identificassem com maior clareza a linearidade da relação entre tensão e corrente elétrica nos condutores ôhmicos e o comportamento não linear observado nos dispositivos não ôhmicos. Além de ampliarem as possibilidades de acesso às representações gráficas, esses recursos demonstraram que é possível desenvolver materiais pedagógicos acessíveis utilizando insumos de fácil obtenção e baixo custo, sem comprometer sua funcionalidade didática. Esse aspecto reforça sua viabilidade de aplicação em diferentes contextos escolares, especialmente naqueles com limitações de recursos, favorecendo práticas pedagógicas mais acessíveis, inclusivas e participativas.

Os modelos apresentados na Figura 13 exemplificam gráficos táteis produzidos com materiais de baixo custo, representando diferentes relações entre grandezas físicas. Os gráficos de corrente–tensão ($I \times V$) ilustram o comportamento de dispositivos ôhmicos e não ôhmicos, ao passo que o gráfico força–aceleração ($F \times a$) expressa a relação descrita pela Segunda Lei de Newton. A variedade dos exemplos demonstra que o produto educacional não se limita ao estudo da Lei de Ohm, podendo ser adaptado para representar distintos tipos de gráficos empregados no ensino de Física, Química, Matemática e outras áreas.

Figura 13: Modelos de gráficos táteis produzidos para a representação das relações corrente–tensão ($I \times V$) em dispositivos ôhmicos e não ôhmicos, bem como da relação força–aceleração ($F \times a$).



Fonte: Autoria própria.

Além de permitir a exploração tátil das relações entre variáveis, esses modelos funcionam como recursos introdutórios que promovem a familiarização dos estudantes com a estrutura e a organização gráfica antes que construam seus próprios gráficos. Essa abordagem é respaldada pela literatura sobre educação de estudantes com deficiência visual, que ressalta a importância do contato prévio com objetos e representações concretas para o desenvolvimento de conceitos espaciais e para a interpretação de informações gráficas (CORN; ERIN, 2010). Dessa forma, os modelos atuam como instrumentos de mediação pedagógica, apoiando a compreensão inicial das características de um gráfico e contribuindo para uma construção mais autônoma e significativa de representações futuras.

A utilização desses materiais, favoreceu a compreensão dos conceitos trabalhados e proporcionou uma experiência multissensorial de aprendizagem (MORE, 2008). A participação do estudante com deficiência visual ocorreu de forma integrada às atividades desenvolvidas: além da descrição verbal das representações visuais, os gráficos táteis permitiram a exploração das informações por meio do tato, contribuindo para uma compreensão mais concreta das representações gráficas e promovendo condições mais equitativas de participação.

"O uso de materiais concretos e multissensoriais favorece a inclusão de estudantes com deficiência visual, na medida em que permite o acesso ao conhecimento por vias não exclusivamente visuais, respeitando a diversidade das formas de aprendizagem." (VIGINHESKI et al., 2014, p. 73)

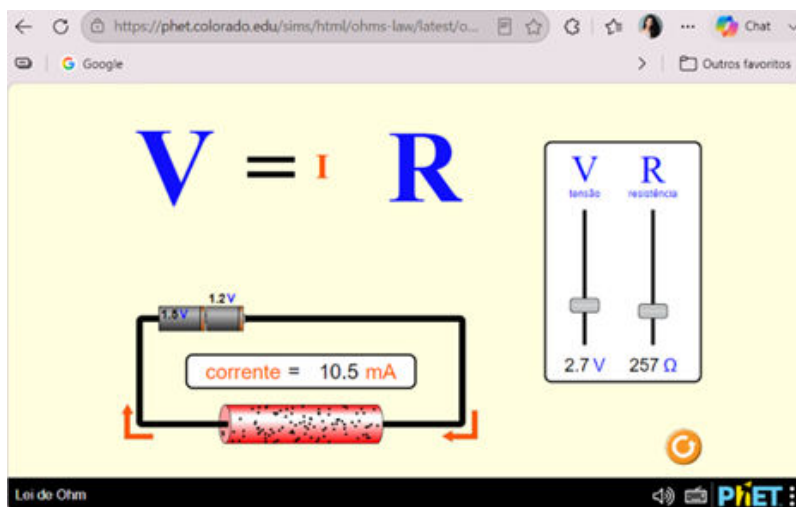
As observações realizadas evidenciaram elevado engajamento da turma e o desenvolvimento de habilidades previstas na EM13CNT301 da BNCC, especialmente relacionadas ao uso de instrumentos de medição, à interpretação de resultados experimentais e à construção e justificativa de conclusões fundamentadas em evidências.

Esse engajamento encontra fundamentação científica nos estudos sobre percepção háptica, segundo os quais a exploração tátil ativa constitui uma via legítima e eficaz de acesso à informação espacial, comparável, em diversos aspectos, à percepção visual quando devidamente mediada (HATWELL, 2003). A literatura sobre cognição espacial em pessoas com deficiência visual reforça que o contato direto com representações tridimensionais antecede e favorece a formação de esquemas mentais robustos sobre relações entre grandezas (LIBEN, 2006; MILLAR, 1994), o que justifica metodologicamente a opção pelos modelos em relevo como etapa introdutória anterior à construção autônoma dos gráficos pelos estudantes.

8.2.3 Simulação Computacional: Plataforma PhET Colorado

Na etapa seguinte, utilizou-se a plataforma PhET Colorado para auxiliar a compreensão da relação entre tensão elétrica, corrente elétrica e resistência. Por meio das simulações interativas, os estudantes manipularam variáveis e observaram os efeitos dessas alterações no circuito elétrico, favorecendo a visualização da proporcionalidade entre as grandezas estudadas. A Figura 14 apresenta a interface do simulador utilizada durante a atividade.

Figura 14: Interface do simulador PhET Colorado — Lei de Ohm.



Fonte: PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder.

A atividade permitiu relacionar os conceitos teóricos às representações dinâmicas dos fenômenos físicos, estimulando a observação, a formulação de hipóteses e a interpretação dos resultados (WIEMAN et al., 2008). Para o estudante com deficiência visual, a mediação oral e os recursos sonoros do simulador possibilitaram o acompanhamento das simulações e das discussões, assegurando sua participação na atividade.

Ao final da etapa de simulação, foi realizada uma atividade gamificada por meio da plataforma Kahoot!, organizada em equipes e acompanhada de premiação simbólica. A dinâmica promoveu um ambiente de competição saudável, favorecendo o engajamento na resolução das questões propostas, a cooperação entre os integrantes das equipes e a argumentação científica na tomada de decisões.

8.2.4 Aula sobre Circuitos Elétricos e Atividade Prática

A abordagem dos circuitos elétricos em série e em paralelo possibilitou analisar o desenvolvimento da compreensão dos estudantes acerca das relações entre as grandezas elétricas envolvidas em diferentes configurações de circuitos. A utilização

da simulação computacional favoreceu a observação das variações da corrente elétrica, da diferença de potencial e do comportamento dos componentes do circuito, permitindo estabelecer relações entre as representações virtuais e os modelos físicos discutidos em sala de aula. Durante a atividade, verificou-se que a exploração das diferentes configurações contribuiu para a interpretação dos fenômenos elétricos e para a consolidação dos conceitos relacionados às associações de circuitos.

Interpretando esse processo a partir das contribuições de Vygotsky (2007), destaca-se que a aprendizagem dos conceitos científicos ocorre por meio das interações sociais e da mediação intencional realizada pelo professor, utilizando recursos e estratégias que favoreçam a construção do conhecimento. Nesse contexto, a simulação computacional constituiu um recurso didático empregado pela pesquisadora para apoiar a mediação pedagógica, possibilitando a apresentação de diferentes representações dos fenômenos elétricos e a articulação entre os modelos científicos e as situações observadas. A partir dos questionamentos, das explicações e das discussões conduzidas durante a atividade, os estudantes foram orientados a interpretar os resultados apresentados pelo simulador, relacionando-os aos conceitos da Eletrodinâmica e desenvolvendo gradualmente uma compreensão mais sistematizada dos fenômenos estudados.

A atividade experimental proposta pela pesquisadora teve como objetivo possibilitar que os estudantes identificassem, a partir da montagem e análise de circuitos elétricos, as características associadas às diferentes configurações de ligação dos componentes. Inicialmente, foram apresentados dois circuitos por meio de representações ilustrativas, sem a identificação da configuração correspondente, de modo que os estudantes pudessem analisar seus elementos constituintes e, posteriormente, reproduzir essas montagens utilizando protoboards. A partir da construção dos circuitos e das discussões realizadas entre os integrantes das equipes, os estudantes deveriam determinar se as associações representavam circuitos em série ou em paralelo, justificando suas conclusões com base nos conceitos físicos estudados.

O desenvolvimento dessa atividade favoreceu a participação ativa dos estudantes na investigação experimental, pois a identificação das associações não ocorreu por meio de uma informação previamente fornecida, mas a partir da análise dos elementos constituintes do circuito, das conexões realizadas e dos comportamentos observados durante a montagem. Essa dinâmica aproxima-se das

propostas de ensino por investigação, nas quais o estudante é incentivado a formular hipóteses, analisar evidências e construir explicações para os fenômenos estudados (CARVALHO, 2013). Ao longo dessa etapa, as equipes discutiram suas interpretações, confrontaram diferentes possibilidades de explicação e construíram coletivamente os significados atribuídos aos fenômenos observados, processo que pode ser interpretado a partir das contribuições de Vygotsky (2007), ao considerar a interação social e a mediação pela linguagem como elementos fundamentais na construção do conhecimento.

Ao final da atividade, os grupos realizaram a socialização dos resultados obtidos, apresentando suas conclusões para a turma e justificando as características identificadas em cada configuração. Durante esse momento, destacou-se a participação do estudante com deficiência visual, integrante da equipe responsável pela análise do circuito em associação em paralelo, que realizou a apresentação oral dos resultados e demonstrou compreensão dos conceitos envolvidos, contribuindo para as discussões coletivas. A outra equipe apresentou sua análise utilizando a representação gráfica do circuito no quadro, possibilitando a comunicação visual do modelo construído. Essa etapa evidenciou a importância da utilização de diferentes formas de representação e comunicação científica, aspecto também valorizado pela BNCC (BRASIL, 2018), ao destacar a necessidade de desenvolver nos estudantes a capacidade de interpretar, produzir e comunicar conhecimentos científicos por diferentes linguagens e representações. A Figura 15 ilustra um dos momentos em que os estudantes apresentaram os resultados de suas análises e discutiram o comportamento dos diferentes tipos de associações elétricas.

Figura 15: Apresentação realizada pelos estudantes sobre o comportamento e o funcionamento de circuitos elétricos com associações em série, paralelo e mista.



Fonte: Autoria própria.

Ao término da atividade, os grupos apresentaram seus resultados para a turma, explicando os critérios utilizados para a identificação dos circuitos e discutindo os fenômenos observados durante a montagem e o funcionamento dos sistemas elétricos. Esse momento contribuiu para o desenvolvimento da comunicação científica, da argumentação e da socialização dos conhecimentos construídos ao longo da prática.

O estudante com deficiência visual participou ativamente de todas as etapas da atividade, manipulando os componentes, identificando sua disposição espacial por meio da exploração tátil e contribuindo com as discussões e explicações acerca dos resultados obtidos. Além disso, participou da análise das características dos circuitos e da apresentação das observações realizadas pelo grupo. A experiência prática mostrou-se particularmente relevante para sua compreensão dos conceitos de associação em série e em paralelo, evidenciando o potencial das atividades experimentais como estratégia de promoção da aprendizagem em contextos inclusivos (SOLER, 1999).

8.2.5 Experimento Prático: Medição de Tensão e Corrente Elétrica

A dinâmica colaborativa estabelecida durante a atividade experimental evidenciou a contribuição da organização da turma em equipes para a participação dos estudantes nas etapas de investigação, análise e interpretação dos fenômenos elétricos. A turma foi organizada em duas equipes: a Equipe 1, composta por estudantes videntes, ficou responsável pela investigação do comportamento do resistor de $10\ \Omega$, utilizando esse componente como representação de um elemento ôhmico; enquanto a Equipe 2, constituída pelo estudante com deficiência visual e seus demais colegas, realizou a análise do buzzer ativo, componente caracterizado como um elemento não ôhmico.

A etapa experimental da sequência didática possibilitou aos estudantes estabelecer relações entre as grandezas elétricas medidas e os modelos teóricos discutidos anteriormente, a partir da análise do comportamento de diferentes componentes eletrônicos. As medições de tensão e corrente elétrica realizadas em um resistor, um LED e um buzzer ativo permitiram comparar experimentalmente dispositivos com características ôhmicas e não ôhmicas, favorecendo a compreensão das diferenças existentes na relação entre essas grandezas e na interpretação de suas representações gráficas.

O desenvolvimento da atividade utilizando as pilhas caseiras construídas pelos próprios estudantes contribuiu para aproximar os conceitos de Eletrodinâmica de uma experiência prática e contextualizada, possibilitando que os participantes acompanhassem todas as etapas do processo experimental, desde a obtenção da fonte de alimentação até a coleta e organização dos dados. O Guia Teórico-Experimental para a Construção de Gráficos Táteis: Primeira Lei de Ohm (Apêndice F) atuou como suporte à sistematização das atividades, orientando os procedimentos experimentais, a organização das informações coletadas e a construção das representações gráficas acessíveis.

A utilização do material em formato impresso e digital favoreceu o acesso dos estudantes às informações necessárias para o desenvolvimento da atividade, incluindo orientações sobre o sistema Braille, identificação dos eixos, unidades de medida, legendas e demais elementos constituintes dos gráficos táteis. Nesse contexto, o guia contribuiu não apenas como um roteiro de execução, mas como um instrumento de apoio à organização do processo investigativo, permitindo que os estudantes participassem das etapas de coleta, análise e representação dos dados experimentais de forma mais autônoma e colaborativa.

Dessa forma, a atividade articulou a experimentação científica com a construção de recursos acessíveis, favorecendo a aplicação prática dos conceitos estudados e fortalecendo a relação entre o conhecimento científico e situações do cotidiano dos estudantes (MOREIRA, 2011).

Embora ambas as equipes tenham desenvolvido procedimentos experimentais equivalentes, com a mesma configuração geral do circuito e realização das medições de tensão e corrente elétrica, houve uma diferença específica relacionada ao componente analisado como receptor elétrico. Enquanto uma equipe utilizou o resistor de $10\ \Omega$ como elemento de investigação, representando um dispositivo ôhmico, a outra realizou as medições utilizando o buzzer ativo, associado a um comportamento não ôhmico.

Durante a análise dos resultados, observou-se que os dados obtidos pela equipe responsável pelo buzzer apresentaram maior dispersão e algumas inconsistências, dificultando a construção e a interpretação da representação gráfica da relação entre tensão e corrente elétrica, conforme a Figura 18. Essas variações podem estar associadas tanto às características próprias do comportamento não linear desse dispositivo quanto a fatores experimentais relacionados ao sistema de

alimentação utilizado, como as oscilações na tensão fornecida pelas pilhas caseiras, diferenças na concentração da solução eletrolítica, variações na área de contato dos eletrodos e possíveis imprecisões durante os procedimentos de medição e registro dos dados.

Considerando que tais fatores podem comprometer a confiabilidade dos resultados, optou-se por realizar uma nova coleta de dados em uma etapa posterior conforme ilustrado na Figura 16, utilizando pilhas comerciais de 1,5 V acopladas a um suporte confeccionado em tubo de PVC. Essa adaptação teve como objetivo reduzir as fontes de erro associadas à alimentação do circuito e proporcionar condições experimentais mais estáveis, permitindo uma representação mais fiel do comportamento não ôhmico do buzzer e uma análise mais consistente da relação entre tensão e corrente elétrica.

Figura 16: Atividade prática envolvendo a montagem de circuitos elétricos com pilhas convencionais e cano de PVC.



Fonte: Autoria própria.

Cabe destacar que, nessa nova configuração, não foram utilizadas todas as quatro pilhas simultaneamente. Essa decisão decorreu das discussões realizadas em sala de aula acerca das características elétricas dos componentes investigados — resistor, LED e buzzer — e dos limites de tensão suportados por cada dispositivo. Considerando que a associação das quatro pilhas forneceria uma tensão total de aproximadamente 6 V, superior à necessária para a operação adequada dos

elementos analisados, optou-se por utilizar apenas a quantidade de pilhas suficiente para o funcionamento seguro do circuito em cada situação experimental. Dessa forma, buscou-se evitar possíveis danos aos componentes e garantir condições mais adequadas para a obtenção de medidas confiáveis, preservando a qualidade dos dados utilizados na construção dos gráficos.

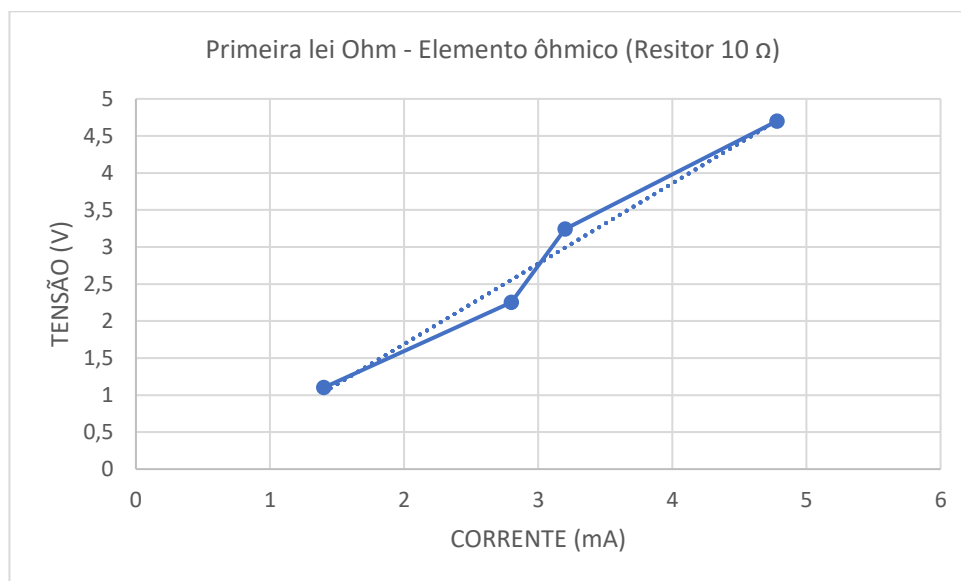
A escolha dos componentes teve finalidades didáticas e inclusivas. O resistor foi utilizado por apresentar comportamento ôhmico, com expectativa de uma relação linear entre tensão e corrente elétrica, resultando em um gráfico compatível com a Primeira Lei de Ohm. Já o LED e o buzzer ativo foram empregados como exemplos de dispositivos não ôhmicos, cuja relação entre tensão e corrente é não linear. Embora o LED seja frequentemente utilizado em atividades experimentais para indicar visualmente a passagem da corrente elétrica, sua utilização isolada não atenderia adequadamente a uma turma com estudante com deficiência visual. Por isso, foi incorporado o buzzer ativo, que permitiu identificar a passagem da corrente por meio do som emitido, variando de um ruído inicial a um sinal mais audível conforme as condições do circuito eram alteradas. Dessa forma, a atividade possibilitou a observação dos fenômenos elétricos por diferentes vias sensoriais, favorecendo uma aprendizagem mais inclusiva.

A substituição do canal visual pelo canal auditivo nessa etapa experimental representa, sob o ponto de vista da Física, uma estratégia de validação multimodal do fenômeno observado. Tanto a luminosidade do LED quanto a frequência sonora do buzzer ativo são manifestações físicas decorrentes da mesma grandeza investigada, a corrente elétrica que atravessa o dispositivo, de modo que a alteração do canal sensorial de leitura não compromete a validade física da observação, apenas desloca sua via de acesso perceptivo. Tal escolha está em consonância com os pressupostos da comunicação multissensorial no ensino de Física para estudantes com deficiência visual, segundo os quais a tradução de grandezas físicas em estímulos sonoros constitui recurso legítimo de mediação quando a informação visual não está disponível (CAMARGO; NARDI; VERASZTO, 2008).

Após a realização dos experimentos, os dados coletados foram organizados em tabelas e utilizados na construção de gráficos por meio do Microsoft Excel, possibilitando a visualização das relações entre as grandezas físicas investigadas. Em seguida, os resultados experimentais foram comparados com os valores teóricos previstos pela Lei de Ohm, favorecendo a análise crítica dos dados obtidos, a

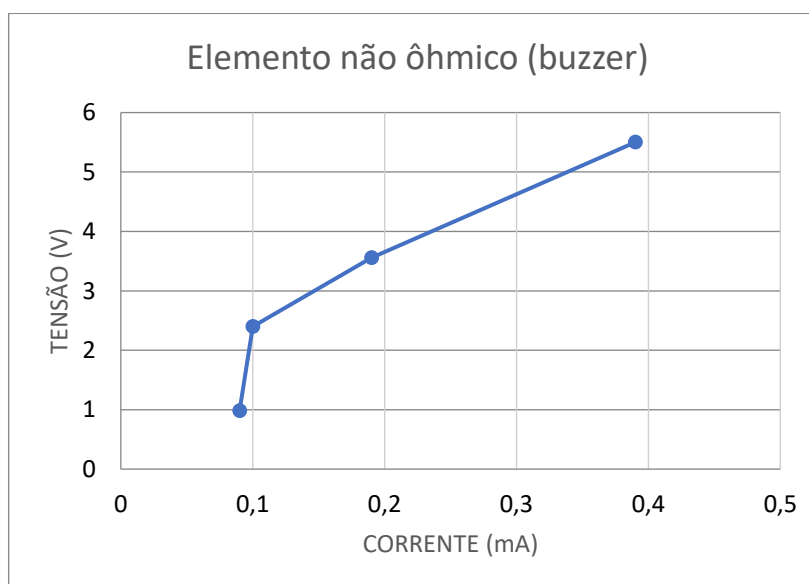
identificação de possíveis fontes de erro experimental e a discussão das diferenças observadas entre os modelos teóricos e os resultados medidos. As Figuras 17 e 19 apresentam exemplos dos gráficos elaborados a partir dos dados experimentais coletados pelos estudantes, evidenciando as relações entre tensão elétrica e corrente elétrica para os dispositivos analisados.

Figura 17: Gráficos Tensão × Corrente ($I \times V$) elaborados no Microsoft Excel a partir dos dados coletados experimentalmente para o resistor (ôhmico).



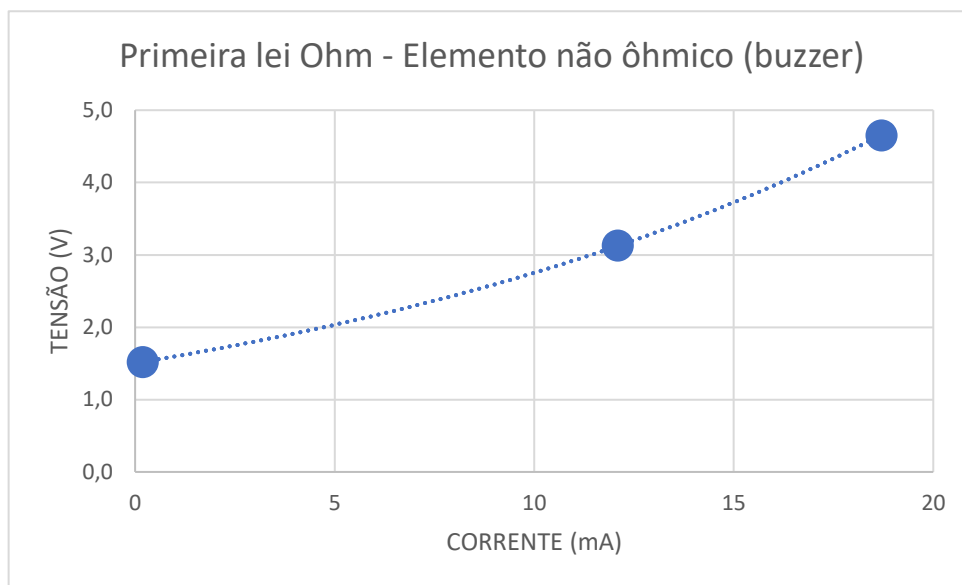
Fonte: Autoria própria.

Figura 18: Gráficos Tensão × Corrente ($I \times V$) elaborados no Microsoft Excel a partir dos dados coletados experimentalmente para o buzzer ativo (não ôhmico) com as pilhas caseiras.



Fonte: Autoria própria.

Figura 19: Gráficos Tensão × Corrente ($I \times V$) elaborados no Microsoft Excel a partir dos dados coletados experimentalmente para o buzzer ativo (não ôhmicos) pilhas comerciais.



Fonte: Autoria própria.

Esse procedimento de confronto entre dados experimentais e previsão teórica constitui um elemento de validação metodológica da proposta, na medida em que segue os princípios da análise de erros experimentais amplamente discutidos na literatura de Física Experimental (TAYLOR, 1997). A própria origem histórica da relação investigada reforça essa validação: a formulação da Primeira Lei de Ohm decorreu igualmente de um processo experimental sistemático de medição da relação entre tensão e corrente em condutores metálicos (OHM, 1827), de modo que a reprodução, em sala de aula, do percurso empírico que originou a lei física confere à atividade um caráter epistemologicamente consistente com a própria natureza da investigação científica em Eletrodinâmica.

O estudante com deficiência visual participou ativamente de todas as etapas da coleta e análise dos dados, contando com o apoio dos colegas e da pesquisadora quando necessário. Durante a elaboração dos gráficos, recebeu orientações sobre a organização dos eixos, a marcação dos pontos e a interpretação dos resultados. Nesse processo, ele sugeriu a possibilidade de utilizar recursos de impressão em relevo disponíveis no Núcleo de Atendimento aos Alunos com Necessidades Educacionais Específicas (NAPNEE) para gerar os gráficos a partir dos dados obtidos experimentalmente. Embora a atividade previsse inicialmente a construção manual dos gráficos, seguida da elaboração dos gráficos táteis propostos pelo produto educacional, a sugestão do estudante evidenciou seu envolvimento com a atividade e

sua preocupação em buscar alternativas que ampliassem sua autonomia na leitura e interpretação dos dados.

Na etapa seguinte, os estudantes reproduziram manualmente os gráficos em papel milimetrado a partir dos dados obtidos experimentalmente. Esse procedimento permitiu que analisassem de forma mais detalhada a relação entre tensão e corrente elétrica para cada dispositivo investigado, favorecendo a compreensão das diferenças entre os comportamentos ôhmicos e não ôhmicos observados.

Além de fortalecer a habilidade de representação gráfica, fundamental para o ensino e a aprendizagem da Física (BRASIL, 2018), a atividade estimulou a interpretação de dados experimentais, a comparação entre resultados teóricos e observados e a comunicação das conclusões obtidas. Dessa forma, contribuiu para o desenvolvimento de competências previstas nas habilidades EM13CNT301 e EM13CNT302 da BNCC, relacionadas à análise de evidências, à elaboração de modelos explicativos e à argumentação científica fundamentada em dados.

8.3 A Construção dos Gráficos Táteis: Cooperatividade, Equidade e Inclusão

A etapa de construção dos gráficos táteis constituiu o núcleo metodológico desta pesquisa, por articular os conteúdos físicos relacionados à Primeira Lei de Ohm com práticas pedagógicas voltadas à acessibilidade e à educação inclusiva. Mais do que um procedimento técnico de representação de dados, essa etapa possibilitou aos estudantes explorar diferentes formas de leitura, interpretação e comunicação de informações científicas, valorizando a participação ativa de todos os envolvidos no processo de aprendizagem.

Inicialmente, foram apresentados aos estudantes modelos ampliados de gráficos táteis confeccionados com materiais de baixo custo e elementos em relevo, previamente descritos neste trabalho. Esses modelos tiveram como objetivo familiarizar os participantes com a estrutura dos gráficos, seus componentes constituintes e as estratégias de leitura e interpretação tátil. Em seguida, os estudantes receberam a apostila Guia Teórico-Experimental para a Construção de Gráficos Táteis: Primeira Lei de Ohm (Apêndice F), disponibilizada nos formatos digital e impresso. O material continha orientações sobre o sistema Braille, instruções para a construção dos gráficos, identificação dos eixos, unidades e legendas, além de orientações para a leitura e interpretação das representações táteis produzidas.

A proposta dialoga com os pressupostos da educação inclusiva ao compreender que a aprendizagem científica deve ser acessível a todos os estudantes,

independentemente de suas características sensoriais. Nesse sentido, a utilização de recursos táteis permitiu ampliar as possibilidades de acesso às representações gráficas, tradicionalmente construídas e interpretadas por meio da visão, favorecendo a participação efetiva do estudante com deficiência visual e sensibilizando os demais estudantes para diferentes formas de percepção e construção do conhecimento (MANTOAN, 2015; SOLER, 1999).

8.3.1 Organização das equipes: cooperatividade como estratégia pedagógica

A turma foi organizada em duas equipes para a construção dos gráficos táteis com base nos dados experimentais previamente obtidos. Essa organização foi fundamentada nos princípios da aprendizagem cooperativa, da educação inclusiva e da equidade, buscando criar condições para que todos os estudantes participassem ativamente das atividades propostas.

Equipe 1 – Elemento ôhmico (resistor): composta por estudantes videntes, sendo que um dos integrantes realizou a construção e a exploração do gráfico com os olhos vendados, utilizando exclusivamente a percepção tátil para construir e interpretar a representação gráfica.

Equipe 2 – Elemento não ôhmico (buzzer ativo): composta pelo estudante com deficiência visual e seus colegas, responsável pela construção do gráfico referente ao comportamento não ôhmico do dispositivo.

A organização das equipes foi planejada para promover experiências de aprendizagem complementares. Na primeira equipe, a utilização da venda permitiu aos estudantes videntes refletirem sobre os desafios envolvidos na construção e interpretação de informações sem o apoio da visão, favorecendo o desenvolvimento da empatia e a compreensão da importância dos recursos de acessibilidade. Na segunda equipe, buscou-se assegurar ao estudante com deficiência visual condições efetivas de participação, valorizando suas experiências e conhecimentos na exploração de materiais táteis. A Figura 20 apresenta os estudantes durante o processo de construção dos gráficos táteis, evidenciando a interação entre os participantes e a utilização dos recursos desenvolvidos ao longo da pesquisa.

Figura 20: Estudantes durante o processo de construção dos gráficos táteis.



Fonte: Autoria própria.

Essa estratégia fundamentou-se no princípio da equidade, entendido como a oferta de condições diferenciadas para que todos os estudantes tenham oportunidades equivalentes de participação e aprendizagem. Assim, em vez de propor atividades idênticas para todos, a organização considerou as necessidades e potencialidades dos participantes, promovendo um ambiente mais inclusivo e colaborativo.

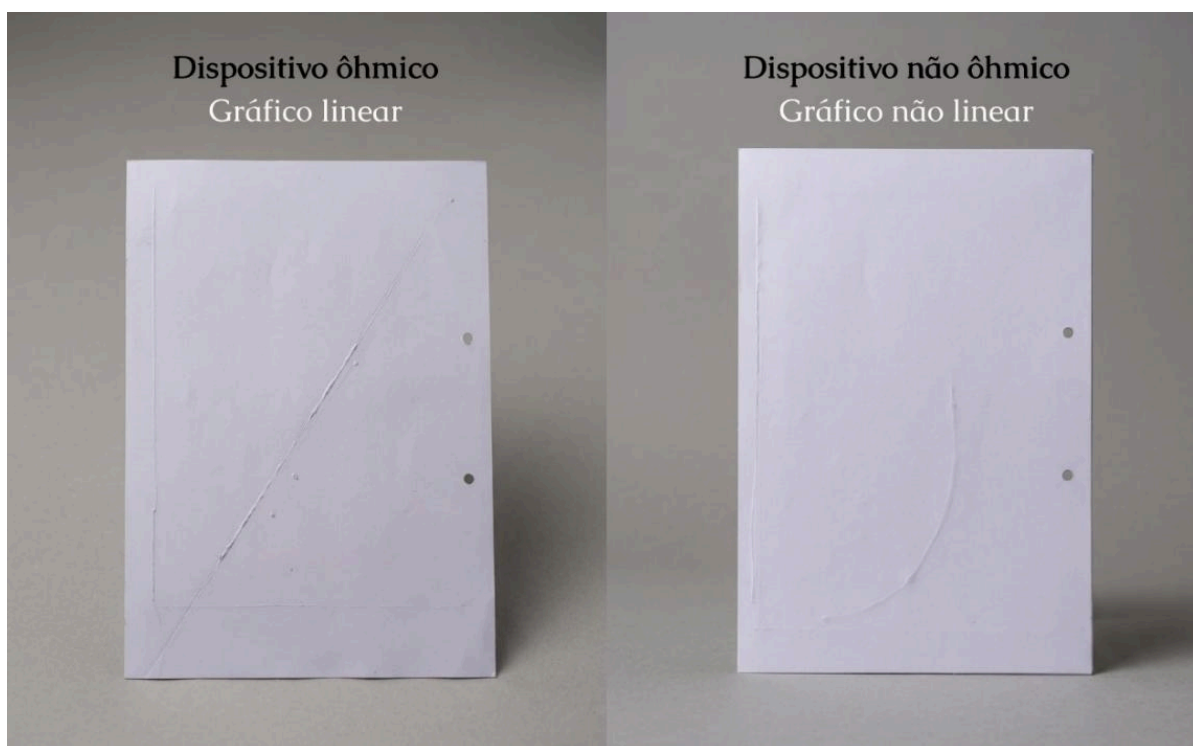
Durante a atividade, observaram-se significativas trocas de conhecimentos entre os integrantes das equipes. Na Equipe 1, o estudante vendado recebeu orientações dos colegas para localizar os eixos, identificar os pontos experimentais e interpretar a disposição dos elementos em relevo. Na Equipe 2, o estudante com deficiência visual participou da exploração tátil do gráfico, recebendo orientações dos colegas quanto à marcação dos pontos, organização dos eixos e sequência de leitura das informações. Em ambas as equipes, os estudantes colaboraram na montagem dos materiais, na fixação dos elementos em relevo e na conferência das medidas utilizadas na construção dos gráficos.

Por se tratar do primeiro contato dos estudantes com o kit e com a construção de gráficos táteis, foram observadas dificuldades iniciais na marcação dos pontos e na organização gráfica, exigindo, em alguns casos, a repetição de etapas. Entretanto, com a familiarização progressiva com os materiais, verificou-se uma melhora significativa na precisão das marcações e na qualidade dos gráficos produzidos.

Mesmo diante dos desafios inerentes à primeira utilização do recurso, os resultados mostraram-se satisfatórios, evidenciando o potencial do kit para construção

dos gráficos táteis como ferramenta de apoio à construção e interpretação de gráficos táteis. Os materiais produzidos apresentaram organização adequada dos eixos, representação coerente dos dados experimentais e condições suficientes para a leitura e análise tátil das informações. A Figura 21 apresenta os gráficos confeccionados pelas equipes ao término da atividade, refletindo os resultados alcançados pelos estudantes durante esse processo inicial de aprendizagem e apropriação da ferramenta.

Figura 20: Gráficos táteis finalizados produzidos pelas equipes.



Fonte: Autoria própria.

A dinâmica colaborativa observada ao longo da atividade evidencia contribuições importantes para o desenvolvimento das habilidades EM13CNT301 e EM13CNT302 da Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Os estudantes mobilizaram procedimentos de análise e interpretação de dados experimentais, utilizaram diferentes formas de representação científica e comunicaram conclusões fundamentadas em evidências, além de avaliar e discutir os resultados obtidos durante a construção dos gráficos (BRASIL, 2018).

Desse modo, a cooperação constituiu um elemento estruturante da proposta metodológica, favorecendo não apenas a construção compartilhada do conhecimento científico, mas também o desenvolvimento da empatia, da autonomia e do respeito às diferenças. Os resultados observados reforçam a compreensão de que a inclusão não

se limita à adaptação de materiais didáticos, mas envolve a criação de condições pedagógicas que garantam a participação efetiva de todos os estudantes nos processos de ensino e aprendizagem (MANTOAN, 2015; VYGOTSKY, 1997).

As trocas de conhecimento observadas entre os integrantes das duas equipes corroboram cientificamente o conceito de Zona de Desenvolvimento Proximal (VYGOTSKY, 1998), segundo o qual a aprendizagem se consolida com maior eficácia quando o estudante é apoiado por pares ou mediadores mais experientes em determinada tarefa. A organização das equipes em torno de elementos ôhmico e não ôhmico, somada à inversão temporária dos papéis sensoriais, com estudantes videntes vendados e o estudante com deficiência visual atuando como referência tátil para o grupo, permitiu validar empiricamente os pressupostos da aprendizagem cooperativa (JOHNSON; JOHNSON, 1999), nos quais a interdependência positiva entre os membros do grupo é condição necessária para que a cooperação produza ganhos cognitivos superiores aos obtidos em contextos competitivos ou individuais.

8.3.2 Resultados da avaliação da sequência didática

8.3.2.1 Diagnóstico Inicial

Antes da implementação da sequência didática, foi aplicado um diagnóstico inicial com a finalidade de identificar os conhecimentos prévios dos estudantes acerca dos conceitos fundamentais de Eletrodinâmica abordados nesta pesquisa. O instrumento, composto por questões objetivas, avaliou a compreensão dos participantes sobre a relação entre tensão elétrica, corrente elétrica e resistência elétrica, a identificação de relações de proporcionalidade entre grandezas físicas, o comportamento da corrente elétrica em função da variação da resistência, a classificação de dispositivos quanto à obediência à Lei de Ohm, a interpretação do gráfico característico de um condutor ôhmico e a associação do conceito de resistência elétrica à oposição à passagem da corrente elétrica.

A análise das respostas evidenciou que todos os estudantes avaliados acertaram as questões relacionadas à identificação do gráfico característico de um condutor ôhmico, representado por uma reta crescente, à classificação da relação entre tensão e corrente elétrica como diretamente proporcional, ao comportamento da corrente diante do aumento da resistência elétrica e ao conceito de resistência como oposição à passagem da corrente elétrica.

De modo geral, os resultados indicaram que os estudantes já possuíam conhecimentos básicos sobre os conteúdos investigados, resultado esperado em

virtude de a intervenção ter sido realizada após a abordagem introdutória do tema em sala de aula. Entretanto, as questões que demandavam interpretação gráfica e análise das relações entre as grandezas físicas apresentaram maior variabilidade nas respostas. Esse resultado sugere que, embora os conceitos fundamentais fossem relativamente familiares aos participantes, a compreensão mais aprofundada dos fenômenos elétricos representados graficamente ainda constituía uma dificuldade para parte da turma, especialmente no que se refere à análise e interpretação de dados experimentais.

Essa discrepância entre o domínio conceitual declarativo e a habilidade de interpretação gráfica é consistente com o que a literatura de pesquisa-ação em educação descreve como uma lacuna entre conhecimento teórico e competência procedimental (THIOLLENT, 2011; TRIPP, 2005), justificando metodologicamente a utilização de diferentes instrumentos de coleta e análise de dados adotados nesta pesquisa.

Ao associar o diagnóstico inicial a observações de campo e ao questionário final de satisfação, a proposta permitiu não apenas mensurar o ponto de partida da turma, mas também realizar uma análise mais consistente dos resultados da intervenção, uma vez que mudanças posteriormente observadas na capacidade de leitura e construção de gráficos puderam ser comparadas a uma linha de base previamente estabelecida, e não apenas inferidas a partir de impressões qualitativas isoladas (BARDIN, 2016).

8.3.2.2 Questionário de Satisfação: Percepções dos Estudantes

Ao final da sequência didática, 19 estudantes responderam a um questionário de satisfação destinado a avaliar suas percepções sobre o produto educacional desenvolvido. O instrumento, composto por questões em escala Likert (1 a 5) e perguntas abertas, investigou aspectos relacionados à aprendizagem, à interpretação de gráficos, ao reconhecimento de padrões em dados experimentais, ao potencial inclusivo dos gráficos táteis e às reflexões promovidas pela atividade sobre inclusão escolar.

8.3.2.3 Questões em escala Likert

As questões estruturadas em escala Likert foram utilizadas com o propósito de avaliar o nível de satisfação dos estudantes em relação aos diferentes aspectos da sequência didática e do produto educacional desenvolvido. Para cada item, os

participantes atribuíram uma pontuação variando de 1 a 5, correspondendo às seguintes categorias de avaliação: 1 (Péssimo), 2 (Ruim), 3 (Regular), 4 (Bom) e 5 (Muito bom). Essa escala permitiu mensurar qualitativamente as percepções dos estudantes acerca da experiência de aprendizagem, da utilização dos gráficos táteis, da compreensão dos conteúdos abordados e das contribuições da atividade para a promoção da inclusão escolar. A Tabela 4 apresenta a síntese dos resultados quantitativos obtidos.

Tabela 4: Resultados do questionário de satisfação sobre o produto educacional.

Questão	Média (1–5)	Distribuição
Interpreta gráficos físicos com mais facilidade	4,47	52,6% nota 5 42,1% nota 4 5,3% nota 3
Percebeu padrões e relações nos dados experimentais	4,32	42,1% nota 5 47,4% nota 4 10,5% nota 3
Construção do gráfico contribuiu para a visualização e interpretação dos dados	4,53	57,9% nota 5 36,8% nota 4 5,3% nota 3
Gráficos táteis podem ajudar pessoas com deficiência visual na aprendizagem	4,95	94,7% nota 5 5,3% nota 4
Atividade promoveu reflexão sobre inclusão no ambiente escolar	4,68	68,4% nota 5 31,6% nota 4

Fonte: Autoria própria.

O maior índice de concordância foi observado na questão referente ao potencial dos gráficos táteis em relevo como recurso de apoio à aprendizagem de pessoas com deficiência visual, que apresentou média de 4,95, com 94,7% dos estudantes atribuindo nota máxima e os demais 5,3% atribuindo nota 4. Esse resultado evidencia um consenso quase unânime entre os participantes quanto à relevância pedagógica e inclusiva desse recurso. A elevada avaliação sugere que a experiência de construção, manipulação e interpretação dos gráficos táteis permitiu aos estudantes compreenderem de forma concreta a importância da acessibilidade no ensino de Física, fortalecendo a percepção de que recursos adaptados podem favorecer a participação e a aprendizagem de todos os estudantes.

A questão relacionada à reflexão sobre inclusão no ambiente escolar também apresentou resultados expressivos, com média de 4,68, sendo que 68,4% dos participantes atribuíram nota 5 e 31,6% nota 4, sem registros de avaliações inferiores. Esses dados indicam que a sequência didática ultrapassou os objetivos estritamente conceituais, promovendo discussões e reflexões sobre acessibilidade, equidade e participação de estudantes com deficiência nos processos de ensino e aprendizagem. Tal resultado está diretamente associado às atividades colaborativas desenvolvidas durante a construção dos gráficos táteis, nas quais os estudantes puderam vivenciar situações que demandavam cooperação, comunicação e sensibilidade às diferentes formas de percepção do mundo.

No que se refere à contribuição da construção dos gráficos para a visualização e interpretação dos dados experimentais, foi obtida média de 4,53, com 57,9% das respostas concentradas na nota máxima. Esse resultado sugere que a elaboração dos gráficos, seja em meio digital ou manual, favoreceu a compreensão das relações entre as variáveis físicas investigadas, contribuindo para o desenvolvimento de habilidades relacionadas à representação gráfica e à análise de dados.

A questão sobre a facilidade de interpretação de gráficos físicos após as atividades apresentou média de 4,47, com 94,7% das respostas concentradas nas notas 4 e 5. Esse resultado indica que os estudantes perceberam avanços em sua capacidade de leitura e interpretação de representações gráficas, habilidade essencial para a compreensão de fenômenos físicos e para o desenvolvimento do pensamento científico.

Por sua vez, a questão referente à identificação de padrões e relações entre as grandezas físicas nos dados experimentais apresentou média de 4,32, sendo a menor entre as questões avaliadas, embora ainda bastante positiva. A predominância das notas 4 e 5 (89,5%) sugere que a maioria dos estudantes conseguiu reconhecer tendências e relações presentes nos dados coletados, ainda que parte deles tenha encontrado dificuldades nesse processo, o que é esperado em atividades que envolvem interpretação de resultados experimentais e abstração conceitual.

De modo geral, os resultados evidenciam elevados níveis de satisfação dos estudantes com a sequência didática desenvolvida, indicando que a articulação entre aulas teóricas com metodologias ativas, experimentação, construção de gráficos convencionais e elaboração de gráficos táteis favoreceu tanto a aprendizagem dos

conteúdos de Física quanto o desenvolvimento de atitudes relacionadas à inclusão e à acessibilidade no contexto escolar.

A consistência observada entre os diferentes itens da escala Likert, todos situados em faixas elevadas de concordância, reforça a confiabilidade do instrumento de coleta de percepções utilizado e está alinhada às recomendações metodológicas sobre o uso de escalas de atitude em pesquisas educacionais (GIL, 2010). Ademais, o fato de os indicadores qualitativos, como observações de aula, participação dos estudantes e relatos espontâneos, convergirem com os resultados quantitativos do questionário confere maior robustez à análise da proposta, uma vez que a concordância entre diferentes fontes de evidência reduz o risco de que os resultados favoráveis decorram unicamente de um único método de coleta (BARDIN, 2016).

8.3.2.4 Questões abertas: vozes dos estudantes

As respostas discursivas dos estudantes permitiram compreender, de forma mais aprofundada, as percepções acerca da sequência didática desenvolvida. A análise qualitativa das falas evidenciou três categorias principais: contribuições da sequência didática para a aprendizagem, avaliação da metodologia utilizada e dificuldades encontradas na construção dos gráficos e dos gráficos táteis.

a) Contribuições da sequência didática para a aprendizagem

De modo geral, todos os estudantes relataram que a sequência didática contribuiu significativamente para a compreensão dos conteúdos de Física. As respostas destacaram, sobretudo, a integração entre teoria e prática, a participação ativa dos alunos e a utilização de diferentes estratégias de ensino como fatores que favoreceram a aprendizagem.

“Sim. Nos faz enxergar além de slides e falas, como o conteúdo é aplicado no cotidiano, e compreendemos ainda mais o porquê do uso. Gostei bastante e entendi melhor com essa metodologia.” (Estudante 8)

“Sim, pois a explicação e depois a prática, além da produção do gráfico e a apresentação em grupos, ajudou para a melhor compreensão do conteúdo.” (Estudante 6)

“Muito bom, permitiu que os alunos pudessem participar de um método mais realista de experimentação científica. Ao ocupar o tempo dos alunos com experimentos práticos, análise de dados e construção de tabelas, o resultado foi uma experiência mais imersiva e consequentemente mais aprendido.” (Estudante 15)

Também foram recorrentes os relatos de que as aulas práticas despertaram maior interesse e atenção dos estudantes, tornando o aprendizado mais significativo quando comparado às metodologias tradicionais centradas apenas na exposição teórica.

b) Avaliação da metodologia utilizada

A metodologia empregada foi avaliada de forma bastante positiva pelos participantes. As justificativas indicam que a combinação de aulas teóricas com metodologias ativas, atividades experimentais, construção de gráficos, produção de materiais táteis e utilização de recursos lúdicos favoreceu tanto a compreensão dos conteúdos quanto o engajamento dos estudantes.

“Muito boa. O estudante consegue se prender mais ao conteúdo mostrado, porque não só escutamos, mas praticamos e entendemos a causa do uso.” (Estudante 8)

“Eu gostei da metodologia, pois conseguiu unir a turma em um objetivo em comum, absorver conhecimento, se diferenciando de metodologias bancárias.” (Estudante 7)

“A metodologia utilizada foi bastante eficiente, pois combinou momentos teóricos e práticos, permitindo uma melhor compreensão do conteúdo. Os momentos dos jogos educativos também aumentavam o interesse e, ao mesmo tempo, o aprendizado do assunto.” (Estudante 11)

A referência explícita à superação da "metodologia bancária" (FREIRE, 1987) por um dos estudantes revela a capacidade dos estudantes do ensino médio de perceber e nomear as diferenças entre abordagens pedagógicas distintas, o que indica que a intervenção não apenas ensinou conteúdos de Física, mas também propiciou uma experiência metacognitiva sobre os próprios processos de aprender.

Diversos estudantes ressaltaram ainda que a metodologia tornou as aulas mais dinâmicas, interativas e motivadoras, contribuindo para uma participação mais ativa da turma durante todo o processo de ensino e aprendizagem.

c) Dificuldades na construção dos gráficos e dos gráficos táteis

As dificuldades relatadas concentraram-se principalmente na organização dos dados experimentais, na construção dos gráficos e no desenvolvimento dos gráficos táteis em relação às escalas. Embora a maioria dos estudantes tenha classificado o grau de dificuldade como baixo ou moderado, alguns apontaram obstáculos relacionados à utilização do Excel, à interpretação de valores experimentais e à precisão necessária para representar os dados graficamente.

“Eu tive dificuldade na parte dos gráficos, pois os números ficaram bem ‘decimais’, dificultando a execução no papel, mas no geral, mostrou como a inclusão é necessária e como métodos alternativos de estudo melhoram a compreensão.” (Estudante 9)

“O grau de dificuldade foi médio. A parte mais difícil foi organizar os dados e transformar as informações em gráficos da forma correta. Fazer o gráfico tátil também exigiu atenção para que ele pudesse ser entendido por pessoas com deficiência visual.” (Estudante 11)

“Foi difícil a princípio, porque não sabíamos fazer, mas depois ficou mais fácil após as explicações prévias. Poderiam ser utilizados recursos maiores para a construção do gráfico.” (Estudante 4)

Entre as sugestões de melhoria mais frequentes destacaram-se a ampliação do tamanho dos quadriculados dos moldes táteis, a apresentação de mais exemplos durante a construção dos gráficos, o fornecimento de orientações mais detalhadas e a disponibilização de mais tempo para as atividades práticas.

De maneira geral, as dificuldades relatadas estão associadas às características inerentes ao trabalho com dados experimentais reais e à elaboração de materiais acessíveis. Entretanto, tais desafios mostraram-se relevantes para o desenvolvimento de habilidades relacionadas à análise de dados, interpretação gráfica, resolução de problemas e compreensão dos princípios da educação inclusiva. As sugestões apresentadas pelos próprios estudantes constituem importantes subsídios para o aperfeiçoamento do produto educacional e para futuras aplicações da sequência didática.

8.4 Socialização dos Resultados e Percepções dos Estudantes

Ao término da sequência didática, foi realizada uma etapa de socialização dos resultados obtidos ao longo do desenvolvimento das atividades. Cada equipe apresentou os produtos construídos durante a intervenção pedagógica, incluindo os dados experimentais coletados, os gráficos elaborados em planilhas eletrônicas (Microsoft Excel), os gráficos confeccionados em papel milimetrado e os gráficos táteis produzidos para fins de acessibilidade. As apresentações foram conduzidas pelos próprios estudantes, que descreveram os procedimentos metodológicos adotados, os fundamentos teóricos envolvidos, o funcionamento eletroquímico das pilhas investigadas, as características dos materiais ôhmicos e não ôhmicos analisados, bem como as dificuldades encontradas durante a execução dos experimentos e a construção dos recursos táteis. A Figura 22 apresenta um dos momentos de apresentação oral e socialização dos resultados realizados pelos estudantes.

Figura 21: Momento de apresentação oral dos estudantes durante a socialização dos resultados.



Fonte: Autoria própria.

Além da discussão dos resultados experimentais, os estudantes refletiram sobre os possíveis erros experimentais, as limitações metodológicas observadas e a relevância da proposta para o processo de ensino e aprendizagem da Física. Nesse contexto, destacaram a experiência de elaboração dos gráficos táteis como uma oportunidade de compreender a importância da acessibilidade e da inclusão no ambiente escolar.

Durante as apresentações, as equipes compartilharam suas percepções sobre a relevância da proposta para a construção de práticas educacionais mais inclusivas. Nesse contexto, destacou-se o depoimento do estudante com deficiência visual, cuja manifestação evidenciou importantes dimensões éticas e pedagógicas da experiência vivenciada.

Ao refletir sobre a atividade, o discente relatou sentir-se valorizado ao perceber que a proposta havia sido concebida de modo a contemplar também as necessidades dos estudantes cegos. Em seu entendimento, o fato de uma pesquisadora sem deficiência visual dedicar-se ao desenvolvimento de materiais acessíveis demonstra sensibilidade e compromisso com a ampliação das oportunidades de aprendizagem para públicos frequentemente pouco contemplados em recursos didáticos específicos.

O estudante também abordou desafios recorrentes enfrentados por pessoas com deficiência visual no contexto educacional, especialmente em áreas que dependem intensamente de representações gráficas, como a Física. Segundo seu relato, a utilização dos gráficos táteis favoreceu sua compreensão dos conteúdos e

ampliou sua participação nas atividades desenvolvidas, evidenciando o potencial de recursos acessíveis para promover maior inclusão e equidade no processo de ensino e aprendizagem.

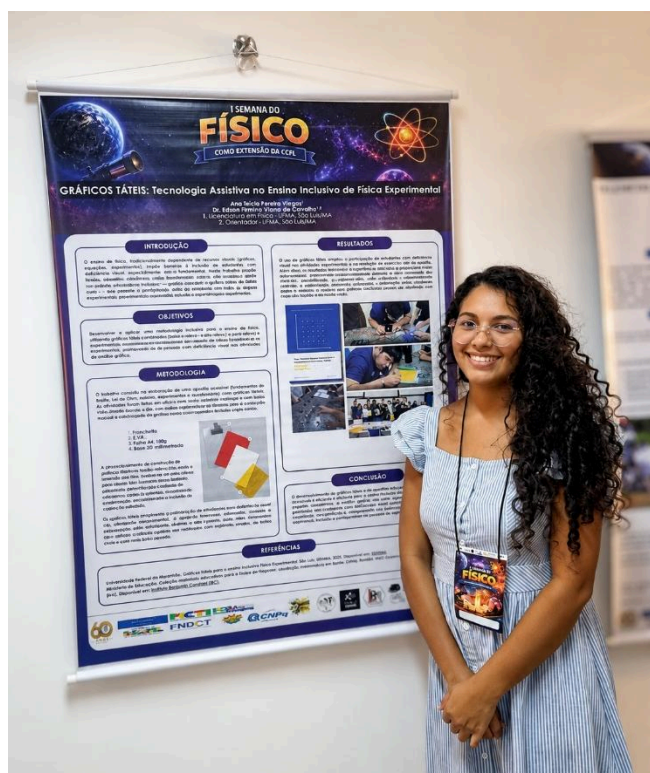
8.5 Difusão Científica da Proposta Didática Inclusiva

Além das apresentações realizadas em sala de aula, os resultados desta pesquisa foram divulgados durante a I Semana do Físico: como ação de extensão da Coordenação do Curso de Física Licenciatura (CCFL), realizada entre os dias 19 e 21 de maio de 2026, no Centro de Ciências Exatas e Tecnologia (CCET) da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), em São Luís (MA). A participação ocorreu por meio da apresentação de um pôster científico, constituindo uma importante etapa de socialização da pesquisa e de diálogo com a comunidade acadêmica.

A exposição do trabalho nesse evento acadêmico representou uma dupla contribuição: do ponto de vista da pesquisadora, constituiu uma oportunidade de socialização dos resultados e de diálogo com a comunidade científica; do ponto de vista da educação inclusiva, projetou para além da sala de aula a discussão sobre a necessidade e a viabilidade de práticas pedagógicas acessíveis no ensino de Física.

O pôster reuniu os principais elementos desta investigação, incluindo o relato da experiência desenvolvida, a descrição dos procedimentos metodológicos adotados, os materiais utilizados durante a intervenção pedagógica e exemplos do produto educacional elaborado. Entre os materiais apresentados, destacaram-se os gráficos táteis produzidos ao longo da pesquisa, expostos em diferentes etapas de construção e utilização, bem como outros recursos didáticos desenvolvidos e a apostila-guia empregada nas atividades realizadas em sala de aula. A Figura 23 ilustra um dos momentos da apresentação do trabalho, no qual a pesquisadora expõe e discute os objetivos, os resultados e os recursos produzidos durante a investigação junto aos participantes do evento.

Figura 22: Pôster científico apresentado na I Semana do Físico.



Fonte: Autoria própria.

Durante o evento, os participantes foram convidados a interagir diretamente com os materiais produzidos, explorando os gráficos táteis por meio do tato e participando de uma atividade de construção de gráficos com os olhos vendados. Além disso, foram apresentados registros fotográficos da intervenção realizada em sala de aula, imagens dos materiais didáticos utilizados e vídeos demonstrando o passo a passo da confecção dos recursos, disponível no YouTube no seguinte endereço: <https://youtu.be/Bd68W9u_6Pc>, o que despertou interesse e promoveu discussões entre os participantes do evento. A Figura 24 apresenta um dos momentos da exposição, no qual a pesquisadora realiza a apresentação do pôster e dos materiais produzidos aos participantes da I Semana do Físico.

Figura 23: Apresentação do pôster na I Semana do Físico.



Fonte: Autoria própria.

A recepção positiva do trabalho no evento acadêmico, evidenciada pelo interesse demonstrado pelos participantes e pelas discussões geradas, indica que a temática da acessibilidade no ensino de Física encontra ressonância na comunidade científica da área. Ademais, a socialização em espaço acadêmico reforça o potencial de disseminação das práticas desenvolvidas, contribuindo para a construção de uma cultura institucional voltada à inclusão nos contextos de ensino de Ciências (NUNES; LOMÔNACO, 2010; UNESCO, 1994).

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A defesa de uma educação verdadeiramente inclusiva deve ser compreendida, antes de tudo, como um compromisso ético e social com a transformação da realidade. Nesse contexto, a escola não se restringe à transmissão de conteúdos, mas constitui um espaço de democratização do conhecimento científico, no qual todos os estudantes, independentemente de suas condições sensoriais, motoras ou cognitivas, possam desenvolver plenamente suas potencialidades. Acreditar na educação significa reconhecer sua capacidade de promover mobilidade social, ampliar oportunidades e assegurar direitos fundamentais, entre eles o acesso ao conhecimento científico. Quando as práticas pedagógicas são estruturadas sob a perspectiva da inclusão substantiva, conforme destaca Camargo (2012), rompe-se com a lógica da exclusão histórica que, durante muito tempo, restringiu o acesso de determinados grupos ao saber formal, reafirmando que a ciência deve ser um patrimônio coletivo, acessível a todos, e não um privilégio destinado a poucos.

Essa perspectiva ganha maior profundidade quando observamos a trajetória de grandes cientistas que enfrentaram diferentes tipos de desafios ao longo de seu desenvolvimento intelectual. O físico Albert Einstein, por exemplo, é frequentemente associado a relatos que sugerem características neurodivergentes, embora tais interpretações não sejam conclusivas; ainda assim, sua história evidencia como diferentes formas de pensar podem contribuir para avanços extraordinários na ciência. Já o físico Stephen Hawking, diagnosticado com uma doença neurodegenerativa que o levou à paralisia progressiva, tornou-se incapaz de se comunicar verbalmente e passou a utilizar tecnologias assistivas para se expressar. Mesmo diante dessas limitações, produziu contribuições fundamentais à cosmologia teórica, demonstrando que a produção científica não está condicionada à integridade física, mas à capacidade intelectual, à curiosidade e ao acesso a meios adequados de expressão e investigação. Esses exemplos evidenciam que as barreiras enfrentadas por indivíduos não devem ser vistas como impeditivos, mas como desafios que, quando superados com suporte adequado, podem coexistir com realizações científicas de alto nível.

Consequentemente, torna-se imprescindível que a prática docente assuma um papel ativo e investigativo. O professor não é apenas um transmissor de conteúdos, mas um mediador fundamental no processo de construção do conhecimento, responsável por propor experiências, problematizar situações e criar condições para

que os estudantes aprendam de maneira significativa. Investigar mais, experimentar mais e explorar diferentes estratégias didáticas são atitudes que fortalecem o ensino de Física em todos os níveis educacionais.

Além disso, a busca por metodologias acessíveis e inclusivas deve ser contínua, com o objetivo de atender à diversidade presente nas salas de aula contemporâneas. Ao integrar teoria e prática experimental, e ao considerar diferentes formas de aprendizagem, o ensino de Física se torna mais dinâmico, mais democrático e mais comprometido com a formação integral dos estudantes, reafirmando seu papel essencial na educação científica e na construção de uma sociedade mais justa e igualitária.

Retomando o problema que orientou este estudo, esta pesquisa teve como objetivo geral desenvolver gráficos táteis como tecnologia assistiva para o ensino de Física Experimental, com foco nos conteúdos de Eletrodinâmica, visando favorecer a acessibilidade de estudantes com deficiência visual e subsidiar práticas pedagógicas inclusivas. Os resultados observados sugerem que a integração desses recursos a uma sequência didática fundamentada em metodologias ativas e atividades experimentais pode favorecer a compreensão dos conceitos físicos, bem como ampliar as possibilidades de participação dos estudantes em contextos de ensino inclusivos.

No que se refere aos objetivos específicos, considera-se que eles foram contemplados ao longo do desenvolvimento desta pesquisa. O primeiro, voltado à análise dos fundamentos teóricos, pedagógicos e legais da educação inclusiva aplicados ao ensino de Física, foi desenvolvido por meio da revisão da literatura, que articulou os pressupostos da Educação Inclusiva, do Modelo Social da Deficiência, do Desenho Universal para a Aprendizagem e da Teoria Sociocultural de Vygotsky, além da legislação educacional brasileira. Esse referencial forneceu o suporte conceitual para a elaboração da proposta pedagógica e para a interpretação dos resultados obtidos durante sua implementação.

O segundo objetivo, referente à investigação do papel das representações gráficas na compreensão e aprendizagem de conceitos físicos por estudantes com deficiência visual, foi analisado tanto à luz da literatura especializada quanto das experiências desenvolvidas durante a intervenção pedagógica realizada no Colégio Universitário da Universidade Federal do Maranhão (COLUN/UFMA). Os resultados observados sugerem que a utilização de representações gráficas acessíveis,

associada à mediação pedagógica, às atividades experimentais e às interações estabelecidas entre os estudantes, pode ampliar as possibilidades de compreensão de conceitos relacionados à Eletrodinâmica, favorecendo o acesso a formas de representação tradicionalmente restritas ao campo visual.

O terceiro objetivo consistiu no desenvolvimento de recursos pedagógicos acessíveis e de um produto educacional destinado à construção de gráficos táteis. Nesse contexto, foram elaborados gráficos táteis em relevo, utilizados como recursos de apoio durante as atividades da sequência didática, bem como um kit para construção de gráficos táteis, acompanhado de um Guia Teórico-Experimental, concebido como Tecnologia Assistiva. A proposta foi desenvolvida a partir da adaptação metodológica do e-book Gráficos Táteis para o Ensino Inclusivo de Física Experimental (SILVA; PINTO NETO; CARVALHO, 2025), incorporando modificações que simplificaram o processo construtivo, reduziram os custos de produção e ampliaram sua viabilidade de utilização em diferentes contextos escolares.

O quarto objetivo, relacionado à aplicação da proposta pedagógica em contexto escolar, foi desenvolvido durante a sequência didática implementada em uma turma inclusiva do 3º ano do Ensino Médio do COLUN/UFMA. Ao longo da intervenção, foi possível analisar aspectos relacionados à acessibilidade, à participação e ao envolvimento dos estudantes nas atividades propostas. A participação ativa do estudante com deficiência visual em todas as etapas da sequência, incluindo as discussões teóricas, as atividades experimentais, a coleta e análise dos dados, a construção dos gráficos táteis e a socialização dos resultados, evidenciou que a adoção de recursos acessíveis, associada à mediação pedagógica, pode ampliar as oportunidades de participação nas atividades de Física Experimental.

Por fim, o quinto objetivo possibilitou identificar potencialidades e limitações da proposta pedagógica a partir das experiências vivenciadas durante sua implementação. Os dados obtidos por meio do diagnóstico inicial, das observações registradas durante a intervenção e do questionário de satisfação permitiram analisar a percepção dos participantes acerca da proposta desenvolvida. Entre as potencialidades observadas, destacam-se a utilização de materiais de baixo custo, a possibilidade de construção dos gráficos pelos próprios estudantes, o incentivo ao trabalho colaborativo e a ampliação das formas de acesso às representações gráficas. Por outro lado, a pesquisa também evidenciou limitações inerentes ao contexto investigado, como o reduzido número de participantes, a aplicação em uma única

turma e a necessidade de novas investigações que permitam analisar a utilização da proposta em diferentes conteúdos da Física e em outros contextos educacionais.

Ao longo do desenvolvimento da pesquisa, verificou-se que a construção e utilização dos gráficos táteis possibilitaram ampliar as formas de representação e interpretação dos fenômenos físicos, favorecendo a participação efetiva de estudantes com deficiência visual nas atividades propostas. Mais do que recursos de apoio, os gráficos táteis constituíram recursos pedagógicos acessíveis que subsidiaram a mediação realizada pela professora-pesquisadora, possibilitando aos estudantes explorar e interpretar conceitos tradicionalmente apresentados por meio de representações predominantemente visuais.

As experiências compartilhadas pelos colaboradores com deficiência visual e, em especial, a participação do estudante cego envolvido nas atividades desenvolvidas, revelaram a importância de planejar práticas pedagógicas que considerem a diversidade dos sujeitos presentes no ambiente escolar. Nesse sentido, os resultados corroboram as contribuições teóricas de Vygotsky (1997), ao evidenciar que o desenvolvimento humano ocorre por meio da mediação de instrumentos e interações sociais adequadas às necessidades dos indivíduos. Da mesma forma, os resultados observados nesta pesquisa aproximam-se das reflexões de Mantoan (2003) sobre a construção de uma escola inclusiva e das discussões apresentadas por Camargo (2012) acerca da acessibilidade no ensino de Física para estudantes com deficiência visual.

Os resultados obtidos na pesquisa de campo realizada no Colégio Universitário da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), envolvendo um estudante com deficiência visual matriculado no 3.º ano do Ensino Médio, apresentam elementos que se mostram coerentes com os pressupostos da teoria sociocultural de Vygotsky. Durante a atividade experimental, o estudante participou ativamente de todas as etapas do processo investigativo, construindo, de forma colaborativa com os demais integrantes da equipe, o gráfico de tensão em função da corrente elétrica ($V \times I$) em alto-relevo, a partir dos dados experimentais coletados durante a prática.

Para a construção e interpretação do gráfico, foram utilizados recursos pedagógicos acessíveis, como a punção, a régua e o plano cartesiano tátil produzido por impressão 3D, que, associados à mediação da professora-pesquisadora, possibilitaram ao estudante identificar os pontos experimentais, representá-los graficamente e analisar a relação entre as grandezas físicas investigadas. Assim, o

estudante participou das mesmas etapas desenvolvidas pelos demais colegas, desde a observação do fenômeno, a coleta e organização dos dados até a construção e interpretação do gráfico, utilizando formas de acesso e representação compatíveis com suas necessidades educacionais.

Esses resultados reforçam a compreensão de que a aprendizagem de conceitos científicos não depende exclusivamente da utilização da visão, mas das condições de acessibilidade, das estratégias pedagógicas e das mediações estabelecidas durante o processo de ensino. Nessa perspectiva, os achados desta pesquisa aproximam-se da concepção de Vigotski (2022), segundo a qual o desenvolvimento da pessoa com deficiência é influenciado pelas condições sociais, culturais e educacionais que favorecem sua participação nos processos de aprendizagem. Desse modo, a criação de recursos acessíveis, associada à mediação pedagógica e à participação colaborativa dos estudantes, pode ampliar as possibilidades de apropriação dos conceitos científicos em contextos de educação inclusiva (VIGOTSKI, 2022).

Os dados obtidos no diagnóstico inicial, nas observações realizadas durante a implementação da sequência didática e no questionário de satisfação evidenciaram uma percepção positiva dos estudantes em relação à proposta pedagógica. De modo geral, os participantes apontaram que as atividades desenvolvidas favoreceram a compreensão dos conteúdos abordados, a interpretação de gráficos, a análise de dados experimentais e a reflexão sobre a inclusão de pessoas com deficiência no contexto escolar. Entre os recursos utilizados, os gráficos táteis foram reconhecidos pelos estudantes como uma estratégia que pode ampliar a acessibilidade às representações gráficas e, conseqüentemente, ao conhecimento científico.

Entretanto, algumas limitações foram identificadas durante a realização da pesquisa. Entre elas, destacam-se o número reduzido de participantes, o período relativamente curto de aplicação da intervenção pedagógica e determinadas dificuldades técnicas encontradas pelos estudantes na elaboração dos gráficos, especialmente no que se refere à representação de valores decimais e às dimensões dos moldes utilizados na construção dos gráficos táteis. Tais aspectos constituem importantes elementos para o aprimoramento futuro do produto educacional desenvolvido.

Como perspectivas para investigações futuras, recomenda-se a ampliação da proposta para outros conteúdos da Física, tais como mecânica, óptica e

termodinâmica, bem como sua aplicação em diferentes contextos educacionais e com um número maior de estudantes com deficiência visual. Sugere-se ainda a realização de estudos longitudinais que permitam avaliar a retenção da aprendizagem ao longo do tempo, além do desenvolvimento de versões digitais dos gráficos táteis integradas a tecnologias assistivas e de pesquisas comparativas envolvendo diferentes estratégias de representação tátil de dados científicos.

Em síntese, os resultados apresentados ao longo desta pesquisa permitem considerar que a utilização de gráficos táteis, articulada a uma proposta pedagógica fundamentada na experimentação, na mediação docente e em princípios da educação inclusiva, representa uma possibilidade para ampliar o acesso às representações gráficas no ensino de Eletrodinâmica. Embora os achados estejam circunscritos ao contexto investigado, eles apontam o potencial de recursos pedagógicos acessíveis e de tecnologias assistivas para favorecer práticas de ensino mais inclusivas, colaborativas e sensíveis à diversidade presente nas salas de aula. Espera-se que este trabalho possa contribuir para incentivar novas investigações, adaptações e aplicações da proposta em diferentes conteúdos da Física e em outros contextos educacionais, fortalecendo o compromisso com uma educação que reconheça a participação de todos os estudantes como elemento fundamental do processo de ensino e aprendizagem.

REFERÊNCIAS

- AINSWORTH, Shaaron. DeFT: a conceptual framework for considering learning with multiple representations. **Learning and Instruction**, v. 16, n. 3, p. 183-198, jun. 2006.
- ARAÚJO, I. S.; BORGES, A. T. **O ensino de física para estudantes com deficiência visual**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 22, n. 2, p. 250-262, 2005.
- BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2016.
- BRASIL. **Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 dez. 1996.
- BRASIL. **Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015. Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência)**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 7 jul. 2015.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Política Nacional de Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva**. Brasília: MEC/SEESP, 2008.
- BUENO, J. G. S.; NUNES, L. R. O. P. **O Atendimento Educacional Especializado e a Educação Especial: tensões e perspectivas**. In: MENDES, E. G.; CIA, F. (org.). **Inclusão escolar e o atendimento educacional especializado**. São Carlos: EdUFSCar, 2018. p. 15-32.
- CAMARGO, Eder Pires de. **Ensino de Física e deficiência visual: dez anos de investigações no Brasil**. São Paulo: Plexus, 2012.
- CAMARGO, Eder Pires de. **Ensino de Física e Deficiência Visual: fundamentos, práticas e tecnologias**. São Paulo: Editora UNESP, 2020. 258 p.
- CAMARGO, Eder Pires de. **Inclusão e necessidade educacional especial: compreendendo identidade e diferença por meio do ensino de Física e da deficiência visual**. São Paulo: Livraria da Física, 2016. 268 p.
- CAMARGO, Eder Pires de; NARDI, Roberto; VERASZTO, Estéfano Vizconde. **A comunicação como barreira à inclusão de alunos com deficiência visual em aulas de óptica**. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 3401.1-3401.13, 2008. DOI: 10.1590/S1806-11172008000300016.
- CARVALHO, Anna Maria Pessoa de (org.). **Ensino de Ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de; GIL-PÉREZ, Daniel. **Formação de professores de ciências: tendências e inovações**. 10. ed. São Paulo: Cortez, 2011.

CAST. **Universal Design for Learning Guidelines version 2.2**. Wakefield: CAST, 2018.

DINIZ, Débora. **O que é deficiência**. São Paulo: Brasiliense, 2007.

FLICK, Uwe. **Uma introdução à pesquisa qualitativa**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GLAT, Rosana; FERNANDES, Edicléa Mascarenhas. **Da educação segregada à educação inclusiva: uma breve reflexão sobre os paradigmas educacionais no contexto da Educação Especial brasileira**. Inclusão: Revista da Educação Especial, v. 1, n. 1, p. 35-39, 2005.

GONÇALVES, F. J. F. et al. **Do diálogo teórico à prática inclusiva: mediação e dialogismo no ensino de ciências para alunos com deficiência visual**. Revista Benjamin Constant, Rio de Janeiro, v. 29, n. 1, 2024.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

HATWELL, Yvette. **Touching for knowing: cognitive psychology of haptic manual perception**. Amsterdam: John Benjamins, 2003.

HESTENES, David. **Modeling games in the Newtonian world**. American Journal of Physics, v. 60, n. 8, p. 732-748, 1992.

HEWITT, Paul G. **Física conceitual**. 12. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

IBIAPINA, Tatiana Medeiros. **Concepções docentes sobre o uso da experimentação no ensino de Química em Centros Educa Mais de ensino na cidade de São Luís -- MA**. 2022. 124 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) -- Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2022.

JOHNSON, David W.; JOHNSON, Roger T. **Learning together and alone: cooperative, competitive, and individualistic learning**. 5. ed. Boston: Allyn & Bacon, 1999.

KARAM, R. A. S.; COELHO, G. R. **O papel da linguagem matemática no ensino de Física**. In: KRASILCHIK, M. (org.). Ensino de Física. São Paulo: USP, 2016. p. 1-25.

LIBEN, Lynn S. Education for spatial thinking. In: DAMON, W.; LERNER, R. M. (ed.). **Handbook of child psychology**. New York: Wiley, 2006. v. 4, p. 197-199.

MANTOAN, Maria Teresa Égler. **Inclusão escolar: o que é? Por quê? Como fazer?** São Paulo: Moderna, 2003.

MANTOAN, Maria Teresa Égler. **Inclusão escolar: o que é? Por quê? Como fazer?** 2. ed. São Paulo: Summus, 2015.

McDERMOTT, L. C.; ROSENQUIST, M. L.; VAN ZEE, E. H. **Student difficulties in connecting graphs and physics: examples from kinematics**. American Journal of Physics, v. 55, n. 6, p. 503-513, 1987.

MILLAR, Susanna. **Understanding and representing space: theory and evidence from studies with blind and sighted children**. Oxford: Clarendon Press, 1994.

MOREIRA, Marco Antonio. **Metodologias de pesquisa em ensino**. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

NUNES, Sylvia; LOMÔNACO, José Fernando Bitencourt. **O aluno cego: preconceitos e potencialidades**. Revista Semestral da Associação Brasileira de Psicologia Escolar e Educacional, v. 14, n. 1, p. 55-64, 2010.

OHM, Georg Simon. **Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet**. Berlim: T. H. Riemann, 1827.

OLIVEIRA, M. K. de. Vygotsky: **aprendizado e desenvolvimento: um processo sócio-histórico**. São Paulo: Scipione, 1993. 111 p.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência**. Nova York: ONU, 2006.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Declaração Universal dos Direitos Humanos**. Paris: ONU, 1948.

REDISH, Edward F. **Teaching Physics with the Physics Suite**. Hoboken: Wiley, 2003.

RUPPEL, C.; HANSEL, A. F.; RIBEIRO, L. **Vygotsky e a Defectologia. Diálogos e Perspectivas em Educação Especial**, Marília, v. 8, n. 1, p. 11-24, 2021. DOI: 10.36311/2358-8845.2021.v8n1.p11-24.

SÁ, Elizabet Dias de; CAMPOS, Izilda Maria de; SILVA, Myriam Beatriz Campolina. **Atendimento educacional especializado: deficiência visual**. Brasília: SEESP/SEED/MEC, 2007.

SASSAKI, Romeu Kazumi. **Inclusão: construindo uma sociedade para todos**. 7. ed. Rio de Janeiro: WVA, 2006.

SILVA, R. G. A.; PINTO NETO, P. de C.; CARVALHO, E. F. V. de. **Gráficos táteis para o ensino inclusivo de Física experimental**. São Luís: EDUFMA, 2025.

TAYLOR, John R. **An Introduction to Error Analysis: the study of uncertainties in physical measurements**. 2. ed. Sausalito: University Science Books, 1997.

THIOLLENT, Michel. **Metodologia da pesquisa-ação**. 18. ed. São Paulo: Cortez, 2011.

TRIPP, David. **Pesquisa-ação: uma introdução metodológica**. Educação e Pesquisa, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 443-466, 2005.

TUFTE, Edward R. **The visual display of quantitative information**. 2. ed. Cheshire: Graphics Press, 2001.

UNESCO. **Declaração de Salamanca sobre princípios, política e prática na área das necessidades educativas especiais**. Salamanca: UNESCO, 1994.

VIEGAS, A. T. P. **Guia Teórico-Experimental para a Construção de Gráficos Táteis: Primeira Lei de Ohm**. São Luís: UFMA, 2026.

VIEGAS, A. T. P. **Gráficos Táteis no Ensino de Física: Construção Passo a Passo**. YouTube. Disponível em: https://youtu.be/Bd68W9u_6Pc. Acesso em: 25 jun. 2026.

VIGOTSKI, L. S. **Tomo cinco: Fundamentos de Defectologia**. Tradução do Programa de Ações Relativas às Pessoas com Necessidades Especiais (PEE). 2. ed. Cascavel: UNIOESTE, 2022.

VYGOTSKY, Lev Semyonovich. **A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores**. 7. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

VYGOTSKY, Lev Semyonovich. **O desenvolvimento psicológico na infância**. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

APÊNDICE A: REQUERIMENTO DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA



**UNIVERSIDADE
FEDERAL DO
MARANHÃO**

CURSO DE FÍSICA LICENCIATURA

DECLARAÇÃO

Ao
Prof. Paulo Sérgio Castro Pereira
Diretor do Colégio Universitário

Prezado Diretor,

Solicitamos, por meio desta, a autorização para a realização da pesquisa intitulada **Desenvolvimento e Validação de Gráficos Táteis para o Ensino da Lei de Ohm**, a ser desenvolvida pela estudante **Ana Técia Pereira Viegas**, matrícula nº 2021040093, regularmente matriculada no curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal do Maranhão (UFMA).

A pesquisa será conduzida sob a orientação do Prof. Dr. Edson Firmino Viana de Carvalho e supervisionada pelo Prof. Leôncio Pinto Dominici, tendo como público alvo os estudantes da turma do 3º ano B, nas dependências desta instituição.

Ressaltamos que a atividade tem caráter exclusivamente acadêmico, garantindo o respeito aos princípios éticos da pesquisa, bem como a preservação da identidade dos participantes envolvidos.

Dessa forma, solicitamos a gentileza de autorizar a realização da referida pesquisa nesta instituição.

Sem mais para o momento, colocamo-nos à disposição para quaisquer esclarecimentos.

Atenciosamente,

São Luís, 08 de abril de 2026.

Documento assinado digitalmente
gov.br EDSON FIRMINO VIANA DE CARVALHO
Data: 08/04/2026 11:44:55-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Edson Firmino Viana de Carvalho
Orientador – UFMA

Documento assinado digitalmente
gov.br ANA TECIA PEREIRA VIEGAS
Data: 08/04/2026 13:08:36-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Ana Técia Pereira Viegas
Discente – Licenciatura em Física / UFMA

Prof. Leôncio Pinto Dominici
Supervisor Técnico

APÊNDICE B: DECLARAÇÃO DE AUTORIZAÇÃO DA PESQUISA PELA COORDENAÇÃO DE EXTENSÃO DO COLUN



UNIVERSIDADE
FEDERAL DO
MARANHÃO

Coordenação de Projetos de Pesquisa e Extensão
COPPEX - COLUN

DECLARAÇÃO DE AUTORIZAÇÃO

Declaramos, para os devidos fins, que está autorizada a realização da pesquisa intitulada “Desenvolvimento e Validação de Gráficos Táteis para o Ensino da Lei de Ohm”, a ser conduzida pela estudante Ana Técia Pereira Viegas, matrícula nº 2021040093, regularmente matriculada no curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal do Maranhão (UFMA). A pesquisa será desenvolvida com os estudantes da turma do 3º ano B, nas dependências Do Colégio Universitário, durante a primeira quinzena do mês de maio, sob orientação do Prof. Dr. Edson Firmino Viana de Carvalho e supervisão do Prof. Leôncio Pinto Dominici. Ressaltamos que quaisquer registros de imagem (fotografias ou vídeos) que permitam a identificação dos alunos somente poderão ser realizados mediante autorização prévia e formal dos responsáveis legais, em conformidade com as normas institucionais vigentes.

Por ser verdade, firmo a presente declaração para os devidos fins.

São Luís, 16 de maio de 2026.

Documento assinado digitalmente
gov.br MARIA DO SOCORRO DO NASCIMENTO AMORIM
Data: 06/05/2026 13:59:37-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Profª. Drª. Maria do Socorro do Nascimento Amorim
SIAPE 3365705
Colégio Universitário (COLUN)
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)
Coordenação de Projetos Pesquisa e Extensão (COPPEX)

a universidade que a gente quer

Colégio Universitário
Cidade Universitária Dom Delgado
Av. dos Portugueses, 1996 - São Luís - Maranhão - CEP 65080-805
www.coppex.colun@ufma.br

APÊNDICE C: Teste de conhecimentos prévios

Com a finalidade de identificar os conhecimentos prévios dos estudantes acerca da interpretação de gráficos, das relações entre grandezas físicas e dos conceitos básicos de eletricidade, aplicou-se um pré-teste antes do desenvolvimento da sequência didática. O instrumento foi composto por questões de múltipla escolha elaboradas para avaliar a compreensão inicial dos participantes sobre representação gráfica, proporcionalidade entre grandezas, corrente elétrica, diferença de potencial e resistência elétrica. Os resultados obtidos serviram como subsídio para o planejamento das atividades pedagógicas e para a análise da evolução conceitual dos estudantes ao longo da intervenção.

- 1) Gráficos são ferramentas adequadas para representar relações entre grandezas físicas?
 - a) Sim
 - b) Não
 - c) Não sei
- 2) A partir de dados experimentais organizados em gráficos, é possível identificar leis físicas?
 - a) Sim
 - b) Não
 - c) Não sei
- 3) Quando duas grandezas aumentam simultaneamente, espera-se que o gráfico represente:
 - a) Uma reta crescente
 - b) Uma reta decrescente
 - c) Uma curva
 - d) Não sei
- 4) Ao ligar um dispositivo elétrico, grandezas como corrente elétrica e tensão podem sofrer variações?
 - a) Sim
 - b) Não
 - c) Não sei
- 5) Quando a energia fornecida a um aparelho aumenta, seu funcionamento tende a:

- a) Intensificar-se (maior aquecimento, velocidade ou potência)
 - b) Reduzir-se
 - c) Permanecer inalterado
 - d) Não sei
- 6) Em um ferro elétrico em funcionamento, o aquecimento ocorre devido à resistência do material. Se a resistência aumentar, a corrente elétrica no circuito tende a:
- a) Aumentar
 - b) Diminuir
 - c) Permanecer constante
 - d) Não sei
- 7) Quando corrente elétrica e tensão variam na mesma proporção, essa relação é classificada como:
- a) Inexistente
 - b) Aleatória
 - c) Diretamente proporcional
 - d) Não sei
- 8) Na análise da relação entre tensão e corrente elétrica em um condutor ôhmico, o gráfico característico é:
- a) Uma reta
 - b) Uma curva
 - c) Não sei
- 9) Em um circuito elétrico, a resistência está associada a:
- a) Oposição à passagem da corrente elétrica
 - b) Velocidade da luz no material
 - c) Coloração do condutor
 - d) Não sei

APÊNDICE D: Questionário de satisfação

Este formulário tem como objetivo avaliar a aplicação do Produto Educacional de Física, considerando a percepção, a satisfação e as contribuições das atividades desenvolvidas para o processo de ensino e aprendizagem. As respostas serão utilizadas exclusivamente para fins acadêmicos e para a elaboração dos resultados deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC).

Para responder às questões, considere a seguinte escala de avaliação: 1 (Péssimo), 2 (Ruim), 3 (Regular), 4 (Bom) e 5 (Muito bom).

1. As atividades realizadas contribuíram para que você interpretasse gráficos físicos com mais facilidade?

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

2. A análise dos dados experimentais ajudou você a identificar padrões e relações entre as grandezas físicas?

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

3. A construção de gráficos no Excel ou em papel milimetrado contribuiu para a compreensão e interpretação dos dados experimentais?

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

4. Você considera que os gráficos táteis em relevo podem favorecer a aprendizagem de estudantes com deficiência visual?

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

5. A atividade com gráficos táteis contribuiu para sua reflexão sobre inclusão no ambiente escolar?

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

6. A sequência das atividades (aula teórica, experimento, coleta de dados e construção dos gráficos) contribuiu para sua compreensão do conteúdo? Justifique.

7. Como você avalia a metodologia utilizada durante as aulas? Justifique.

8. Quais dificuldades você encontrou na construção dos gráficos a partir dos dados experimentais? Apresente sugestões que possam facilitar a aprendizagem e a elaboração de gráficos táteis no ensino de Física inclusiva.

APÊNDICE E: CÓDIGO PARA CONSTRUÇÃO DA PLATAFORMA PCT-3D

```
// Papel Tátil Modificado
// Região lisa de 25 mm x 250 mm com espessura de 1 mm
```

```
width = 200;
length = 250;
spacing = 5;
```

```
// Região lisa lateral fixa
smooth_zone = 25; // 25 mm
smooth_height = 1.0; // espessura de 1 mm
```

```
// Alturas das linhas
major_height = 2.5;
minor_height = 1.5;
```

```
// Espessuras das linhas
major_thickness = 1.5;
minor_thickness = 0.8;
```

```
module grid_lines() {

    // Linhas verticais
    for (x = [0:spacing:(width - smooth_zone)]) {

        thickness = (x % (spacing * 5) == 0)
            ? major_thickness
            : minor_thickness;

        height = (x % (spacing * 5) == 0)
            ? major_height
            : minor_height;

        translate([x, 0, 0])
            cube([thickness, length, height]);
    }
}
```

```
// Linhas horizontais
for (y = [0:spacing:length]) {

    thickness = (y % (spacing * 5) == 0)
        ? major_thickness
        : minor_thickness;

    height = (y % (spacing * 5) == 0)
        ? major_height
        : minor_height;
```

```

        translate([0, y, 0])
        cube([width - smooth_zone, thickness, height]);
    }
}

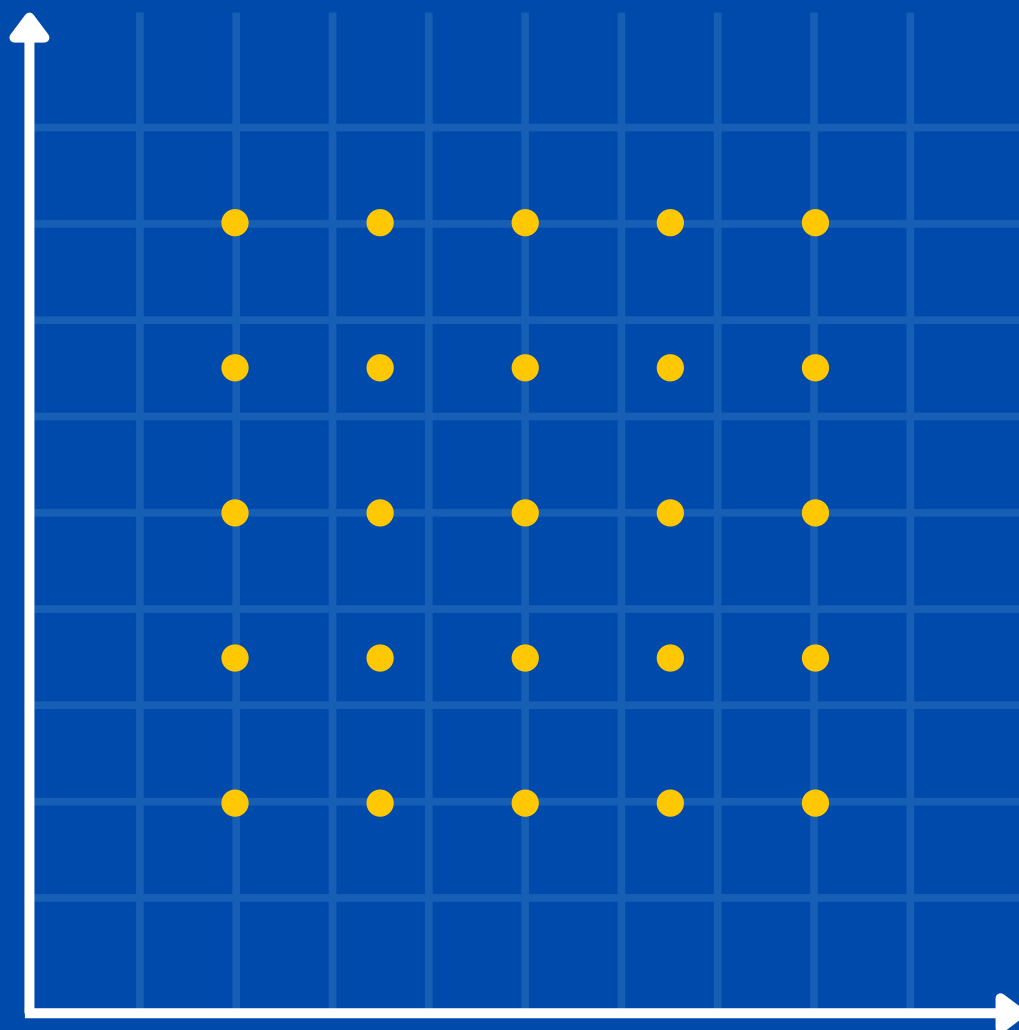
module smooth_surface() {

    // Superfície lisa de 25 mm x 250 mm
    translate([width - smooth_zone, 0, 0])
        cube([smooth_zone, length, smooth_height]);
}

union() {
    grid_lines();
    smooth_surface();
}

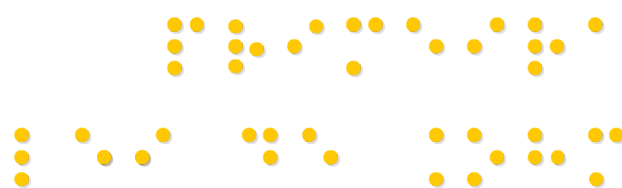
```

APÊNDICE F: APOSTILA



Guia Teórico-Experimental para a Construção de Gráficos Táteis

Primeira Lei de Ohm



Resumo

Esta apostila apresenta um produto educacional voltado ao ensino experimental da Lei de Ohm em uma perspectiva inclusiva, buscando promover a compreensão dos conceitos fundamentais da Eletrodinâmica por meio da articulação entre teoria e prática experimental. O material constitui um guia completo e acessível destinado a estudantes com e sem deficiência visual, contemplando diferentes formas de representação do conhecimento e recursos pedagógicos adaptados que favorecem a participação ativa no processo de aprendizagem.

Fundamentada nos princípios da Educação Inclusiva e na valorização de abordagens multissensoriais, a apostila aborda a linguagem Braille em seus aspectos históricos, estruturais e funcionais, apresentando orientações para leitura e escrita, bem como o alfabeto, os números e os símbolos matemáticos de acordo com a notação CMU. Paralelamente, desenvolve os conceitos essenciais relacionados à Lei de Ohm, possibilitando a compreensão das relações entre corrente elétrica, tensão elétrica e resistência, além de suas aplicações em atividades experimentais.

O material orienta de forma sistemática a realização dos experimentos, incluindo procedimentos passo a passo, coleta e organização de dados em tabelas, análise dos resultados obtidos e interpretação das grandezas físicas envolvidas. Como recurso complementar, propõe a construção e utilização de gráficos táteis para representação e análise dos dados experimentais, favorecendo tanto a interpretação visual quanto a não visual das informações e ampliando a acessibilidade dos conteúdos científicos.

Dessa forma, a apostila busca contribuir para uma aprendizagem significativa da Física, incentivando a autonomia, a inclusão e o desenvolvimento de competências investigativas, ao mesmo tempo em que oferece subsídios para a construção de práticas pedagógicas mais acessíveis e equitativas no ensino de Ciências.

Nesta apostila, todas as figuras, tabelas e gráficos são acompanhados por descrições textuais elaboradas para estudantes que utilizam leitores de tela. Essas descrições apresentam as principais informações contidas nos elementos visuais, permitindo que seu conteúdo seja compreendido mesmo quando a imagem não puder ser interpretada diretamente pelo software de leitura.

Dessa forma, busca-se garantir que as informações pedagógicas presentes nas ilustrações sejam acessíveis a todos os estudantes, promovendo condições mais equitativas de aprendizagem e participação nas atividades propostas.

NOÇÕES EM BRAILLE

1. O que é o Braille?

O Braille é um sistema de escrita tátil criado especialmente para pessoas cegas e com baixa visão. Em vez de letras impressas, utiliza pontos em relevo organizados em células de seis pontos, dispostos em duas colunas de três pontos cada. Cada combinação de pontos representa uma letra, número, sinal de pontuação ou símbolo matemático. A estrutura da célula Braille é ilustrada na Tabela 1.

Tabela 1 – Estrutura da Célula Braille (6 pontos)

CÉLULA BRAILLE — 6 PONTOS	EXEMPLO — Letra A:
Ponto 1 •• Ponto 4 Ponto 2 •• Ponto 5 Ponto 3 •• Ponto 6 Coluna esquerda: 1-2-3 Coluna direita: 4-5-6	● Ponto 1 elevado (ativo) ○ Pontos 2 a 6 rebaixados (inativo) ● ○ ○ ○ ○ ○ Representação Unicode Braille

Como exemplo, a letra A é representada pela ativação apenas do ponto 1, permanecendo os demais pontos inativos.

A partir dessa configuração de seis pontos é possível obter 64 combinações distintas, incluindo a célula vazia. Esse conjunto de combinações possibilita a representação de informações linguísticas, matemáticas e científicas, tornando o Braille um importante instrumento de acesso ao conhecimento e à comunicação.

2. Breve Contextualização Histórica

O sistema Braille foi desenvolvido pelo francês Louis Braille (1809–1852), que perdeu a visão ainda na infância. Em 1824, aos quinze anos, ele criou um sistema de leitura e escrita tátil baseado na adaptação do "código noturno" militar de Charles Barbier. Sua consolidação ocorreu de forma progressiva na França ao longo do século XIX, sendo incorporado às instituições educacionais voltadas à formação de pessoas com deficiência visual.

No Brasil, o Braille foi introduzido em 1854, com a criação do Imperial Instituto dos Meninos Cegos, atualmente Instituto Benjamin Constant (IBC), no Rio de Janeiro. A Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Lei nº 13.146/2015) assegura o direito à educação inclusiva e à utilização de recursos e tecnologias assistivas, reconhecendo o Braille como instrumento fundamental para a garantia do acesso à informação, à comunicação e à participação social.

3. Como Ler em Braille

A leitura em Braille é feita com a ponta dos dedos, deslizando suavemente sobre os pontos em relevo. Siga estas orientações:

1. **Posição das mãos:** Posicione ambas as mãos sobre o texto, com os dedos indicadores levemente arqueados e relaxados.
2. **Movimento de leitura:** Deslize os dedos da esquerda para a direita, linha por linha, sem pressionar com força, o toque deve ser leve e contínuo.
3. **Uso das duas mãos:** Use ambas as mãos: a mão esquerda localiza o início da próxima linha enquanto a direita termina de ler a linha atual.
4. **Comece pelo básico:** Treine com letras isoladas antes de avançar para palavras e frases completas.
5. **Prática e progresso:** Com a prática, a leitura torna-se mais ágil e a identificação dos caracteres passa a ocorrer de forma cada vez mais automática.

4. Como Escrever em Braille — Máquina Perkins e Reglete

A escrita em Braille pode ser realizada por diferentes recursos, sendo os mais utilizados a Máquina Perkins e o conjunto Reglete e Punção. Ambos permitem registrar caracteres em relevo que podem posteriormente ser lidos pelo tato.

Antes da apresentação das ilustrações, é importante compreender que esses equipamentos possuem finalidades semelhantes, porém modos de funcionamento distintos. A Máquina Perkins realiza a escrita diretamente na posição de leitura, enquanto a reglete exige a escrita invertida devido ao modo como os pontos são produzidos no papel.

4.1 Máquina Perkins

A Máquina Perkins é um equipamento mecânico desenvolvido especificamente para a escrita em Braille. Seu formato é semelhante ao de uma máquina de escrever convencional, possuindo um teclado adaptado para a produção dos pontos em relevo.

O equipamento dispõe de seis teclas principais, cada uma correspondente a um dos seis pontos da célula Braille. Além dessas teclas, possui uma tecla de espaço, uma tecla de retrocesso e uma tecla de avanço de linha. Para formar um caractere, o usuário pressiona simultaneamente as teclas correspondentes aos pontos desejados. A escrita ocorre da esquerda para a direita, seguindo a mesma orientação utilizada durante a leitura. Isso torna o processo mais intuitivo para estudantes que já dominam o sistema Braille.

A figura 1 apresenta uma Máquina Perkins vista em perspectiva. O equipamento possui estrutura metálica retangular, teclado composto por nove teclas e mecanismo para inserção de papel. Na parte superior encontra-se o sistema responsável pelo deslocamento do papel durante a escrita. O equipamento é amplamente utilizado em instituições educacionais e centros de apoio à pessoa com deficiência visual.

Figura 1 — Máquina Perkins é um equipamento utilizado para a escrita em Braille



4.2 Reglete e Punção

A reglete e o punção constituem um método manual de escrita em Braille. A reglete funciona como um molde contendo células Braille organizadas em linhas e colunas. O punção é uma pequena ferramenta utilizada para pressionar o papel e formar os pontos em relevo. Durante a escrita, o papel é fixado entre as partes da reglete. Em seguida, o usuário utiliza o punção para marcar os pontos correspondentes aos caracteres desejados.

Embora exija maior treinamento quando comparado à Máquina Perkins, esse método apresenta vantagens importantes, como fácil transporte e independência de equipamentos mecânicos ou elétricos.

A figura 2 apresenta uma reglete acompanhada de um punção e da prancheta. A reglete possui formato alongado e contém diversas células Braille distribuídas em linhas paralelas. O punção apresenta formato semelhante ao de uma caneta, com ponta metálica utilizada para pressionar o papel e produzir os relevos correspondentes aos pontos Braille.

Figura 2 — Reglete e Punção: ferramenta manual de escrita Braille



ATENÇÃO — ESCRITA COM REGLETE É ESPELHADA!

Ao escrever com a reglete, você escreve de DIREITA para ESQUERDA e com os pontos INVERTIDOS (espelhados). Isso ocorre porque a punção perfura o papel pelo verso, e ao virar a folha para leitura, os pontos ficam na posição correta para ser lidos da esquerda para a direita.

Regra prática: visualize a célula como se fosse um espelho — o ponto 1 da escrita fica à direita (e virará o ponto 4 visualmente), o ponto 4 fica à esquerda (virará o ponto 1). Com prática, torna-se natural.

Exemplo prático:

Posição de Leitura — Frase "Bom dia" em Braille

B	O	M	Espaço	D	I	A
●○	●●	●●	○○	●●	○●	●○
●○	○●	○○	○○	○●	●○	○○
○○	●○	●○	○○	○○	○○	○○

Posição de Escrita com Reglete — Frase "Bom dia" em Braille

A	I	D	Espaço	M	O	B
○●	●○	●●	○○	●●	●●	○●
○○	○●	●○	○○	○○	●○	○●
○○	○○	○○	○○	○●	○●	○○

4.2.1. Passo a passo para escrever com Reglete

- 1. Preparação do papel:** Prenda o papel na reglete (a régua) com os cliques laterais, com a face que vai receber os furos voltada para CIMA.
- 2. Direção de escrita:** Posicione-se da direita para a esquerda — comece pelo lado direito da linha.
- 3. Espelhamento mental:** Identifique mentalmente a letra a ser escrita e espelhe a posição dos pontos.
- 4. Perfuração:** Use a punção para pressionar firmemente cada ponto desejado, atravessando o papel.
- 5. Avanço célula a célula:** Avance célula por célula da direita para a esquerda.
- 6. Troca de linha:** Ao terminar a linha, avance a reglete para a próxima linha.
- 7. Leitura final:** Ao concluir, retire o papel e vire-o — os pontos estarão em alto-relevo e na posição correta para leitura da esquerda para a direita.

5. Orientações Gerais de Uso

Durante a leitura e escrita em Braille, alguns caracteres especiais atuam como indicadores e modificam o significado dos símbolos que aparecem em seguida.

O **indicador de maiúscula**, representado pelo símbolo $\cdot$, informa que a próxima letra deve ser interpretada como letra maiúscula. Assim, para escrever a letra "A" maiúscula, utiliza-se primeiro o indicador de maiúscula e, em seguida, o símbolo correspondente à letra A.

O **indicador numérico**, representado por $\cdot$, informa que os caracteres seguintes devem ser interpretados como números e não como letras. Por exemplo, após o indicador numérico, o símbolo utilizado para a letra A passa a representar o número 1.

Esses indicadores são indispensáveis para a correta interpretação de textos, fórmulas e expressões matemáticas em Braille.

6. Alfabeto Braille Completo

O alfabeto Braille em Português segue o padrão internacional. As letras são formadas pelos pontos 1 a 6. Para letras maiúsculas, utiliza-se o indicador de maiúscula $\cdot$ antes da letra. A Tabela apresenta o alfabeto completo com os caracteres Unicode Braille correspondentes.

Tabela 2 – Alfabeto braille completo

A $\cdot$ (1)	B $\cdot$ (1,2)	C $\cdot$ (1,4)	D $\cdot$ (1,4,5)	E $\cdot$ (1,5)	F $\cdot$ (1,2,4)	G $\cdot$ (1,2,4,5)	H $\cdot$ (1,2,5)	I $\cdot$ (2,4)	J $\cdot$ (2,4,5)
K $\cdot$ (1,3)	L $\cdot$ (1,2,3)	M $\cdot$ (1,4,3)	N $\cdot$ (1,4,5,3)	O $\cdot$ (1,5,3)	P $\cdot$ (1,2,4,3)	Q $\cdot$ (1,2,4,5,3)	R $\cdot$ (1,2,5,3)	S $\cdot$ (2,4,3)	T $\cdot$ (2,4,5,3)
U $\cdot$ (1,3,6)	V $\cdot$ (1,2,3,6)	X $\cdot$ (1,4,3,6)	Y $\cdot$ (1,4,5,3,6)	Z $\cdot$ (1,5,3,6)	W $\cdot$ (2,4,5,6)	Ç $\cdot$ (1,2,3,4,6)	Á $\cdot$ (1,2,3,5,6)	É $\cdot$ (1,2,3,4,5,6)	Í $\cdot$ (3,4)
Ó $\cdot$ (4,3,6)	Ú $\cdot$ (2,3,4,5,6)	À $\cdot$ (1,2,4,6)	Â $\cdot$ (1,6)	Ê $\cdot$ (1,2,6)	Ô $\cdot$ (1,4,5,6)	Ã $\cdot$ (3,4,5)	Õ $\cdot$ (2,4,6)	Ü $\cdot$ (1,2,5,6)	

7. Números em Braille

Para representar números em Braille, utiliza-se o indicador de número (⠼) antes do algarismo. Os dígitos 1 a 0 são representados pelas mesmas células das letras A a J, conforme a Tabela .

Tabela 3 — Números em braille

Números em Braille									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
⠠	⠠	⠠	⠠	⠠	⠠	⠠	⠠	⠠	⠠
(1)	(1,2)	(1,4)	(1,4,5)	(1,5)	(1,2,4)	(1,2,4,5)	(1,2,5)	(2,4)	(2,4,5)

8. Símbolos Matemáticos — Notação CMU

A Notação em Braille para a área de Ciências, Matemática e suas Tecnologias (CMU) é o padrão oficial no Brasil para representar fórmulas, equações e símbolos científicos. A Tabela lista os símbolos mais utilizados nesta apostila.

Tabela 4 – Símbolos matemáticos em notação CMU

Símbolo	Braille	Significado	Exemplo
+	⠠	Adição	$2 + 3 \rightarrow \text{⠠⠠⠠⠠⠠⠠}$
-	⠠	Subtração	$5 - 2 \rightarrow \text{⠠⠠⠠⠠⠠⠠}$
· ou ×	⠠	Multiplicação	$R \cdot I \rightarrow \text{⠠⠠⠠⠠⠠⠠}$
÷ ou /	⠠	Divisão	$V/I \rightarrow \text{⠠⠠⠠⠠⠠⠠}$
=	⠠	Igual a	$V = R \cdot I \rightarrow \text{⠠⠠⠠⠠⠠⠠⠠⠠⠠⠠⠠⠠}$
≈	⠠	Aproximadamente igual	$R \approx 219 \Omega \rightarrow \text{⠠⠠⠠⠠⠠⠠⠠⠠⠠⠠⠠⠠⠠⠠}$
Δ	⠠	Variação / diferença	$\Delta V \rightarrow \text{⠠⠠⠠⠠}$
Ω	⠠	Unidade de resistência	$220 \Omega \rightarrow \text{⠠⠠⠠⠠⠠⠠⠠⠠}$
Z^n	⠠	Potência	$R^2 \rightarrow \text{⠠⠠⠠⠠⠠⠠}$
Z_n	⠠	Subíndice	$V_1 \rightarrow \text{⠠⠠⠠⠠⠠⠠}$
(	⠠	Abre parêntese	$(a - b) \rightarrow \text{⠠⠠⠠⠠⠠⠠⠠⠠}$
)	⠠	Fecha parêntese	$(a - b) \rightarrow \text{⠠⠠⠠⠠⠠⠠⠠⠠}$
(	⠠	Abertura de Translucidez (parêntese invisível)	$\frac{a+b}{c} \rightarrow \text{⠠⠠⠠⠠⠠⠠⠠⠠⠠⠠⠠⠠}$
)	⠠	Fechamento de Translucidez (parêntese invisível)	$\frac{a+b}{c} \rightarrow \text{⠠⠠⠠⠠⠠⠠⠠⠠⠠⠠⠠⠠}$

Símbolo	Braille	Significado	Exemplo
,	.	Vírgula decimal	3,5 → ⠼⠢⠫⠴⠨⠶

CONCEITOS FUNDAMENTAIS EM FÍSICA

LEI DE OHM — :: ∴ ∵ ∷ ∸ ∹

10. Conceitos Fundamentais da Lei de Ohm

A Lei de Ohm, formulada por Georg Simon Ohm, descreve a relação entre três grandezas fundamentais em um circuito elétrico: tensão (V), corrente elétrica (I) e resistência (R). A resistência elétrica representa a oposição à passagem da corrente, controlando o fluxo de cargas no circuito. As grandezas e seus respectivos símbolos Braille CMU são apresentados na Tabela .

Tabela 5 — Grandezas da Lei de Ohm com notação Braille CMU

GRANDEZAS DA LEI DE OHM				
Símbolo	Braille	Grandeza	Unidade	Significado Físico
V	⠠⠧⠨	Tensão / D.D.P.	Volt (V)	Diferença de potencial elétrico
R	⠠⠷⠨	Resistência elétrica	Ohm (Ω) ⠠⠭⠨	Oposição ao fluxo de cargas.
I	⠠⠢⠨	Corrente elétrica	Ampère (A)	Quantidade de carga por unidade de tempo — fluxo de cargas elétricas.

A equação da primeira lei de ohm é dada por:

$$V = R \cdot I$$

Notação Braille CMU: ⠨⠭⠆⠑⠒⠶

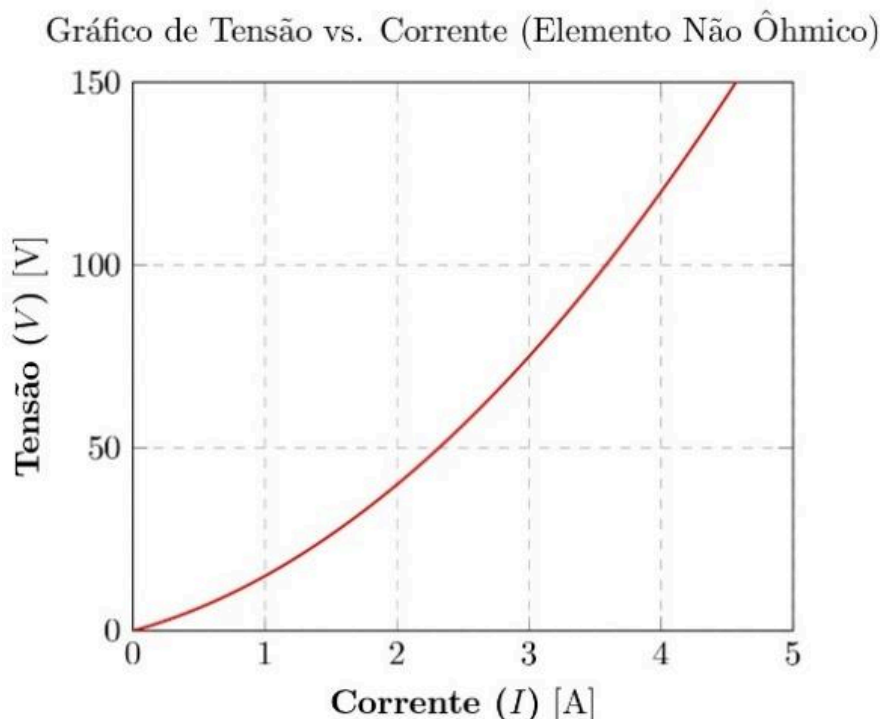
Isso significa que a tensão e a corrente são diretamente proporcionais. Ao aumentar a tensão aplicada a um circuito, a corrente também aumenta na mesma proporção, desde que a resistência permaneça constante. Dessa forma, a razão entre tensão e corrente é constante:

$$\frac{V_1}{I_1} = \frac{V_2}{I_2} = \dots \frac{V_n}{I_n} = \text{constante} = R$$

Por esse motivo, o gráfico da tensão em função da corrente é uma reta que passa pela origem, e sua inclinação corresponde ao valor da resistência. Os materiais que obedecem a essa relação são chamados de condutores ôhmicos, como ocorre com resistores ideais. Esse comportamento é ilustrado na Figura 3.

O coeficiente angular (inclinação) da reta no gráfico $V \times I$ é igual à resistência R do circuito. No entanto, nem todos os materiais seguem a Lei de Ohm. Esses são chamados de condutores não ôhmicos. Neles, a relação entre tensão e corrente não é linear, o gráfico não é uma reta, e a resistência elétrica varia de acordo com os valores de tensão e corrente, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 — Gráfico $V \times I$ para condutor não ôhmico. A curva indica resistência variável



A Tabela 6 apresenta uma comparação entre componentes ôhmicos e não ôhmicos. São analisados quatro aspectos principais: o formato do gráfico tensão versus corrente ($V \times I$), o comportamento da resistência elétrica, a validade da Lei de Ohm e exemplos de dispositivos encontrados em circuitos elétricos.

Tabela 6 — Comparativo: comportamento ôhmico vs. não ôhmico

ÔHMICO	NÃO ÔHMICO
- Gráfico $V \times I$ é uma reta que passa pela origem. R permanece constante a temperatura constante. - Obedece à Lei de Ohm. - Exemplo: resistor de 220 Ω.	- Gráfico $V \times I$ é uma curva (não linear). R varia com a tensão aplicada. - Não obedece à Lei de Ohm. - Exemplo: buzzer, diodo, LED.

A Tabela 7 reúne doze equações organizadas em quatro grupos. Cada grupo apresenta fórmulas utilizadas para calcular uma grandeza específica: potência elétrica, corrente elétrica, tensão elétrica ou resistência elétrica. Para cada equação são apresentados dois elementos: A fórmula na notação matemática convencional e na notação Braille CMU.

Tabela 7 – Equações da Lei de Ohm e potência elétrica com notação braille CMU

[illegible]

PRÁTICA EXPERIMENTAL

Pilhas Caseiras — Lei de Ohm em Ação

11. Experimento Passo a Passo

Este experimento tem como objetivo investigar a relação entre a tensão elétrica (V) e a corrente elétrica (I) em um resistor, utilizando pilhas caseiras como fonte de energia variável, a fim de realizar a análise por meio da construção de gráficos. Além disso, busca-se desenvolver e validar gráficos táteis como tecnologia assistiva de baixo custo para o ensino de Física Experimental, promovendo acessibilidade e favorecendo a aprendizagem significativa de estudantes com deficiência visual.

ETAPA 1 — Construção das Pilhas Caseiras

Materiais Necessários

A Tabela lista os materiais necessários para a construção das pilhas e montagem do circuito de medição.

Tabela 8 — Materiais necessários para o experimento

Para as pilhas (4 células)	Para o circuito elétrico
• 4 garrafas PET (300 mL cada) • Água sanitária (~100 mL) • Água (~200 mL por célula) • Fios de cobre encapado (eletrodo +) • Parafusos galvanizados com zinco (eletrodo -) • Fios com garras jacaré para interligar células • Ligas elásticas (marcações de volume tátil)	• 1 resistor de 220 Ω (ou 330 Ω) • 1 buzzer ativo (para etapa comparativa) • 2 multímetros digitais • 1 como voltímetro (em paralelo) • 1 como amperímetro (em série, escala mA) • Fios de conexão com garras jacaré • Protoboard (opcional)

DICA TÁTIL: Você pode distinguir os eletrodos pelo toque, o fio de cobre tem superfície LISA, enquanto o parafuso galvanizado tem superfície RUGOSA e rosqueada. A Figura 5 ilustra as quatro células eletroquímicas montadas.

Figura 5 — As 4 células eletroquímicas (pilhas caseiras com garrafas PET)



Procedimento de montagem das pilhas caseiras

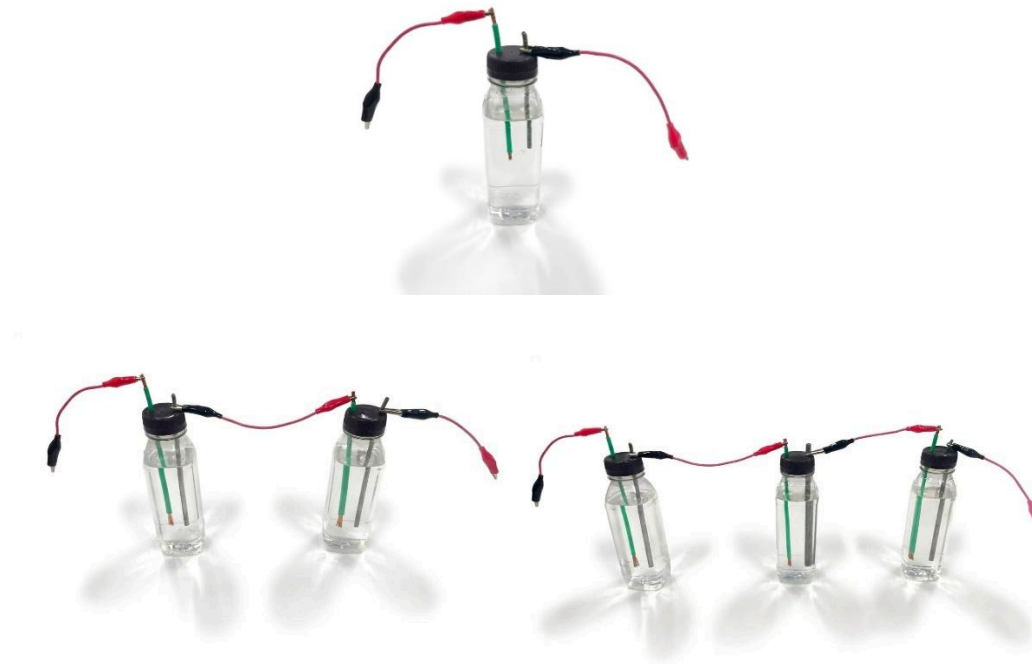
- 1. Preparação dos recipientes:** Utilize quatro garrafas plásticas. Posicione ligas elásticas externamente a cada 300 ml (3 ligas elásticas por garrafa: 100, 200 e 300 ml). Isso permite a percepção tátil do volume.
- 2. Preparação da solução eletrolítica:** Em cada garrafa, adicione: 200 ml de água + 100 ml de água sanitária. Misture suavemente.
- 3. Fixação dos eletrodos nas tampas:** Em cada tampa, faça dois furos separados. Insira o fio de cobre em um furo (polo +) e o parafuso de zinco no outro (polo -). Deixe ~1 cm exposto para fora. Certifique-se de que os eletrodos não se toquem (evitar curto-circuito).

4. **Fechamento e verificação:** Feche cada garrafa com a tampa preparada. Os eletrodos devem ficar imersos na solução. Verifique se não há contato entre os eletrodos dentro da garrafa.
5. **Repetição para 4 células:** Repita os passos 1 a 4 para as quatro garrafas. Cada garrafa funciona como uma célula eletroquímica independente.

ETAPA 2 — Montagem do Circuito de Medição

A Figura 6 apresenta o esquema de associação das pilhas em série. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** descreve o procedimento de montagem do circuito.

Figura 6 — Esquema do circuito: associação das pilhas em série



Passo a passo do procedimento de montagem do circuito de medição

1. **Preparação dos fios:** Utilize os fios com garras jacaré. Conecte o fio com garra de ponta vermelha ao eletrodo de cobre (polo +) e outro fio com garra de ponta preta ao eletrodo de zinco (polo -) de cada célula.
2. **Medição individual (1 pilha):** Conecte uma célula ao multímetro e registre, na Tabela 1, os valores de tensão (V_1) e corrente (I_1). Garanta que o amperímetro esteja em série (escala mA) e o voltímetro em paralelo ao receptor (resistor ou buzzer ativo), com a polaridade correta (+/-).
Atenção: ligação incorreta do amperímetro pode danificar o aparelho.

3. **Pilhas em série:** Conecte o polo + de uma célula ao polo – da próxima. Com 2 células em série, meça V_2 e I_2 . Repita para 3 células (V_3, I_3) e 4 células (V_4, I_4).
4. **Conexão do receptor:** O resistor ou o buzzer ativo deve ser conectado em série no circuito. O voltímetro é colocado em paralelo (em cima do resistor ou buzzer ativo). O amperímetro fica em série antes do receptor.

ETAPA 3 — MEDIÇÃO DE CORRENTE ELÉTRICA (AMPERÍMETRO)

Procedimento experimental:

1. Interromper o circuito, abrindo um de seus pontos de conexão.
2. Inserir o amperímetro no ponto de interrupção, estabelecendo uma ligação em série.
3. Selecionar, no multímetro, a função de medição de corrente contínua (mA ou A), conforme a ordem de grandeza esperada.
4. Garantir a correta polaridade das conexões (terminal positivo e negativo).
5. Restabelecer o circuito e registrar o valor indicado.

Observação: A conexão inadequada do amperímetro, especialmente em paralelo, pode provocar danos ao instrumento.

Figura 7 — Esquema do circuito: amperímetro em série com o resistor



ETAPA 4 — MEDIÇÃO DE DIFERENÇA DE POTENCIAL (VOLTÍMETRO)

Procedimento experimental:

1. Manter o circuito completamente fechado e em funcionamento.
2. Conectar o voltímetro diretamente aos terminais do componente (por exemplo, o resistor).

3. Ajustar o multímetro para a função de medição de tensão contínua (V).
4. Observar a polaridade correta das pontas de prova.
5. Registrar o valor medido.

Observação: O voltímetro não deve ser inserido em série, pois isso compromete a medição e o funcionamento do circuito.

Figura 8 — Esquema do circuito: voltímetro em paralelo com o resistor



12. Como Preencher as Tabelas

Siga o roteiro abaixo para registrar corretamente os dados experimentais. Para estudantes com deficiência visual, todas as etapas podem ser realizadas com multímetros com saída de áudio ou com auxílio de um colega que leia os valores em voz alta.

1. **Configure 1 pilha:** Configure o circuito com 1 pilha. Aguarde a estabilização (alguns segundos).
2. **Leia a tensão:** Leia o valor da tensão no voltímetro (em Volts, com 2 casas decimais). Ex.: 0,71 V.
3. **Leia a corrente:** Leia o valor da corrente no amperímetro (em miliamperes, com 2 casas decimais). Ex.: 3,20 mA.
4. **Registre na tabela:** Registre os valores na linha "1 pilha" da Tabela 1.

5. **Calcule a resistência:** Calcule $R = V / I$, convertendo I para ampères: $I(A) = I(mA) / 1000$. Ex.: $R = 0,71 / 0,00320 \approx 222 \, \Omega$.
6. **Adicione pilhas:** Adicione a segunda pilha em série e repita as etapas 2 a 5 para a linha "2 pilhas".
7. **Repita o procedimento:** Repita o mesmo procedimento com três e quatro pilhas.
8. **Resistência média:** Calcule a resistência média das quatro medições e registre na célula inferior da tabela.

13. Tabelas de Coleta de Dados

Preencha as tabelas a seguir durante o experimento, anotando os valores lidos nos multímetros a cada configuração de pilhas. A Tabela 1 destina-se ao resistor e a Tabela 2, ao buzzer.

Tabela 1 — Dados Experimentais: Resistor (_____ Ω)

Nº de pilhas	Tensão V (Volts)	Corrente I (mA)	$R = V/I$ (Ω)
1 pilha			
2 pilhas			
3 pilhas			
4 pilhas			
Resistência média (Ω):			

Tabela 2 — Dados Experimentais: Buzzer (_____ Ω)

Nº de pilhas	Tensão V (Volts)	Corrente I (mA)	$R = V/I$ (Ω)
1 pilha			
2 pilhas			
3 pilhas			
4 pilhas			
Resistência média (Ω):			

14. Construção do Gráfico Tátil — Passo a Passo

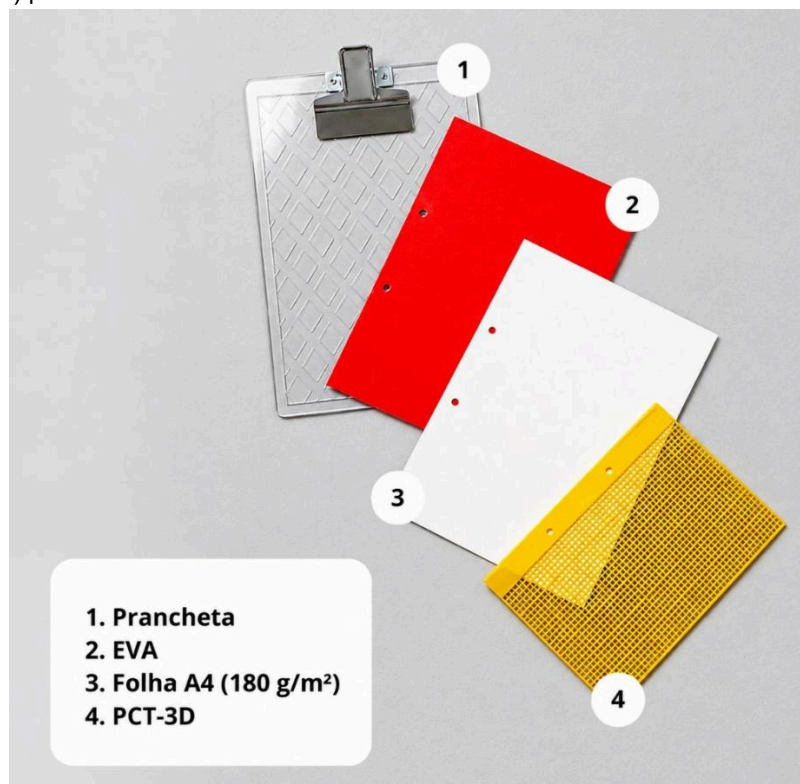
O gráfico tátil possibilita a construção e a interpretação da relação entre tensão (V) e corrente (I) por meio do tato, ampliando as formas de percepção e compreensão dos dados. Tanto estudantes com deficiência visual quanto videntes podem analisar o comportamento da relação $V \times I$ de maneira concreta, favorecendo uma aprendizagem mais significativa, acessível e integrada.

14.1 Materiais para o Gráfico Tátil

Os materiais necessários para a construção do gráfico tátil são apresentados a seguir, acompanhados de suas respectivas funções. Posteriormente, a Figura 9 ilustra o conjunto completo desses materiais, permitindo sua identificação visual.

- **Prancheta com pinos de encaixe:** Base que garante o alinhamento de todas as camadas.
- **Folha de EVA perfurada:** Camada amortecedora — fica embaixo, protege e facilita a perfuração.
- **Folha de Papel A4 (180 g/m²) perfurada:** Recebe as marcações da punção — o "papel" do gráfico tátil.
- **Plano Cartesiano Tátil em 3D (PCT-3D):** Referencial de escala — guia para posicionar os pontos corretamente.
- **Punção:** Instrumento pontiagudo para fazer as marcações em relevo.
- **Régua flexível:** Para traçar a reta de ajuste sobre os pontos marcados.
- **Tabela de escalonamento em Braille:** Converte os valores de V e I em posições na grade.

Figura 9 — Kit completo para gráfico tátil: EVA + Folha de Papel A4 (180 g/m²) perfurada + Plano Cartesiano Tátil em 3D (PCT-3D) perfurada + Prancheta com Pinos.



14.2. Tabela de Escalonamento (para referência)

A Tabela 11 apresenta duas escalas independentes. A primeira relaciona valores de corrente elétrica, variando de 0 mA a 17,5 mA, com as divisões da grade tátil numeradas de 0 a 7. A segunda relaciona valores de tensão elétrica, variando de 0 V a 3,5 V, com as mesmas divisões da grade. Essas escalas servem como referência para posicionar corretamente os pontos experimentais durante a construção do gráfico tátil.

Tabela 11 — Tabela de Escalonamento para o gráfico tátil

Eixo X — Corrente I (mA)		Eixo Y — Tensão V (V)	
Valor (mA)	Divisão na grade	Valor (V)	Divisão na grade
0	0	0	0
2,5	1	0,5	1
5	2	1	2
7,5	3	1,5	3
10	4	2	4
12,5	5	2,5	5
15	6	3	6
17,5	7	3,5	7

Antes da construção do gráfico tátil, recomenda-se que a equipe e os estudantes realizem um exercício de familiarização com as escalas utilizadas na atividade. Para isso, os dados experimentais devem ser representados graficamente de forma convencional, utilizando papel milimetrado com malha de 5 mm × 5 mm — semelhante ao Plano Cartesiano Tátil em 3D (PCT-3D) empregada no gráfico tátil — ou softwares de construção de gráficos, como o Microsoft Excel.

Essa atividade permite compreender o processo de escalonamento, a proporcionalidade entre as grandezas físicas e a distribuição dos pontos experimentais no plano cartesiano. Além disso, possibilita comparar posteriormente o gráfico convencional com o gráfico tátil, favorecendo a mediação e o auxílio prestado ao estudante com deficiência visual durante a construção e interpretação dos gráficos.

14.3. Procedimento Completo de Construção

ATENÇÃO FUNDAMENTAL — INVERSÃO DA CHAPA:

A marcação é feita em BAIXO-RELEVO. Ao final, a folha A4 (180 g/m²) deve ser INVERTIDA para que os pontos fiquem em ALTO-RELEVO, prontos para leitura tátil. Não inverta antes de terminar todas as marcações!

PASSO 1: Montagem do sistema

Sobre a prancheta com pinos, empilhe nesta ordem, de baixo para cima:

- Folha de EVA perfurada (base amortecedora)
- Folha A4 180 g/m² (onde serão feitas as marcações)
- Plano Cartesiano Tátil em 3D (PCT-3D) perfurada (guia de escala)

Alinhe todos os furos aos pinos e verifique que o conjunto está bem fixo e sem deslocamento.

PASSO 2: Escalonamento dos eixos

Antes de marcar qualquer ponto, defina as escalas. Consulte a Tabela 11 de Escalonamento (seção 14.2) para converter cada valor em posição no Plano Cartesiano Tátil em 3D (PCT-3D).

- Eixo X (horizontal) — Corrente I: escala de 0 a 15 mA, com intervalos de 2,5 mA (6 divisões).
- Eixo Y (vertical) — Tensão V: escala de 0 a 3,5 V, com intervalos de 0,5 V (7 divisões).

PASSO 3: Localização do ponto no eixo X

Para cada par (I,V) da Tabela 1:

- Percorra tatilmente o eixo horizontal do Plano Cartesiano Tátil em 3D (PCT-3D), contando as divisões da esquerda para a direita.
- Localize a divisão correspondente ao valor da corrente elétrica I.

Ex.: $I = 3,2 \text{ mA} \rightarrow$ está próximo da divisão 1 (2,5 mA). Interpole entre as divisões 1 e 2.

PASSO 4: Localização do ponto no eixo Y

A partir da posição do eixo X encontrada, desloque-se verticalmente para cima, contando as divisões do eixo Y. Localize a divisão correspondente ao valor da tensão V.

Ex.: $V = 0,71 \text{ V} \rightarrow$ está próximo da divisão 1 (0,5 V). Interpole entre as divisões 1 e 2.

PASSO 5: Marcação do ponto

No ponto de interseção das coordenadas (I, V) encontradas:

- Pressione firmemente a punção sobre os vãos do Plano Cartesiano Tátil em 3D (PCT-3D) para transferir as marcações para a folha A4 de 180 g/m².
- A pressão deve ser firme, mas controlada.
- Repita este passo para TODOS os 4 pares de dados da Tabela 1.

PASSO 6: Traçado da reta de ajuste

Com todos os 4 pontos marcados:

- Explore tatilmente a distribuição dos pontos com os dedos.
- Verifique se eles se alinham aproximadamente em linha reta.
- Posicione a régua de modo que a reta passe o mais próximo possível de todos os pontos.
- Passe a punção ao longo da régua, marcando a reta de ajuste na chapa.

Etapas complementares – Identificação dos eixos e do gráfico em Braille

Antes de finalizar a construção do gráfico tátil, recomenda-se que a equipe realize a identificação dos elementos principais utilizando a escrita em Braille. Essa etapa é fundamental para quem deseja um gráfico totalmente completo e acessível, garantindo que o estudante com

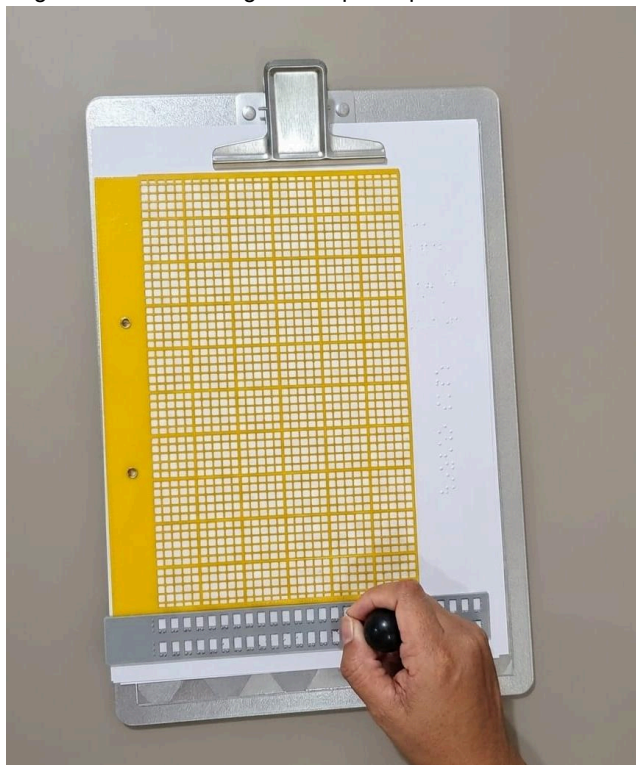
deficiência visual possa identificar, de forma independente, o título, os eixos e as respectivas coordenadas.

Para isso, utiliza-se uma reglete adaptada para escrita em Braille, conforme ilustra a Figura 10. Lembre-se de que está escrita deve ser feita antes de virar a folha, trabalhando no verso e de forma invertida, para que os pontos fiquem na posição correta quando a folha de papel for virado para a leitura. Registre em relevo:

- O título do gráfico;
- A identificação dos eixos X e Y;
- As grandezas físicas representadas e suas respectivas unidades de medida;
- As coordenadas principais da escala (facilitando a localização dos pontos experimentais).

Nota de aplicação: Para realizar essa marcação, utilize os símbolos e códigos em Braille fornecidos anteriormente nesta apostila. Vale ressaltar que esta é uma etapa opcional: caso o objetivo principal da aplicação seja apenas a visualização tátil rápida de como o gráfico se formou (o desenho da curva ou reta), essa identificação detalhada pode não ser tão necessária. Contudo, ela é indispensável para a autonomia plena do aluno.

Figura 9 — Uso de reglete adaptada para escrita em braille



PASSO 7: Inversão da folha A4 180g

Somente após concluir todos os pontos e a reta:

- Retire o Plano Cartesiano Tátil em 3D (PCT-3D).
- Certifique-se de que todas as marcações estão completas antes de inverter!
- Inverta a folha A4 180 g/m² (vire-a para o outro lado).

Agora os pontos e a reta estarão em ALTO-RELEVO, plenamente acessíveis à leitura tátil.

PASSO 8: Leitura tátil e interpretação

Explore tatilmente o gráfico final.

- Identifique que a reta possui inclinação positiva e parte da origem (ou próxima dela).
- A inclinação da reta corresponde ao valor da resistência elétrica do material, indicando proporcionalidade direta entre V e I (comportamento ôhmico).

Para a construção do gráfico tátil referente ao buzzer (componente não ôhmico), todos os procedimentos descritos anteriormente permanecem inalterados, exceto o Passo 6, que deve ser adaptado conforme descrito a seguir.

Com os quatro pontos experimentais já marcados na folha de papel (180 g/m²), explore sua distribuição por meio do tato. Observe que os pontos não se alinham em uma reta, mas tendem a formar uma curva (ver Figura 4). Em seguida, posicione uma régua flexível ou outro material maleável de modo que sua trajetória passe o mais próximo possível de todos os pontos marcados. A curva obtida representa a relação entre tensão e corrente para o buzzer. Esse comportamento indica que a resistência elétrica varia durante o funcionamento do componente, caracterizando um dispositivo não ôhmico, ou seja, que não obedece à Lei de Ohm. A Figura 10 apresenta o processo de construção de um gráfico tátil destinado à leitura de um elemento ôhmico. A Figura 11 representa a leitura de um gráfico tátil referente a um elemento não ôhmico.

Figura 12 – Construção de gráfico tátil para representação de elemento ôhmico

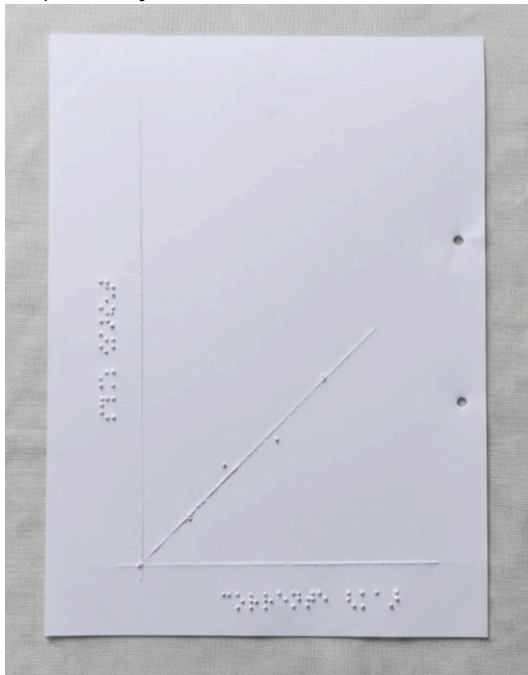
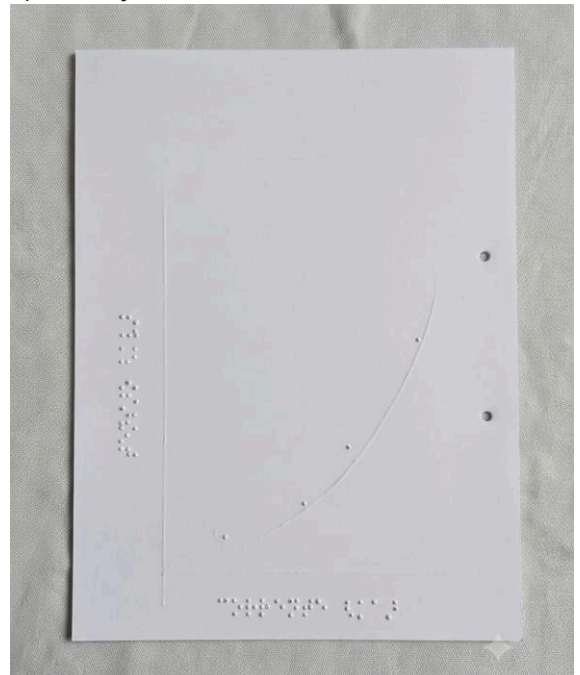


Figura 11 – Leitura de gráfico tátil para representação de elemento não ôhmico



14.5. Questões de Análise e Discussão

Responda às questões abaixo com base nos dados coletados nas Tabelas 1 e 2 e nos gráficos construídos (Figuras 3 e 4 como referência)

1. O gráfico $V \times I$ do resistor (Tabela 1) formou uma reta? O que isso indica fisicamente?

Resposta:

2. O gráfico $V \times I$ do buzzer formou uma curva? Por que o comportamento é diferente do resistor?
Resposta:

3. Calcule a resistência média pelo gráfico (coeficiente angular, Passo 9) e compare com o valor nominal do resistor.

Resposta:

4. Qual foi a influência da resistência interna das pilhas nos resultados obtidos?

Resposta:

5. O resistor obedece à Lei de Ohm? E o buzzer? Justifique com base nos gráficos construídos.

Resposta:

9. QR Code — Apostila Oficial CMU e E-book de Gráficos Táteis

Esta apostila de Física inclusiva foi baseada no e-book **Gráficos Táteis para o Ensino Inclusivo de Física Experimental** (2025), que orienta a produção de materiais acessíveis e gráficos táteis, e na apostila **Notação Matemática em Braille (CMU)** do MEC, que reúne símbolos matemáticos e científicos em Braille.



E-BOOK — GRÁFICOS TÁTEIS PARA O ENSINO INCLUSIVO DE FÍSICA EXPERIMENTAL

Publicação: Universidade Federal do Maranhão / EDUFMA (Editora da UFMA)

 **URL de acesso:**

graficos-tateis-para-o-ensino-inclusivo-de-fisica-experimental

 **Alternativa (IBC):**

www.edufma.ufma.br — Catálogo / E-books / Ensino de Física / Gráficos Táteis para o Ensino Inclusivo de Física Experimental



APOSTILA OFICIAL — NOTAÇÃO MATEMÁTICA EM BRAILLE (CMU)

Publicação: Ministério da Educação (MEC) / Secretaria de Educação Especial

 **URL de acesso:**

[codigo-matematico-unificado-para-a-lingua-portuguesa-cmu-pdf.pdf](https://www.gov.br/ibc/pt-br/publicacoes/codigos/codigo-matematico-unificado-para-a-lingua-portuguesa-cmu-pdf.pdf)

 **Alternativa (IBC):**

www.gov.br/ibc — Pesquisa e Tecnologia / Materiais Especializados / Livros em Braille / O Sistema Braille / **CMU (PDF)**