

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA EM REDE NACIONAL
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

MANOEL ANTONIO TEIXEIRA JUNIOR

TECNOLOGIA ASSISTIVA E PRÁTICA PEDAGÓGICA DE JOHN DEWEY: uma
abordagem integrada para a mobilidade de pessoas com deficiência visual

São Luís – MA

2026

MANOEL ANTONIO TEIXEIRA JUNIOR

TECNOLOGIA ASSISTIVA E PRÁTICA PEDAGÓGICA DE JOHN DEWEY: uma abordagem integrada para a mobilidade de pessoas com deficiência visual

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física em Rede Nacional (PROFIS), na Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Linha de pesquisa: processos de ensino e aprendizagem e tecnologias de informação e comunicação no ensino de física

Orientador: Prof. 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

Teixeira Junior, Manoel Antonio.

Tecnologia Assistiva e Prática Pedagógica de John Dewey : uma abordagem integrada para a mobilidade de pessoas com deficiência visual / Manoel Antonio Teixeira Junior. - 2026.

124 p.

Orientador(a): Edson Firmino Viana de Carvalho.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Rede - Ensino de Física em Rede Nacional/ccet, Universidade Federal do Maranhão, São Luís-ma., 2026.

1. Ensino de Física. 2. Robótica Educacional. 3. Tecnologia Assistiva. 4. John Dewey. 5. Inclusão. I. Viana de Carvalho, Edson Firmino. II. Título.

MANOEL ANTONIO TEIXEIRA JUNIOR

TECNOLOGIA ASSISTIVA E PRÁTICA PEDAGÓGICA DE JOHN DEWEY: uma
abordagem integrada para a mobilidade de pessoas com deficiência visual

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Ensino de
Física em Rede Nacional (PROFIS), na
Universidade Federal do Maranhão, como parte
dos requisitos necessários à obtenção do título
de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em: 19 / 06 / 2026

BANCA EXAMINADORA

Edson Firmino Viana de Carvalho
Doutor em Física – Universidade Federal do Maranhão
(Presidente)

Tiago Nery Ribeiro
Doutor em Educação Matemática – Universidade Federal de Sergipe
(Membro externo)

Clenilton Costa dos Santos
Doutor em Física – Universidade Federal do Maranhão
(Membro interno)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por me permitir mais uma conquista.

A minha esposa e filhos, por todo apoio e carinho durante esta jornada.

Ao meu orientador, Dr. Edson Firmino, pela paciência, cuidado e atenção prestado durante todo o mestrado.

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

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo investigar e desenvolver uma proposta pedagógica que integra os princípios pedagógicos de John Dewey à utilização de tecnologia assistiva baseada em robótica educacional, com ênfase na construção e na aplicação de uma luva sensorial voltada à mobilidade de pessoas com deficiência visual. O trabalho organiza-se em diferentes etapas: inicia pela análise da prática pedagógica de Dewey, com destaque para a aprendizagem experiencial, ativa e democrática; em seguida, discute o conceito e a importância da tecnologia assistiva, explorando suas aplicações para pessoas com deficiência visual; posteriormente, apresenta os conceitos físicos relevantes à integração entre robótica e tecnologia assistiva, como mecânica e acústica. Na parte experimental, descreve-se o desenvolvimento de um kit educacional e, em especial, da luva sensorial, detalhando seu design e seus princípios de funcionamento. O estudo foi desenvolvido com uma turma do IEMA Pleno de Santa Inês (MA), envolvendo 29 estudantes do ensino médio em atividades semanais. A coleta de dados foi realizada por meio de questionários e de análise documental, permitindo avaliar tanto o processo de construção quanto os impactos pedagógicos da proposta. Os resultados evidenciaram que a utilização da robótica educacional, associada à tecnologia assistiva, não apenas ampliou a compreensão de conceitos físicos, como também promoveu a inclusão, a colaboração entre pares e o engajamento dos estudantes em situações de aprendizagem significativa. Conclui-se que a integração entre os princípios pedagógicos de Dewey, a robótica educacional e a tecnologia assistiva constitui uma alternativa promissora para o ensino de Física, ao articular ciência, tecnologia e inclusão.

Palavras-chave: Ensino de Física; Robótica Educacional; Tecnologia Assistiva; John Dewey; Inclusão

ABSTRACT

This research aimed to investigate and develop a pedagogical proposal that integrates John Dewey's educational principles with the use of assistive technology based on educational robotics, with an emphasis on the construction and application of a sensory glove designed to support the mobility of individuals with visual impairments. The study is organized into different stages. It begins with an analysis of Dewey's educational practice, highlighting experiential, active, and democratic learning. It then discusses the concept and importance of assistive technology, exploring its applications for individuals with visual impairments. Subsequently, it presents the physics concepts relevant to the integration of robotics and assistive technology, such as mechanics and acoustics. In the experimental phase, the development of an educational kit and, in particular, the sensory glove is described, detailing its design and operating principles. The study was conducted with a class from IEMA Pleno de Santa Inês (MA), involving 29 high school students in weekly activities. Data were collected through questionnaires and document analysis, enabling the evaluation of both the construction process and the pedagogical impacts of the proposal. The results showed that the use of educational robotics, combined with assistive technology, not only enhanced students' understanding of physics concepts but also promoted inclusion, peer collaboration, and student engagement in meaningful learning situations. It is concluded that the integration of Dewey's educational principles, educational robotics, and assistive technology constitutes a promising alternative for Physics teaching by articulating science, technology, and inclusion.

Keywords: Physics Teaching; Educational Robotics; Assistive Technology; John Dewey; Inclusion

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Luva sensorial	38
Figura 2 – Ultrassom emitindo um pulso ultrassônico	39
Figura 3 - esquema de ligação na placa Arduino.....	40
Figura 5 – Imagem de um Arduino uno em uma montagem de resistor de <i>pull-down</i> e resistor de <i>pull-up</i> . ambos com chave tátil	41
Figura 6 – Esquema de montagem de sensores.	42
Figura 7 – Gráfico da percepção de aprendizado com a luva sensorial	61
Figura 8 – Nível de engajamento dos estudantes	61
Figura 9 – Aceitação da luva como ferramenta didática	62
Figura 10 – Inclusão de estudantes com deficiência	62
Figura 11 – Preferência metodológica dos estudantes.....	63
Figura 12 – Mudança de interesse profissional após o projeto.....	64
Figura 13 – Participação ativa de estudantes com deficiência	64

SUMÁRIO

1	Introdução.....	10
2	Prática pedagógica de John Dewey	13
2.1	Aprendizagem experiencial e ativa	14
2.2	Conexão com a vida real e democracia na educação	17
3	Tecnologia assistiva	19
3.1	Conceito e importância.....	19
3.2	Aplicações da tecnologia assistiva para pessoas com deficiência visual	23
4	Conceitos físicos relevantes na integração da robótica educacional com a tecnologia assistiva.....	28
4.1	Mecânica aplicada a mobilidade	29
4.2	Óptica e detecção sensorial	30
4.3	Física do som na orientação espacial.....	32
4.4	Interações eletrostáticas e mobilidade assistida	36
5	Desenvolvimento e aplicação da tecnologia assistiva	38
5.1	Descrição do kit experimental	38
5.2	Luva sensorizada: princípios de funcionamento e design	43
6	Metodologia e aplicação.....	45
6.1	Descrição da pesquisa	45
6.2	Contexto da pesquisa.....	46
6.3	Instrumentos de coleta de dados.....	46
6.3.1	Análise documental	46
6.3.2	Questionários	47
6.3.3	Síntese	48
6.4	Procedimentos de análise	48
6.5	Cronograma de desenvolvimento da proposta	49
7	Aplicação do recurso educacional e relato da experiência.....	51
7.1	Construção e aplicação da luva sensorial no ensino de Física	51
7.2	Procedimentos metodológicos e caminhos da escuta participativa.....	52
7.3	Planejamento e desenvolvimento da pesquisa: caminhos, tempos e afetos	52
7.3	Fundamentação teórica e diálogo com a literatura	54
7.3.1	Construção da luva sensorial e experimentação pedagógica	56
7.3.2	Análise dos dados e sistematização dos resultados.....	58
7.3.3	Produção do relatório final e valorização das experiências	58
7.3.3.1	Experiências de aprendizado de Física	58

7.3.3.2 Superação de dificuldades	58
7.3.3.3 Colaboração e inclusão	59
7.3.3.4 Perspectivas Futuras	59
7.3.3.5 Considerações Metodológicas	59
8 Análise dos questionários aplicados	60
8.1 Análise dos dados e impactos pedagógicos da luva sensorial	60
9 Considerações finais	67
Referências	70
Apêndice A – Eletrônica e tecnologia de sensores	75
Apêndice B – Programação da luva	80
Apêndice C – Questionário de avaliação da prática de robótica	82
Apêndice D – Questionário de satisfação do uso de tecnologia assistiva e robótica	83
Apêndice E – Produto Educacional	86

1 INTRODUÇÃO

O ensino de Física na Educação Básica brasileira enfrenta desafios relacionados ao interesse dos estudantes, à contextualização dos conteúdos e à construção de aprendizagens significativas. Ao longo de minha trajetória como professor de Física, percebi que muitas de minhas práticas pedagógicas estavam fundamentadas em metodologias tradicionais, centradas na exposição dos conteúdos e na resolução de exercícios. Embora essas estratégias permitissem o desenvolvimento do currículo, frequentemente os estudantes demonstravam dificuldades em relacionar os conceitos físicos estudados com situações do cotidiano.

Essa realidade levou-me a refletir sobre minha prática docente e sobre a necessidade de adotar metodologias que favorecessem uma participação mais ativa dos estudantes. Nesse processo, passei a compreender o professor como mediador da aprendizagem, responsável por criar situações que estimulem a investigação, a criatividade e o protagonismo discente.

Foi nesse contexto que a Robótica Educacional surgiu como uma alternativa promissora. Segundo Rabelo (2016), sua utilização no ensino de Física possibilita a construção ativa do conhecimento, incentivando a criatividade, o trabalho colaborativo e a aprendizagem significativa. Além disso, Fornaza e Webber (2014) destacam que a robótica amplia as possibilidades de aprendizagem científica e tecnológica ao permitir que os estudantes desenvolvam soluções para problemas inspirados em situações reais, aproximando teoria e prática.

A partir das inquietações surgidas em minha prática docente, a Robótica Educacional passou a despertar meu interesse como estratégia para tornar o ensino de Física mais contextualizado, dinâmico e significativo para os estudantes.

Nesse contexto, Chitolina e Scheid (2015) observam que a geração atual de alunos, nascida e criada em um ambiente digital, está profundamente imersa nas tecnologias da informação e da comunicação. Para esses estudantes, o desafio do professor é tornar o ensino interdisciplinar mais atraente e relevante para a sua realidade cotidiana. A robótica educacional, ao permitir a interação direta dos alunos com os conceitos físicos por meio da construção e manipulação de dispositivos tecnológicos, cumpre esse papel ao tornar o aprendizado mais concreto e engajador.

Para esta pesquisa propomos atividades estruturadas para cobrir os principais conteúdos de Física e tecnologia assistiva, culminando na construção de um recurso educacional que combina os conhecimentos adquiridos. As aulas, com duração de duas horas semanais, contemplam uma turma de 29 alunos do Instituto Estadual de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IEMA) Pleno Santa Inês – MA, que participarão ativamente das etapas de desenvolvimento do projeto de construção de um recurso educacional.

Diante desse cenário, o presente trabalho busca responder à seguinte questão: como a robótica pode contribuir para o ensino de Física no ensino médio? Para responder a essa indagação, foram delineados como objetivo geral investigar e desenvolver uma proposta pedagógica que integre os princípios da prática educacional de John Dewey à utilização de tecnologia assistiva baseada em robótica educacional, com ênfase na construção e aplicação de uma luva sensorial voltada à mobilidade de pessoas com deficiência visual, de modo a favorecer a inclusão e a aprendizagem significativa em Física. Os objetivos específicos são:

- Analisar os fundamentos da prática pedagógica de John Dewey, destacando a aprendizagem experiencial, a atividade prática e a dimensão democrática da educação;
- Compreender o conceito e a importância da tecnologia assistiva, com foco nas aplicações voltadas às pessoas com deficiência visual;
- Explorar os conceitos físicos relevantes (mecânica, óptica, acústica e eletrostática) necessários para a integração entre robótica educacional e tecnologia assistiva;
- Desenvolver e descrever o kit experimental e a luva sensorial, considerando princípios de design, funcionamento e aplicabilidade pedagógica;
- Aplicar a proposta pedagógica em contexto escolar, promovendo experiências de ensino de Física mediadas pela luva sensorial e fundamentadas nos princípios construcionistas e deweyanos;
- Coletar e analisar dados por meio de questionários e análise documental;
- Refletir sobre os resultados obtidos, sistematizando as contribuições, desafios e perspectivas futuras para o uso da tecnologia assistiva no ensino de Física e na promoção da inclusão educacional.

Dessa forma, o presente estudo organiza-se em um percurso que parte da análise da prática pedagógica de John Dewey, destacando sua defesa da aprendizagem experiencial e da conexão entre educação e vida real, para então avançar à discussão sobre a tecnologia assistiva e suas aplicações voltadas à mobilidade de pessoas com deficiência visual. Em seguida, são abordados os conceitos físicos fundamentais à integração da robótica educacional com tais tecnologias, constituindo a base teórica para o desenvolvimento do kit experimental e da luva sensorizada, descritos em detalhes quanto ao design e ao funcionamento. A pesquisa é então situada metodologicamente, com a caracterização do contexto, instrumentos e procedimentos de análise, culminando na aplicação prática do recurso educacional, no relato das experiências vividas e no diálogo com a literatura especializada. Por fim, a análise dos questionários aplicados permite evidenciar os impactos pedagógicos da proposta, cujas reflexões são sistematizadas nas considerações finais, reafirmando a relevância da integração entre tecnologia

assistiva, robótica educacional e a abordagem de John Dewey para a promoção da inclusão e do aprendizado significativo em Física.

2 PRÁTICA PEDAGÓGICA DE JOHN DEWEY

Um dos principais representantes da “Escola Nova”, John Dewey, nasceu em Burlington, Vermont, EUA, em 1859. Ele estudou nas escolas de sua cidade natal e posteriormente ingressou na Universidade de Vermont. Além de ser um grande defensor prático da teoria educacional, Dewey foi também um filósofo que desenvolveu a teoria do pragmatismo americano, que visa resultados racionalistas-críticos, metodológicos e ético-políticos, fundamentados em um sentido instrumentalista, conforme afirma Cambi (1999).

Dewey é considerado um dos maiores pedagogos do século XX por suas ideias terem se espalhado por todo o mundo, abordando questões políticas, sociais e científicas que propiciaram debates e experimentações. Suas teorias são baseadas em experiências que expressam raciocínios passíveis de comprovação. Este período de sua vida coincide com o aumento da industrialização nos Estados Unidos, a difusão da ciência e as reivindicações por participação política das classes sociais menos favorecidas. A perspectiva educacional de Dewey é vista como uma proposta para uma sociedade democrática, industrial e científica.

Após ler os escritos de William James, Dewey refletiu que uma teoria só detém lógica se for aplicada “à solução de problemas que emergem de situações concretas” (DEWEY, 2009, p. 2). Assim, as teorias filosóficas são apenas hipóteses que só possuem validade quando postas em prática. Essa busca por constatar teorias através da experiência fez surgir uma nova abordagem: o pragmatismo.

John Dewey se opunha à concepção tradicionalista de preparar o indivíduo apenas para um futuro promissor. Ele acreditava que a aprendizagem deveria partir da realidade e das necessidades do educando, daquilo que fazia parte de seu cotidiano. Segundo Luckesi (2011), Dewey contribuiu para o desenvolvimento das tendências pedagógicas liberais renovadas e progressivistas, valorizando práticas experimentais, pesquisa e o estudo do meio social. Estas atividades deveriam ser adequadas à natureza do estudante e às suas etapas de desenvolvimento.

No livro “Experiência e Educação”, Dewey explicitou a necessidade de uma filosofia da experiência articulada às formas mais tradicionais de educar. Ele objetivava criar as condições necessárias para que o ato educativo se configurasse como uma realidade, e não apenas como uma nomenclatura.

O processo educativo, segundo Dewey, deve ser compreendido como algo contínuo, envolvendo a reorganização e reconstrução da experiência, promovendo transformações internas no indivíduo. Para Dewey (2011, p. 26), a experiência ocorre no cotidiano e não em uma vida futura: “[...]”. O conceito de experiência é central no pensamento de Dewey, mas não qualquer tipo de experiência. A experiência educativa deve estar vinculada ao processo de continuidade, onde existe uma percepção consciente do resultado da ação, englobando reflexão

e viabilizando novos conhecimentos que orientarão a qualidade das experiências futuras. Para Dewey (2011), a experiência é formada pela interação entre o sujeito e a situação, na qual ambos se transformam, gerando alterações e continuidades.

2.1 Aprendizagem experiencial e ativa

John Dewey argumenta que o processo educativo é uma contínua reconstrução e reorganização da experiência, enfatizando o princípio da continuidade. Segundo Dewey, cada experiência vivida influencia as futuras, carregando elementos das passadas e moldando as subsequentes (DEWEY, 2011). Ele destaca que

[...] cada experiência afeta para melhor ou para pior as atitudes que contribuem para a qualidade das experiências subsequentes, estabelecendo certas preferências e aversões, tornando mais fácil ou difícil agir nessa ou naquela direção. Além disso, toda a experiência exerce, em algum grau, influência sobre as condições objetivas sob as quais novas experiências ocorrem [...]. (DEWEY, 2011, p. 37).

Para Dewey, criar situações que estimulam questionamentos e a construção de significados é essencial. A qualidade das experiências educativas depende de selecionar experiências presentes que influenciam as futuras, promovendo uma educação progressiva que se distancia do mecanicismo tradicional ao valorizar os saberes e interesses individuais. Dewey observa que a prática pedagógica baseada em uma educação progressiva é complexa e demanda a criação de novos caminhos, mais trabalhosos que seguir métodos tradicionais. Ele afirma que é mais fácil seguir o caminho já trilhado do que adotar um novo ponto de vista, refletindo a resistência institucional ao progresso educativo (DEWEY, 2011, p.31).

A educação tradicional, segundo Dewey, não enfrenta o problema de integrar o conhecimento com a realidade externa, sendo limitada a um ambiente escolar fixo e desconectado da comunidade local (DEWEY, 2011, p. 41). Dewey critica a filosofia dualista que separa mente e mundo, natureza e experiência, argumentando que tais divisões refletem estruturas sociais antagônicas (DEWEY, 1979, p. 366). Ele defende que a razão e a experiência estão interligadas em um processo de continuidade, onde a experiência anterior ilumina a nova, formando um entendimento holístico.

[...] encontramos a origem destas divisões nas sólidas e altas muralhas que extremam os grupos sociais e as classes dentro de um grupo, como as distinções entre ricos e pobres, homens e mulheres, pessoas nobres e de baixa condição, e entre os que mandam e os que são mandados. (DEWEY, 1979, pág. 366)

Foi no cenário de uma sociedade de estamentos (fixa e imutável) que uma filosofia dual se tornou dominante, produzindo ideias contrárias sobre os processos cognitivos. Tal fato ocorreu, por exemplo, com as escolas do Empirismo e do Racionalismo, ambas criticadas por Dewey (1979). Dewey aponta que o engano comum dessas escolas foi deixar de perceber que, a função do estímulo sensorial ou da experiência, quanto a função da reflexão ou da razão, são

funções que se vinculam e estão relacionadas à reorganização da experiência em um processo de continuidade, assim:

A “razão” é precisamente a aptidão de fazer a matéria da experiência anterior levar a perceber a significação da matéria de uma nova experiência. Uma pessoa é racional no grau em que habitualmente tem clarividência para ver um evento, que imediatamente lhe incide nos sentidos, não como uma coisa isolada, mas em conexão com a experiência comum da humanidade. (DEWEY, 1979, pág. 377)

A aprendizagem experiencial e ativa, conforme Dewey, ocorre através da interação contínua entre o indivíduo e o objeto de conhecimento. Ele destaca que a experiência contém princípios de conexão e organização intrínsecos, sem necessitar de uma síntese sobrenatural.

A experiência contém em si princípios de conexão e de organização [...] Mesmo nos níveis ínfimos de vida, torna-se indispensável algum grau de organização. A própria ameba necessita alguma continuidade em sua atividade, e alguma adaptação ao meio ambiente. Sua vida e experiência não podem consistir em sensações atomizadas momentâneas, auto enclausuradas. Sua atividade está em referência com o ambiente e com o que já aconteceu ou está para acontecer. Esta organização, intrínseca à vida, torna desnecessária uma síntese sobrenatural e sobre-empírica, ao mesmo tempo em que ministra a base e o material para o desenvolvimento da inteligência como fator organizador da experiência. (DEWEY, 2011, p.94)

De acordo com Amaral (1990), a distinção que realmente importa e tem significado para Dewey, não ocorre mais entre o “mundo” e “aqueles que conhecem o mundo”. Por essa razão é que se pode dizer que Dewey naturaliza o homem, mostrando que aquilo que a espécie faz, pela perspectiva cognitiva, é somente mais um elemento dentre os outros do mundo.

Dewey evidencia a existência de um fluxo contínuo, um processo natural que alcança na cognição. Essa cognição, exemplificado pelo método científico, origina-se da relação prática do homem na natureza e é fruto da busca de solução de problemas.

Dewey (1979) expressa que o método experimental é novo como recurso científico, um meio sistematizado de adquirir conhecimentos, mas é antigo como a vida, em seu caráter prático. É nessa relação de continuidade entre experiência, pensamento e vida, que os seres humanos aprendem. É a partir da busca de soluções de problemas, que se produz o conhecimento. O ato de conhecer, detém um sentido prático, aplicável às experiências presentes e futuras. Para Dewey (1979, p.373): “Em suma, a função do conhecimento é tornar uma experiência livremente aproveitável em outras experiências. [...] Por outras palavras, o conhecimento é uma percepção das conexões de um objeto, que o torna aplicável em dada situação”.

Por adequada concepção do conhecimento deve-se compreender exatamente tudo o que foi exposto como a proposta de rejeição dos dualismos e a adoção de uma visão amplificada de todo o processo cognitivo. Por fim, o conselho do autor sobre a adoção da continuidade como princípio na educação é:

Deve haver continuidade entre o aprendizado escolar e o extraescolar. Deve existir livre interação entre os aprendizados. Isto só é possível quando existem numerosos pontos de contato entre os interesses sociais de um e de outro. Poder-se-ia conceber a escola como um lugar em que houvesse espírito de associação e de atividade compartilhada, sem que, entretanto, sua vida social representasse ou copiasse, quer o mundo existente além das paredes da escola, quer a vida de um mosteiro. (DEWEY, 1979, p. 394)

Na perspectiva deweyana, o ato de experimentar está vinculado com a ideia de interação. Com um processo de troca e transformação que ocorre quando o indivíduo é exposto ao objeto de conhecimento. Essa exposição ao objeto do conhecer configura-se como a própria natureza se conhecendo. É como se a natureza estivesse interagindo consigo mesma, já que os seres humanos são também integrante e inseparável dela. Dewey não vê uma separação ontológica entre o mundo e o sujeito. Para o filósofo, o sujeito também é o mundo e aprende, ou forma hábitos no processo contínuo de interação. Assim, ele afirma que:

A experiência, em suma, não é uma combinação do espírito com o mundo, do sujeito com o objeto, do método com a matéria, e sim uma única interação contínua de grande diversidade de energias” (literalmente inumeráveis). (DEWEY, 1979, p. 184)

Dewey (1979) descreveu o processo da experiência como constituído de dois elementos. Um ativo e outro passivo. O viés ativo da experiência parte do sujeito e é perpassado pela ação, pela tentativa e atividade que se faz em direção ao que se experimenta. Esse modo ativo, constitui-se em todo movimento que se faz em direção ao mundo, ao objeto de pesquisa, e ocorre quando apontamos a mente e os sentidos para algo. Já o caráter passivo da experiência é o que “se sofre” da ação, dessa forma:

Quando experimentamos alguma coisa, agimos sobre ela, fazemos alguma coisa com ela; em seguida sofremos ou sentimos as consequências. Fazemos alguma coisa ao objeto da experiência, e em seguida ele nos faz em troca alguma coisa: essa é a combinação específica, de que falamos. (DEWEY, 1979, p.152).

Para Dewey (1979) é somente nesse processo de ir e vir, de interação com o objeto de estudo que acontecerá a experiência e o aprendizado. Experimentar abarca então atividade e passividade. Segundo o filósofo:

Aprender da experiência é fazer uma associação retrospectiva e prospectiva entre aquilo que fazemos às coisas e aquilo que em consequência essas coisas nos fazem gozar ou sofrer. Em tais condições a ação torna-se uma tentativa; experimenta-se o mundo para se saber como ele é; o que se sofrer em consequência torna-se instrução — isto é, a descoberta das relações entre as coisas. (DEWEY, 1979, p. 153)

Por fim, Dewey (1979) advoga por uma educação que integra experiências escolares e extraescolares, promovendo uma interação constante entre diferentes contextos de aprendizado. Ele afirma que a escola deve ser um lugar de associação e atividade compartilhada, refletindo os interesses sociais e promovendo um espírito de cooperação e experimentação contínua (DEWEY, 1979, p. 394). A aprendizagem experiencial, assim, torna-se um processo de troca e transformação contínua, em que o indivíduo, ao interagir com o objeto de conhecimento,

participa ativamente do mundo natural, aprendendo e evoluindo. Como adverte Araújo (2008, p. 4), “não será possível separar o ar dos pulmões, o conhecido do conhecedor, os dados sensíveis da experiência em foco”.

2.2 Conexão com a vida real e democracia na educação

A filosofia educacional de John Dewey (2011) estabelece uma conexão íntima entre a prática pedagógica e a vida real, visando promover o desenvolvimento de habilidades através da experiência. Enquanto isso, a educação tradicional busca moldar os alunos para a conformidade e a submissão, como enfatiza Thompson ao descrever o processo civilizador nesse modelo (THOMPSON, 2002).

No momento em que a vontade da criança estivesse anulada e ‘ela tivesse sido reduzida a um estado de servidão mental e moral, chegava a hora de o sistema de educação, através da obediência mecânica, ser-lhe aplicado com todo o rigor’. (THOMPSON, 2002, p. 35).

Este tipo de educação tradicional tinha como objetivo central anular a vontade da criança, reduzindo-a a um estado de servidão mental e moral.

Dewey (2011) critica esse modelo tradicional, argumentando que a educação deve ser um meio de transformação da realidade, baseando-se na experiência de vida do aluno. Para ele, a educação serve como um mecanismo de controle social apenas quando se torna uma forma de reprimir ou negar a validade das experiências de vida dos alunos (THOMPSON, 2002, p. 36). Ele propõe que a educação deve capacitar os indivíduos para o autocontrole, não através do controle externo, mas sim pela internalização das normas sociais por meio da experiência.

Nas palavras de Dewey (2011), a educação tradicional trata o aluno como um sujeito passivo, submetido a um controle externo pelo professor, enquanto nas escolas progressistas, o controle social é alcançado através do trabalho colaborativo e da participação de todos os membros da comunidade educativa (DEWEY, 2011). Essas escolas progressistas são concebidas como comunidades em miniatura, onde os alunos são encorajados a contribuir e se responsabilizar pelo seu próprio aprendizado, refletindo uma organização social que valoriza a participação e a cooperação (DEWEY, 1979).

Dewey propõe um currículo educacional que seja relevante para a vida dos alunos, integrando teoria e prática, de modo que o conhecimento adquirido na escola tenha aplicação direta na vida cotidiana (DEWEY, 2011, p. 22). Ele enfatiza a importância de os educadores criarem condições que permitam aos alunos refletir sobre suas ações e os resultados dessas ações, considerando que a aprendizagem ocorre quando os impulsos, a curiosidade e o conhecimento prévio do aluno interagem com o conteúdo estudado (DEWEY, 2011).

Para Dewey (2011), o papel do educador é facilitar o processo de aprendizagem, direcionando e apresentando desafios aos alunos para que possam alcançar uma compreensão inteligente da matéria. Ele acredita que a aprendizagem significativa ocorre quando os alunos são capazes de relacionar o conhecimento teórico com suas próprias experiências de vida, e que o educador deve adaptar o currículo para atender às necessidades e interesses individuais dos alunos (DEWEY, 2011).

Assim, a proposta de Dewey para uma educação democrática e progressista envolve uma abordagem pedagógica centrada na experiência de vida dos alunos, onde teoria e prática são integradas, e os alunos são incentivados a participar ativamente do processo de aprendizagem. Ao promover essa integração entre a escola e a vida real, Dewey busca criar um ambiente educacional que prepare os alunos para enfrentar os desafios do mundo contemporâneo, onde a aprendizagem contínua e adaptativa é essencial para o sucesso pessoal e profissional.

3 TECNOLOGIA ASSISTIVA

Em 16 de novembro de 2006, a Secretaria Especial dos Direitos Humanos da Presidência da República - SEDH/PR, através da portaria nº 142, instituiu o Comitê de Ajudas Técnicas - CAT, que reuniu um grupo de especialistas brasileiros e representantes de órgãos governamentais em uma agenda de trabalho. O CAT foi instituído com os objetivos principais de: apresentar propostas de políticas governamentais e parcerias entre a sociedade civil e órgãos públicos referentes à área de tecnologia assistiva; estruturar as diretrizes da área de conhecimento; realizar levantamento dos recursos humanos que atualmente trabalham com o tema; detectar os centros regionais de referência, objetivando a formação de rede nacional integrada; estimular nas esferas federal, estadual e municipal a criação de centros de referência; propor a criação de cursos na área de tecnologia assistiva, bem como o desenvolvimento de outras ações com o objetivo de formar recursos humanos qualificados; e propor a elaboração de estudos e pesquisas relacionados ao tema da tecnologia assistiva. (BRASIL – SDHPR, 2012).

Assim, esta seção destaca a importância do contexto institucional e das iniciativas já realizadas como base para compreendermos o desenvolvimento e a implementação da tecnologia assistiva no contexto da sala de aula.

3.1 Conceito e importância

Para elaborar um conceito de tecnologia assistiva que pudesse subsidiar as políticas públicas brasileiras os membros do CAT fizeram uma profunda revisão no referencial teórico internacional, pesquisando os termos *Ayudas Tecnicas*, *Ajudas Técnicas*, *Assistive Technology*, *Tecnologia Assistiva* e *Tecnologia de Apoio*. Alguns dos conceitos pesquisados são citados e analisados no texto que segue. De acordo com o Secretariado Nacional para a Reabilitação e Integração das Pessoas com Deficiência (SNRIPD) de Portugal afirma:

Entende-se por ajudas técnicas qualquer produto, instrumento, estratégia, serviço e prática utilizada por pessoas com deficiência e pessoas idosas, especialmente, produzido ou geralmente disponível para prevenir, compensar, aliviar ou neutralizar uma deficiência, incapacidade ou desvantagem e melhorar a autonomia e a qualidade de vida dos indivíduos. (PORTUGAL, 2007).

Nesta descrição percebemos a grande abrangência do tema, que extrapola a concepção de produto e agrega outras atribuições ao conceito de ajudas técnicas como: estratégias, serviços e práticas que favorecem o desenvolvimento de habilidades de pessoas com deficiência. O conceito proposto no documento "*Empowering Users Through Assistive Technology*" - EUSTAT, elaborado por uma comissão de países da União Européia traz incorporado ao conceito da tecnologia assistiva as várias ações em favor da funcionalidade das pessoas com deficiência afirmando:

[...] em primeiro lugar, o termo tecnologia não indica apenas objetos físicos, como dispositivos ou equipamento, mas antes se refere mais genericamente a produtos, contextos organizacionais ou modos de agir, que encerram uma série de princípios e componentes técnicos. (EUROPEAN COMMISSION - DGXIII, 1998)

Já os documentos de legislação nos Estados Unidos apresentam a TA como recursos e serviços sendo que:

Recursos são todo e qualquer item, equipamento ou parte dele, produto ou sistema fabricado em série ou sob-medida utilizado para aumentar, manter ou melhorar as capacidades funcionais das pessoas com deficiência. Serviços são definidos como aqueles que auxiliam diretamente uma pessoa com deficiência a selecionar, comprar ou usar os recursos acima definidos. (ADA - American with Disabilities ACT 1994.)

A partir destes e outros referenciais o CAT - aprovou, em 14 de dezembro de 2007, o conceito brasileiro de Tecnologia Assistiva:

Tecnologia Assistiva é uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação, de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social. (BRASIL - SDHPR. – Comitê de Ajudas Técnicas – ATA VII)

A política de educação inclusiva suscitou o desenvolvimento de pesquisas voltadas para a criação e o desenvolvimento de recursos e métodos educacionais visando atender às especificidades de estudantes com deficiência nas escolas, projetados para superar as barreiras da comunicação, melhorar a funcionalidade e a mobilidade, favorecendo a autonomia pessoal, movimentos sensoriais e mentais, rumo à plena inclusão social. Para atender à diversidade educacional (alcançar níveis mais complexos e evolutivos de aprendizagem), é necessário considerar as limitações cognitivas e motoras dos estudantes, bem como compreender e reconhecer a própria condição humana, em termos de interesses, sensibilidades, motivações, complexidades (singularidades próprias), olhares e experiências, sem abandonar ou expulsar as diferenças de nosso mundo, mas oportunizando diálogos culturais de liberdade, pluralidade e espontaneidade no sentido formativo do (re)conhecimento e da reinvenção social.

O uso da TA passa por metamorfoses nas esferas cultural e pedagógica, pautadas nas novas formas de lidar com as debilidades sociais e com o conhecimento, produzido em escala geométrica. Isso conduz a uma mudança da própria natureza da instrumentalidade, reconstruída sob o ponto de vista da arte, do respeito e do direito à convivência comunitária. Nessa esteira, temos presenciado uma reconfiguração do caráter compensatório da TA - contido no início do século XX - para potencializador de vínculos sociais dos sujeitos com impedimentos de exercer plenamente seu direito a dignidade, respeito, liberdade de expressão, educação, convívio social.

De acordo com Lévy (2001), as novas tecnologias da inteligência individual e coletiva mudam profundamente as questões postas na atualidade e os problemas da educação e da

formação. O que é preciso aprender não pode mais ser dominado com antecedência, pois se situa na linguagem e no conhecimento reinventado constantemente entre os atores sociais.

O caráter de fundo da tecnologia da inteligência - como potência de autocriação - reside na possibilidade de interconexão e da integração coletiva na esfera cultural enquanto um fluxo comunicativo. A propensão à tecnologia da inteligência, esta colaborativa, plural, aberta e em transformação, representa a possibilidade de compreender seus sentidos e aumentar as capacidades cognitivas das pessoas e dos grupos (através de memória, percepção, raciocínio, aprendizagem ou criação), tensionando a palavra e colocando em marcha uma reconfiguração social, cultural e política de uma pluralidade de conversação de maneira mais livre (LÉVY, 2001). Para Sánchez Gamboa (2013, p.57-58):

Pensar a TA como condição de possibilidade de aprendizado mútuo e reconstrutivo significa afastar-se da visão de que o desenvolvimento técnico representa apenas suplemento ao corpo e à mente humana, desmitificando o entendimento comum de que o uso do aparato técnico possui somente uma função causal e determinística. As tecnologias são dispositivos agregadores de experiência, elementos de aproximação da prática social, convivência, interação, conhecimento e comprometimento com o outro. A tecnologia vem desenvolvendo-se, impulsionada pela necessidade de ampliar e aguçar a sensibilidade humana. Isto é, a tecnologia alarga as capacidades da percepção humana: por exemplo, ver mais longe, de forma mais fina, mais concentrada, ultrapassando limites, obstáculos e barreiras como falta de iluminação (telescópios, microscópios, raios-X, aparelhos de luz infravermelha, microcâmeras). Escutar melhor com ajuda das tecnologias, tais como radares, sonares, ultrassom. Sentir melhor através de sensores, da ressonância magnética etc. Outras tecnologias ajudam na memória e na organização de dados e de informações, como o moderno computador. Mas todas essas tecnologias não têm sentido se por trás delas não está uma sensibilidade atenta [...]

Ao abordar o assunto da TA na educação, Bersch (2008, p. 2) defende que a tecnologia assistiva precisa ser entendida como [...] um auxílio que promoverá a ampliação de uma habilidade funcional ou deficitária, ou ainda, que possibilitará a realização de uma função desejada e que se encontra impedida”, devido a uma limitação em termos fisiológicos e psicológicos, inatos ou adquiridos pelos sujeitos. O acesso à TA na escola permite aos participantes até então destoantes dos padrões normais e àqueles atingidos por estigmas sociais a possibilidade de assumir um papel mais ativo na própria dinâmica de aprendizagem e no processo conjunto de interações sociais.

A TA na educação vai além do mero auxílio ao estudante para realizar as tarefas escolares, abrindo possibilidades para novas perspectivas formativas do processo de desenvolvimento humano, para que o sujeito possa atuar de forma solidária, sensível, construtiva e dialética com o outro e com o mundo alicerçado na metamorfose do aprender. Recentemente, verifica-se uma grande diversidade de recursos tecnológicos para assegurar condições de acesso e reabilitação de pessoas com limitações em termos de incapacidades sensoriais, motoras, cognitivas e de aprendizagem, de linguagem e oralidade, de mobilidade e

autonomia, do relacionamento interpessoal e da participação social, abrindo para outras sensibilidades e para a melhor expressão e contextualização dos problemas educativos e de uma cidadania crítica.

De modo geral, os dispositivos de inclusão lidam com as diferenças e o respeito às diversidades dos sujeitos, que não se faz na invisibilidade ou na ausência de diálogo em relação às resistências, mas reconhecendo o outro como um ser diferente e politicamente legítimo, cuja relação baseia-se no respeito mútuo, na confiança solidária e na colaboração. A TA apresenta um potencial humanista de valor social diante dos eventuais desajustes no ritmo de aprendizado (como um processo que é plural, complexo e múltiplo de sentido), uma vez que pode auxiliar e criar estímulos à capacidade de percepção, linguagem e compreensão ontológica, pois articula diferentes formas de estar juntos e uma multiplicidade de saberes. Trata-se de reivindicar o direito de reconhecimento social na experiência com a TA socialmente validada, que repercute em todas as dimensões da vida, como um meio pelo qual as pessoas compartilham suas experiências e aprendem com o outro, ou seja, é um exercício de cidadania e de vivência cultural.

O conhecimento integrado da TA abrangendo recursos e relacionamentos físicos, humanos e sociais complementares aos processos cognitivos de aprendizagens abre para outras sensibilidades sobre a presença e o reconhecimento do outro em sua humanidade, combinando com uma formação recíproca e plural que resulta em transformação do pensamento e passa pela dinâmica da linguagem.

Frequentemente, percebemos que as crianças e os jovens são receptivos às variadas tecnologias (eles aprendem sobre elas). No entanto, isso não repercute diretamente no desenvolvimento cognitivo, social e afetivo em termos de relação interpessoal, de lógica compreensiva de textos e no aprendizado de problemas matemáticos, desfavorecendo, muitas vezes, os usos, os sentidos e a ressignificação das palavras.

Diversamente, as tecnologias poderiam funcionar como elementos instigadores aos processos educativos e à pluralidade formativa estimulada pelo acesso à internet, para reunir diferentes papéis e jogos com um sentido ético e emancipatório. A questão da inclusão da pessoa com deficiência na escola por meio da TA é algo complexo, mas que torna possível e viável a integração e a cidadania de todos. Esse trabalho vai além da adaptação aos recursos técnicos e à inclinação tecnológica, uma vez que precisa apoiar e relacionar as necessidades singulares a uma “tecnologia da inteligência” (LÉVY, 2001), que combina elementos de “luta por reconhecimento” (HONNETH, 2003).

3.2 Aplicações da tecnologia assistiva para pessoas com deficiência visual

A deficiência visual é definida, segundo a Classificação Internacional de Doenças (CID-11), como a dificuldade na habilidade de executar atividades de vida diária relacionadas à visão, tais como leitura, orientação e mobilidade (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2018). Critérios estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS) classificam a deficiência visual em: baixa visão (ou visão subnormal), na qual o sujeito conserva resíduos da visão, sendo capaz de ler textos ampliados ou com o uso de recursos; e cegueira, na qual o sujeito pode perceber vultos e luzes (cegueira parcial) ou não possuir nenhuma percepção luminosa (cegueira total) (CONDE, 2015).

Segundo a OMS, existem cerca de 285 milhões de pessoas no mundo com deficiência visual (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2018). Já no Brasil, dados do Censo Demográfico de 2010 apontam que das deficiências presentes na população brasileira, a deficiência visual é a mais frequente com 18,6%, seguida pela deficiência motora com 7%, auditiva com 5,1% e cognitiva com 1,4% (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2011). Diante desse quadro, Santos et al. (2015) ressaltam a importância de políticas públicas que atendam às necessidades desse segmento populacional, possibilitando-lhes o exercício de seus direitos básicos como a educação, saúde e trabalho, favorecendo seu bem-estar pessoal, social e econômico.

Embora a deficiência visual seja a deficiência mais predominante na população brasileira, esses indivíduos enfrentam diversas barreiras e desafios diariamente, como por exemplo, realizar atividades diárias como caminhar, ler, reconhecer objetos ou pessoas (ZITKUS *et al.*, 2016; BRITTO NETO *et al.*, 2015). Nesse contexto, a Tecnologia Assistiva (TA) configura-se como um auxílio na execução dessas tarefas, ao minimizar os efeitos da deficiência, melhorando as capacidades funcionais dos sujeitos, possibilitando-lhes mais autonomia e inclusão social, resultando, assim, em uma melhor qualidade de vida para seus usuários (BRASIL, 2013).

A TA é uma área do conhecimento interdisciplinar que tem como objetivo promover a participação de pessoas com deficiência e representa, atualmente, uma área em ascensão, impulsionada, principalmente, pelo novo modelo de inclusão social que incentiva a participação de pessoas com deficiência nos diversos ambientes da sociedade (BRASIL; RODRIGUES; ALVES, 2013).

Uma das maiores exigências da contemporaneidade é que tenhamos acesso às informações de forma rápida e precisa, pois, a todo momento surgem novas tecnologias. Para as pessoas com deficiência, as tecnologias assistivas adquirem relevância na medida em que

lhes permitem executar suas tarefas cotidianas com autonomia e independência (BERSCH, 2008).

Hoje, as pessoas com deficiência visual têm a seu dispor recursos tecnológicos que favorecem o encurtamento da distância, a acessibilidade com mais rapidez e a facilidade da aquisição do conteúdo. Observemos os avanços ocorridos nos últimos anos em relação às tecnologias voltadas a essas pessoas. O Decreto federal nº 5.296/2004, artigo 8º define acessibilidade como:

Condição para utilização, com segurança e autonomia, total ou assistida, dos espaços, mobiliários e equipamentos urbanos, das edificações, dos serviços de transporte e dos dispositivos, sistemas e meios de comunicação e informação, por pessoa portadora de deficiência ou com mobilidade reduzida. (BRASIL, 2004, p.65)

Quando falamos em tecnologia assistiva para pessoas com deficiência visual, é comum lembrarmos apenas dos softwares educacionais e informacionais, porém, há uma variedade de recursos que contribuem significativamente para a autonomia e inclusão dessas pessoas na sociedade. Além dos avanços tecnológicos, equipamentos como a bengala, piso tátil e sinais sonoros desempenham um papel fundamental nesse processo.

Os recursos de tecnologia assistiva estão muito próximos do nosso dia-a-dia. Ora eles nos causam impacto devido à tecnologia que apresentam, ora passam quase despercebidos. Para exemplificar, podemos chamar de tecnologia assistiva uma bengala, utilizada por nossos avós para proporcionar conforto e segurança no momento de caminhar, bem como um aparelho de amplificação utilizado por uma pessoa com surdez moderada ou mesmo veículo adaptado para uma pessoa com deficiência. (MANZINI, 2005, p. 82).

A confecção de mapas, maquetes e outros produtos cartográficos acessíveis a pessoas cegas ou com baixa visão é essencial para auxiliar na educação e mobilidade desses indivíduos. Esses recursos, chamados de cartografia tátil, são fundamentais para promover a independência e facilitar a locomoção, sendo utilizados em diversos contextos, desde o ensino fundamental até situações mais complexas de mobilidade urbana.

Atualmente, a tecnologia assistiva oferece uma ampla gama de recursos, desde soluções simples e de baixo custo até dispositivos mais sofisticados. Na educação inclusiva, é fundamental adaptar os recursos de acordo com as necessidades específicas de cada aluno. Professores podem confeccionar ou disponibilizar recursos como suportes para leitura, cadernos adaptados, lupas manuais e lupas de mesa, entre outros.

O Sistema Braille é de suma importância no processo de escolarização para pessoas com deficiência visual, permitindo o acesso à leitura e escrita por meio de símbolos em alto relevo. Para aqueles com baixa visão, recursos ópticos e eletrônicos, como lupas e telescópios, podem melhorar significativamente o desempenho em suas atividades diárias.

Assim, a evolução constante e a diversificação das ferramentas de tecnologia assistiva refletem os avanços significativos no campo, tornando possível uma maior autonomia e inclusão social das pessoas com deficiência visual. Esta abordagem não apenas demonstra os progressos já alcançados, mas também abre perspectivas promissoras para o futuro. A aplicação eficaz de tais tecnologias, ao ser contextualizada e personalizada para as necessidades diárias e educacionais dos indivíduos, garante uma melhoria contínua na qualidade de vida desse público. Portanto, a análise dos avanços e das estratégias de implementação da tecnologia assistiva é crucial para delinear um futuro onde a inclusão e a independência sejam ainda mais acessíveis e difundidas.

Em um país como o Brasil, onde o acesso à educação inclusiva ainda enfrenta muitos desafios estruturais e pedagógicos, pensar alternativas que permitam a estudantes com deficiência visual vivenciarem, compreenderem e se encantarem com o ensino de Física é, mais do que uma estratégia didática, um compromisso ético. A Física, com sua linguagem simbólica e caráter muitas vezes abstrato, pode se tornar um território hostil quando o processo de ensino ignora os sentidos e experiências de quem não enxerga. No entanto, a realidade pode ser transformada quando a escola abre espaço para o uso de **tecnologia assistiva**.

De acordo com Bersch (2008), a tecnologia assistiva não deve ser vista como um favor ou recurso suplementar, mas como **um direito de acesso ao conhecimento**, garantindo autonomia, participação e aprendizado pleno às pessoas com deficiência. No caso de estudantes com deficiência visual, recursos como materiais táteis, sintetizadores de voz, mapas em relevo, simulações sonoras e dispositivos sensoriais tornam-se mediadores fundamentais no processo de apropriação dos conceitos físicos.

Durante uma aula tradicional sobre leis de Newton, por exemplo, o conteúdo costuma ser transmitido por meio de gráficos, vídeos ou esquemas no quadro. Para alunos cegos, essa abordagem isolada torna-se excludente. Contudo, se aliarmos o conteúdo ao uso de uma luva sensorial – equipada com vibrações para representar forças, sensores para transmitir deslocamento e respostas hápticas para diferentes intensidades – criamos uma ponte real entre teoria e experiência. Essa é uma das potencialidades mais transformadoras da tecnologia assistiva: **tornar o conteúdo físico tangível para todos os corpos**.

Papert (2008), ao discutir o uso da tecnologia no processo de aprendizagem, afirma que **aprender fazendo** é uma das maneiras mais efetivas de construção de conhecimento. A robótica educacional aliada à tecnologia assistiva permite que o estudante cego não apenas compreenda os conceitos, mas participe da criação de soluções, desenvolva hipóteses e vivencie os fenômenos naturais com autonomia. Essa abordagem ativa rompe com a lógica de que a deficiência é sinônimo de limitação no campo da ciência.

Para Mantoan (2006), o processo inclusivo se sustenta não em adaptar o aluno a um modelo escolar inflexível, mas em adaptar o **modelo pedagógico às múltiplas formas de aprender**. A Física, nesse sentido, pode ser uma poderosa aliada, desde que repense seus métodos. Inserir estudantes com deficiência visual nas práticas experimentais exige sensibilidade do professor, criatividade nos recursos e, principalmente, vontade de ouvir o estudante.

As experiências que envolvem som, calor, movimento e resistência ao toque são especialmente potentes. Ao trabalhar conceitos como calor específico, por exemplo, pode-se utilizar objetos com diferentes temperaturas, estimulando o tato como forma de percepção. Em experimentos de acústica, a vibração sonora e a diferença de timbres podem ser analisadas com riqueza por meio da audição refinada. Wallon (2007) reforça que o corpo é central no processo de aprendizagem, e que as emoções, os sentidos e os gestos devem ser valorizados no ambiente escolar.

Além disso, a construção de mapas mentais táteis ou gráficos sonoros pode facilitar a compreensão de variações de velocidade, aceleração ou frequência. Com o apoio de softwares que convertem imagens em som (como o *AudioGraph*), ou de impressoras 3D que geram objetos palpáveis representando curvas e superfícies, a abstração matemática da Física ganha forma sensorial para o estudante com deficiência visual.

Valente (2003) salienta que a tecnologia, quando bem utilizada, **não apenas adapta, mas amplia as possibilidades cognitivas e expressivas dos alunos**. Ao propor o uso de dispositivos interativos, como tablets com recursos de leitura por voz ou aplicativos que descrevem experimentos físicos em tempo real, a sala de aula se torna mais democrática, mais viva e mais próxima da experiência real dos alunos.

A formação docente é um ponto crucial nesse processo. Muitos professores ainda se sentem inseguros ao lidar com estudantes com deficiência visual, especialmente em disciplinas que envolvem fórmulas, medidas e cálculos. Por isso, investir na formação continuada, com foco na acessibilidade e na cultura da inclusão, é urgente. Como lembra Freire (1996), **ensinar é um ato de coragem e generosidade**, e implica reconhecer o outro como legítimo sujeito de direitos, capaz de aprender e ensinar.

Não menos importante é ouvir os próprios estudantes com deficiência. Suas sugestões, percepções e críticas podem indicar caminhos mais justos e eficazes do que qualquer manual. A pesquisa realizada em Santa Luzia (MA), com a utilização de uma luva sensorial em aulas de Física, apontou justamente isso: os estudantes cegos ou com baixa visão que participaram ativamente do desenvolvimento e das oficinas relatam sentir-se, pela primeira vez, **parte de um processo de aprendizagem científica concreto, significativo e respeitoso**.

Dewey (2004) nos ensina que a escola precisa estar conectada à vida real, à experiência concreta, ao mundo sensível. E para os estudantes com deficiência visual, isso só será possível quando sua presença for reconhecida não apenas fisicamente, mas **pedagogicamente**. A tecnologia assistiva, neste contexto, não é apenas um recurso. É um instrumento de justiça.

4 CONCEITOS FÍSICOS RELEVANTES NA INTEGRAÇÃO DA ROBÓTICA EDUCACIONAL COM A TECNOLOGIA ASSISTIVA

O direito de participação igualitária nos espaços educacionais está assegurado pela Constituição Federal Brasileira de 1988. O artigo 206 estabelece que o ensino será ministrado com base no princípio da igualdade de condições para o acesso e permanência na escola. Esse direito é reforçado pela Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (2015) e, no ensino superior, pela Portaria nº 3.284, de 2003, que estabelece requisitos de acessibilidade.

A educação inclusiva visa ao exercício pleno da cidadania, permitindo que todos os alunos participem juntos do processo de ensino-aprendizagem. Para isso, escolas e universidades devem acolher todos os estudantes de forma igualitária, considerando suas especificidades. A valorização da diversidade evita a segregação e a homogeneização. Lacueva (1997) afirma que a diversidade é uma vantagem social, pois permite que os sujeitos aprendam uns com os outros. As modificações nos espaços físicos de instituições educacionais, adaptadas à diversidade dos alunos, são passos importantes rumo à inclusão.

A Tecnologia Assistiva é uma área de conhecimento e pesquisa que promove a independência, qualidade de vida e inclusão social das pessoas com deficiência. Segundo Souza *et al.* (2013), essas tecnologias ampliam as possibilidades de desempenho humano, proporcionando autonomia para realizar desde atividades domésticas simples até tarefas complexas relacionadas ao trabalho e aos estudos. Vergara-Nunes (2016) destaca que a autonomia propiciada pelas tecnologias assistivas permite que pessoas cegas trabalhem, estudem e usufruam de todos os seus direitos como cidadãos.

Integrar conceitos físicos relevantes na utilização da robótica educacional com a tecnologia assistiva é essencial para o ensino inclusivo de física a deficientes visuais. A robótica educacional, combinada com tecnologia assistiva, pode ser utilizada para desenvolver habilidades funcionais e promover a compreensão de conceitos físicos através de experiências práticas e interativas. Por exemplo, robôs equipados com sensores táteis e sonoros podem ajudar estudantes cegos a compreenderem princípios como movimento, força e energia. Esses dispositivos oferecem uma forma tangível de explorar a física, tornando o aprendizado mais acessível e significativo.

Assim, esta seção aborda como a combinação de física, robótica e tecnologia assistiva pode promover o ensino inclusivo de física para pessoas com deficiência, em conformidade com a legislação brasileira de inclusão. As subseções destacam a mecânica aplicada à mobilidade; a ótica e detecção sensorial, que emprega sensores táteis e sonoros para ensinar conceitos de luz e visão; e a física do som na orientação espacial, que utiliza ondas sonoras para facilitar a percepção espacial. Ao aplicar essa modelagem ao *design* de dispositivos de

navegação para pessoas com deficiência visual, pode-se prever o comportamento do sistema em diferentes ambientes, garantindo segurança e precisão no movimento.

4.1 Mecânica aplicada a mobilidade

A mobilidade, quando analisada no contexto da física, está intimamente relacionada aos princípios da mecânica clássica, particularmente à Lei da Gravitação Universal proposta por Isaac Newton. Um dos pilares dessa compreensão está na Lei da Gravitação Universal de Newton, que descreve como os corpos interagem por meio de uma força de atração proporcional às massas e inversamente proporcional à distância entre eles. Essa relação pode ser expressa matematicamente pela equação

$$\vec{F} = \frac{Gm_1m_2}{r^2}\hat{r} \quad (1)$$

em que F é a força de tração, G é a constante gravitacional, m_1 e m_2 são as massas dos corpos e r é a distância entre eles. Nesta lei, os fluxos de movimento seguem uma lógica de atração proporcional às massas e inversamente proporcional às distâncias entre os corpos. Essa noção é fundamental para entender os fenômenos de deslocamento físico, tanto em escalas microscópicas quanto macroscópicas. Contudo, é importante destacar que a mobilidade não se restringe apenas ao ato de deslocamento físico, mas também envolve as causas e consequências desse movimento, como as forças atuantes e as condições que influenciam os indivíduos e a sociedade.

Do ponto de vista da mecânica clássica, o conceito de movimento está relacionado à inércia e às forças que o influenciam. Galileu Galilei, ao propor o princípio da inércia, mostrou que um corpo em movimento tende a permanecer em movimento até que uma força externa aja sobre ele, o que foi posteriormente consolidado por Newton em suas Leis do Movimento. Newton definiu que as forças são responsáveis por alterar o estado de movimento de um corpo, seja iniciando, acelerando ou desacelerando, e isso é essencial para compreender a mobilidade em situações do cotidiano, como o movimento de um carro ou a trajetória de uma bola de futebol (HALLIDAY *et al.*, 2008).

No entanto, deve-se considerar que a resistência ao movimento, como o atrito e a resistência do ar, também desempenha um papel crucial. Essas forças de resistência atuam para reduzir o movimento dos corpos, como observado no exemplo de empurrar um armário, onde o atrito com o chão faz com que o armário pare assim que a força aplicada cessa (TIPLER e MOSCA, 2007). A segunda lei,

$$\vec{F} = m\vec{a}, \quad (2)$$

relaciona diretamente a força aplicada a um objeto F , sua massa m e a aceleração resultante a . Isso é fundamental para entender como forças, como a resistência do ar e o atrito, influenciam o movimento, desacelerando corpos e modificando trajetórias. No caso de um corpo em repouso ou movimento retilíneo uniforme, a primeira lei de Newton, ou princípio da inércia, assegura que ele permanecerá em seu estado até que uma força externa atue sobre ele (TIPLER e MOSCA, 2007)

Portanto, o conceito de mobilidade em física vai além do deslocamento simples, integrando os comportamentos físicos associados às forças e às condições que influenciam o movimento. Esse entendimento profundo das interações mecânicas é crucial não apenas para descrever o movimento em si, mas também para compreender como ele afeta a sociedade e os indivíduos que o experimentam no dia a dia.

4.2 Óptica e detecção sensorial

A área de Óptica é um campo fascinante de estudos dentro da Física. De maneira simplificada, ela abrange a análise da propagação da luz e sua interação com a matéria. A compreensão de determinados conceitos pode ser difícil em muitas áreas da ciência e tecnologia devido à dificuldade de visualização dos efeitos envolvidos. No entanto, na óptica, o uso de dispositivos como o laser possibilita a observação direta de fenômenos físicos, como a interferência e a difração, nos quais a natureza ondulatória da luz se manifesta claramente. Essas características, como a coerência, monocromaticidade e colimação da luz emitida pelo laser, facilitam a análise visual desses fenômenos (HECHT, 2002).

O desenvolvimento de instrumentos ópticos, como o telescópio e o microscópio, foi fundamental para a compreensão dos fenômenos luminosos. Em 1608, Hans Lippershey patenteou o telescópio refrativo, enquanto Galileo Galilei realizou importantes descobertas astronômicas com esse instrumento. Johannes Kepler aprimorou seu design ao introduzir uma ocular convexa, facilitando as observações astronômicas. Paralelamente, o microscópio surgiu nesse mesmo período, sendo Zacharias Janssen frequentemente apontado como seu inventor, em 1609 (HEWITT, 2002). Esses avanços impulsionaram importantes desenvolvimentos teóricos, como a formulação matemática para o cálculo da propagação dos raios luminosos apresentada por Kepler em *Dioptrice* (1611), na qual estabeleceu a lei da refração para pequenos ângulos.

Outro marco significativo foi a formulação da lei da refração por Willebrord Snell, em 1621, que possibilitou cálculos ópticos mais precisos, superando a aproximação paraxial proposta por Kepler. Posteriormente, René Descartes deduziu matematicamente essa lei ao

considerar a luz como uma perturbação propagando-se em um meio elástico, uma das primeiras interpretações de caráter ondulatório para a luz (HALLIDAY et al., 2023).

Ao longo do século XVII, a óptica continuou a evoluir com os estudos de difração realizados por Grimaldi e os fenômenos de interferência investigados por Hooke. Entretanto, a teoria corpuscular da luz, defendida por Newton, tornou-se predominante ao explicar a propagação retilínea dos raios luminosos. Somente no século XIX, os experimentos de Young e Fresnel forneceram evidências conclusivas da natureza ondulatória da luz por meio da observação de fenômenos de interferência e difração (HALLIDAY et al., 2023).

A consolidação da teoria ondulatória representou um passo decisivo para o desenvolvimento da óptica moderna, permitindo a construção de modelos matemáticos capazes de descrever com maior precisão a interação da luz com a matéria. Atualmente, a modelagem matemática constitui uma ferramenta fundamental tanto na óptica aplicada quanto em sistemas de detecção sensorial. Nessa perspectiva, a luz é tratada como uma onda eletromagnética, possibilitando o emprego de equações que descrevem fenômenos como reflexão, refração, difração e interferência. Tais descrições são essenciais para o projeto e o desenvolvimento de tecnologias contemporâneas, incluindo sensores ópticos, sistemas de visão artificial e diversos dispositivos utilizados em processos de monitoramento e automação.

Um dos pilares da óptica aplicada é a Lei de Snell (ou Lei da Refração), que define como a luz se comporta ao passar de um meio para outro. A equação básica da refração é dada por:

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2) \quad (3)$$

em que n_1 e n_2 são os índices de refração dos dois meios, e θ_1 e θ_2 são os ângulos de incidência e refração, respectivamente. Essa relação matemática é aplicada em sistemas de lentes, dispositivos de detecção de luz e em tecnologias de imageamento.

Além da refração, o fenômeno da difração, modelado pela equação de Fresnel ou pela aproximação de Fraunhofer, é essencial na análise de sensores ópticos. A difração de luz por uma fenda simples pode ser descrita pela seguinte equação para o mínimo de difração:

$$a \sin(\theta) = m\lambda. \quad (4)$$

Nesta equação a é a largura da fenda, θ é o ângulo de difração, m é a ordem do mínimo, e λ é o comprimento de onda da luz. Esse fenômeno é amplamente utilizado em sensores baseados em redes de difração e em espectrômetros, que medem comprimentos de onda de luz em sistemas de detecção sensorial.

Na área da detecção sensorial, a modelagem matemática também desempenha um papel vital na otimização e calibração de sensores ópticos, como os que utilizam a tecnologia de fotodetectores. A corrente gerada em um fotodiodo, por exemplo, pode ser descrita pela relação

$$I = RP_{opt}, \quad (5)$$

em que I é a corrente gerada, R é a responsividade do detector (em amperes por watt), e P_{opt} é a potência óptica incidente. Essa equação permite ajustar os parâmetros do sensor de acordo com a quantidade de luz captada, sendo essencial para aplicações em dispositivos de monitoramento ambiental, controle industrial e saúde.

Essas ferramentas matemáticas são amplamente aplicadas em projetos de sistemas ópticos para fins de detecção sensorial, permitindo a criação de instrumentos precisos e eficientes. A compreensão teórica dessas equações facilita a aplicação prática em tecnologias modernas, como sensores ópticos para internet das coisas (IoT), câmeras digitais, sistemas de segurança e controle de qualidade industrial.

4.3 Física do som na orientação espacial

Uma área da Física ainda pouco explorada em uma perspectiva interdisciplinar é a acústica, ramo que trata do estudo das ondas sonoras (SILVA, 2018). A relação entre os conceitos de acústica e ensino foram estudadas por Monteiro Júnior e Carvalho (2011) com os conceitos de acústica e música nos livros didáticos, Coelho e Machado (2015) com o ensino de acústica aliado a música e o uso de tubos sonoros, bem como Lima e Monteiro (2018) relacionando a acústica com a poluição sonora. A produção de ondas sonoras, portanto, a acústica, pode ser facilmente aplicada no ensino numa perspectiva musical.

No entanto, Monteiro Júnior e Carvalho (2001) em pesquisa em livros didáticos de Física verificaram que os sons são relacionados apenas com a poluição sonora, sem qualquer menção a temas como “música industrial”, “música eletrônica”, “sintetizadores” e as “novas tecnologias da música digital” são sequer citados.

Todo o sistema de ação, segundo Reed (1982), repousa na orientação. Dois aspectos básicos da orientação podem ser generalizados. O primeiro aspecto refere-se às noções conceituais abstraídas da relação entre o ser e o ambiente. A exploração e a ampliação do repertório comportamental são evidências de conceitos sobre o espaço, o qual evolui da função de orientação. Assim, o fato de uma pessoa ser capaz de desenhar a localização de sua casa em uma área geográfica específica indica a existência de um processo consciente e intencional que representa a estrutura geográfica do meio ambiente no cérebro (i.e., sistema de alta ordem). Entretanto, estudos neuropsicológicos (Rossetti *et al.*, 1998) oferecem um forte argumento contra a representação motora específica do espaço, a qual pode ser omitida em pacientes com

lesões em áreas sensoriais do córtex primário. Muito embora o comportamento motor destes pacientes possa ser atraído para uma meta sob condições específicas quando a resposta é imediata e quando nenhuma elaboração cognitiva é requerida no objetivo da tarefa, eles são incapazes de perceber conscientemente estímulos visuais, táteis e proprioceptivos.

Estas deficiências perceptuais afetam o desempenho em tarefas que requerem estratégias para otimizar a função de orientação. Assim, o cérebro e suas funções superiores não justificam sozinhos as funções de orientação, mas permitem ao ser humano criar e ampliar o entendimento dimensional de seu ambiente seja ele real ou virtual.

O segundo aspecto básico da orientação diz respeito às respostas posturais imediatas durante a ação (e também em repouso) (i.e., sistema de baixa ordem). Elas são, na maioria das vezes, respostas inconscientes controladas por centros corticais e sub-corticais (Ex.: cerebelo, formação reticular, receptores da medula, córtex motor e pós-central), e suas conexões ascendentes e descendentes. As conexões entre os sistemas sensoriais e o sistema nervoso são tradicionalmente divididas em modalidades sensoriais.

Na orientação, as modalidades sensoriais diversificam suas funções embora sejam interdependentes entre os sistemas vestibular, visual, auditivo e háptico. A classificação funcional e as definições variam de autor para autor. O sistema vestibular, através de gravitorreceptores (i.e., otolitos), é responsável por detectar acelerações rotacionais quando o organismo está estático (Stoffregen & Riccio, 1988). O sistema háptico está relacionado com a percepção de textura, movimento e forças (Ex.: inerciais, gravitacionais, de aceleração) através da coordenação de esforços dos receptores do tato, visão, audição e propriocepção.

A função háptica depende da exploração ativa do ambiente, seja este estável ou em movimento. O sistema cinestésico e o sistema cutâneo são subsistemas hápticos. O primeiro dá ao observador a consciência da postura estática e dinâmica do corpo através de informação vinda de receptores dos músculos, pele e articulações; o segundo dá ao observador noções de mudanças na estimulação fora do corpo, capturadas na superfície da pele (Srinivasan & Basdogan, 1997). Riley e Turvey (2001) fazem uma distinção entre o sistema proprioceptivo háptico e o visual háptico. O primeiro dá fluência às ações coordenadas através das sinergias músculoarticulares. O sistema visual háptico não substitui o sistema proprioceptivo háptico, pois atua num nível de alta ordem que guia os movimentos a alvos visualizados. Schwartz (1999) acrescenta o papel da informação auditiva háptica quando a tarefa restringe o uso da visão. Outro conceito similar ao sistema cinestésico é o sistema somatosensório. Winter (1995) inclui o sistema somatosensório como responsável pela detecção da velocidade e da posição do corpo e suas partes, os quais estão sob influência da ação da gravidade ou do contato com objetos externos. Finalmente, temos o sistema visual que, além das funções subjacentes ao

sistema háptico, detecta profundidade por causa da disparidade binocular, movimento de paralaxe, gradiente de textura e sombras (Atkins, Fiser & Jacobs, 2001). Vários fatores interferem no sistema de orientação que é expresso nas ações ordinárias do cotidiano dos indivíduos. Um deles é a evolução ou desenvolvimento do organismo (i.e., fator ontogenético). Com a mudança do estado do organismo ocorre concomitantemente a evolução do sistema de orientação. Essencialmente primitiva, a orientação, de acordo com Goldfield (1995), ocorre já no ambiente uterino.

A informação da posição do feto e suas futuras mudanças são provenientes de várias fontes como, sons dos órgãos internos e da voz da mãe, pressão do líquido amniótico, vibrações ósseas, aceleração da gravidade e vetores direcionais. Estas fontes de informação guiam o bebê na sua posição final intra-uterina para facilitar o nascimento. A posição invertida só é alcançada pela movimentação alternada das pernas (chutes) que aumentam e diminuem de acordo com a aproximação para a nova posição.

A locomoção guiada é outro exemplo para demonstrar como o ser humano escala suas ações na dependência da estrutura do ambiente em sintonia com as mudanças corporais e com as mudanças imediatamente decorrentes da aprendizagem. Wilson, Foreman, Gillett e Stanton (1997) afirmam que crianças de 6 anos têm maior facilidade de construir representações de observações passivas do espaço do que crianças mais jovens. Ainda, crianças entre 5 e 8 anos são igualmente aptas em tarefas de localização espacial através de exploração ativa, porém quando solicitadas a realizarem a tarefa de forma passiva, as crianças de 8 anos têm o melhor desempenho.

Outro fator é a presença de condições de inadaptação que levam a comportamentos nem sempre estáveis ou coerentes com as demandas das tarefas. No caso da orientação, estudos têm mostrado que o desenvolvimento, bem como a presença de uma deficiência física ou mental, tem uma relação importante com a acurácia em julgamentos em tarefas de orientação (Mauerberg-deCastro & Moraes, 2002; Mauerberg-deCastro & cols., 2001). Por exemplo, para Foreman, Orenca, Nicholas, Morton e Gell (1989), crianças com deficiências físicas exibem maiores dificuldades no conhecimento da estrutura espacial (através de desenhar mapas, encontrar objetos perdidos, e apontar na direção de uma área da escola) do que crianças sem deficiência física.

Mauerberg-deCastro e colaboradores (2001) demonstraram que indivíduos com deficiência mental são menos acurados em tarefas de orientação do que indivíduos normais, particularmente para manutenção da rota em tarefas de orientação em campo aberto. Ainda, eles evidenciaram que o desempenho de indivíduos com deficiência mental é afetado diretamente pela complexidade da tarefa, ou seja, incremento das rotas.

Outra condição de deficiência que tem relação direta com o comprometimento na função de orientação é a deficiência visual. A deficiência visual congênita ou adquirida encerra as possibilidades de controle visual sobre o espaço durante ações vinculadas à mobilidade. Particularmente, a falta da visão tem um impacto grave na navegação em ambientes complexos e com rotas irregulares. Para Schwartz (1999), o conhecimento sobre a estrutura espacial do ambiente à volta é, sem dúvida, mais facilmente obtido pela percepção visual, muito embora indivíduos com deficiência visual tenham considerável conhecimento sobre a estrutura espacial. De fato, na rotina da vida diária, o indivíduo com deficiência visual desenvolve estratégias compensatórias no sistema de orientação que permitem uma navegação funcional.

Na física do som, a modelagem matemática ajuda a descrever e prever como as ondas sonoras se propagam em diferentes ambientes e como elas interagem com o espaço ao redor.

Uma das principais ferramentas na modelagem matemática do som é a equação de onda acústica, que descreve como as variações de pressão se propagam no meio. Esta equação é fundamental para analisar como as ondas sonoras se espalham e se refletem em diferentes superfícies, o que é essencial para a modelagem acústica em ambientes fechados e abertos.

A localização de fontes sonoras, ou orientação espacial, utiliza o conceito de diferença de chegada e diferença de nível de pressão sonora. Para determinar a posição de uma fonte sonora, sensores acústicos podem medir o tempo que o som leva para chegar a diferentes microfones, aplicando a fórmula:

$$\Delta t = \frac{d}{v}, \quad (6)$$

em que Δt é a diferença de tempo, d é a distância entre os sensores, e v é a velocidade do som. Essas medições permitem calcular a posição da fonte sonora em um espaço tridimensional, fundamental para aplicações como sistemas de navegação por áudio e tecnologia de conferência.

Além disso, a direcionalidade do som é descrita através de padrões de radiação acústica e diagramas de polarização. A Eq. (7) modela a distribuição tridimensional da pressão sonora direcional como:

$$P(\theta, \phi) = P_0 \frac{1}{r} f(\theta, \phi), \quad (7)$$

em que $P(\theta, \phi)$ é a pressão medida em coordenadas esféricas, P_0 é a constante de referência e r é a distância radial da fonte. Os componentes angulares são definidos no espaço tridimensional por θ , que representa o ângulo polar ou de elevação (variando verticalmente de 0° a 180° a partir do topo do eixo), e por ϕ , que corresponde ao ângulo azimutal (variando horizontalmente de 0° a (360°) ao redor da fonte. A função $f(\theta, \phi)$ descreve o padrão de

radiação específico do transdutor nesses dois eixos. Este modelo descreve a atenuação por divergência esférica e a variação da intensidade com a direção, sendo essencial para projetar microfones direcionais e controlar zonas de cobertura em engenharia acústica.

Na orientação espacial, técnicas como o processamento de áudio multicanal e a análise de localização utilizam modelos matemáticos para criar sistemas de áudio imersivo e algoritmos de correção espacial. A modelagem acústica pode integrar conceitos de reflexão e absorção sonora, descritos pelas leis de Snell e absorção acústica, para otimizar a qualidade sonora em ambientes complexos, como salas de concertos ou estúdios de gravação.

4.4 Interações eletrostáticas e mobilidade assistida

As interações entre cargas elétricas em um campo elétrico uniforme fornecem uma rica base conceitual para o desenvolvimento de tecnologias assistivas, particularmente no que tange à mobilidade de pessoas com deficiência visual. A compreensão e a aplicação desses princípios físicos são fundamentais para a criação de dispositivos que integram a robótica educacional com sistemas de navegação e mobilidade assistida. Neste contexto, conceitos como força elétrica, energia potencial elétrica e movimento em campo elétrico são de particular importância (HALLIDAY *et al.*, 2016).

A força entre duas cargas pontuais q_1 e q_2 separadas por uma distância r , é expressa pela Lei de Coulomb

$$\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r}, \quad (8)$$

em que k é a constante eletrostática. Essa equação é especialmente útil no *design* de sensores táteis ou sistemas de *feedback* háptico para tecnologia assistiva. Tais sensores podem utilizar princípios de atração e repulsão eletrostática para fornecer *feedback* físico ao usuário, permitindo que ele tenha uma percepção espacial aumentada, crucial para a mobilidade de pessoas com deficiência visual.

Um campo elétrico uniforme é um campo onde a intensidade do campo ($\vec{E}$) é constante em todas as direções. No âmbito das tecnologias assistivas, isso pode ser modelado para simular o movimento de um dispositivo robótico em um ambiente onde a "força" sensorial ou de orientação é constante e uniforme, permitindo um controle preciso do movimento.

Matematicamente, a força ($\vec{F}$) exercida sobre uma carga elétrica ($\vec{q}$) em um campo elétrico uniforme é dada pela equação

$$\vec{F} = q\vec{E}, \quad (9)$$

em que F é a força elétrica, q é a carga e E é o campo elétrico. Aplicando isso ao contexto da mobilidade assistida, o sistema pode ser modelado para mover-se com base em estímulos recebidos de sensores, como se uma carga estivesse sendo guiada por um campo uniforme. Para dispositivos de navegação, a intensidade dos sinais sensoriais pode ser equivalente à força exercida sobre a carga.

Já quando analisamos o movimento de uma carga elétrica em um campo elétrico uniforme pode ser descrito pelas leis do movimento uniformemente acelerado, já que a força sobre a carga é constante. A aceleração (a) de uma carga q de massa m em um campo elétrico E é conhecida a partir da expressão

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} = \frac{q\vec{E}}{m}. \quad (10)$$

Isso nos permite modelar a aceleração de um robô assistivo que se move em resposta a estímulos sensoriais. Se um sistema assistivo utiliza sensores para detectar obstáculos e ajustar sua trajetória, o conceito de movimento em um campo elétrico pode ser análogo ao controle e ajuste de velocidade de um dispositivo em um ambiente com obstáculos constantes, similar ao que uma carga faria em um campo uniforme.

Outro conceito relevante é a energia potencial elétrica (U) de uma carga em um campo elétrico uniforme. A energia potencial de uma carga q a uma distância d de uma posição de referência em um campo E é dada por

$$U = q(\vec{E} \cdot \vec{d}). \quad (11)$$

No contexto de mobilidade assistida, essa ideia pode ser utilizada para modelar o "custo" energético do movimento em diferentes direções ou trajetórias. Assim como a carga se move de regiões de maior para menor energia potencial, os dispositivos assistivos podem ser programados para seguir trajetórias energeticamente eficientes, economizando energia e prolongando a duração de baterias, por exemplo.

5 DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA ASSISTIVA

5.1 Descrição do kit experimental

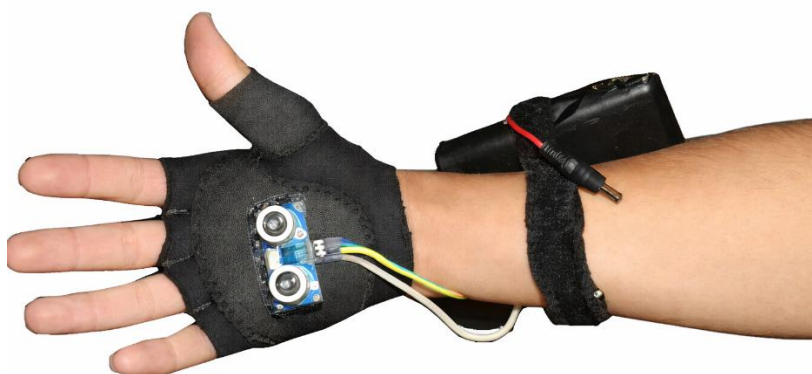
O projeto de pesquisa foi desenvolvido em dois momentos cruciais para a obtenção dos resultados esperados. O primeiro momento envolveu a formação dos alunos, com foco em Eletrônica e Robótica, fornecendo-lhes os conhecimentos necessários para trabalhar com sensores e microcontroladores. Esta etapa foi fundamental para preparar os participantes para a construção do sistema.

O segundo momento consistiu na criação do projeto em si, baseado em um sistema sensorial projetado para minimizar as dificuldades enfrentadas por pessoas com deficiência visual. O sistema visa proporcionar uma ferramenta assistiva que auxilie na mobilidade e percepção espacial, utilizando tecnologias acessíveis e de fácil implementação.

Após a formação, realizamos um estudo detalhado sobre diferentes tipos de sensores, buscando a melhor solução de sensoriamento para o projeto. Esse estudo está detalhado no Apêndice A, que trata exclusivamente das características e funcionalidades dos sensores utilizados. Com isso, partimos para a construção do kit experimental, que se baseia em dois mecanismos principais integrados.

O primeiro componente é uma luva sensorial (Figura 1), confeccionada a partir de uma luva de academia de ginástica, facilmente encontrada em lojas de artigos esportivos. Este modelo foi escolhido devido à sua alta resistência e formato ergonômico, que se ajusta confortavelmente aos dedos do usuário, proporcionando durabilidade e conforto.

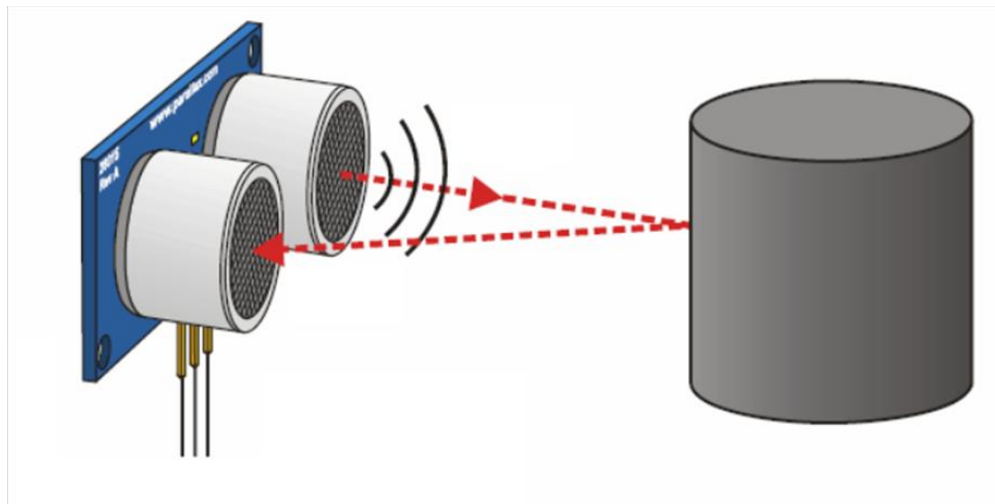
Figura 1: Luva sensorial



Fonte: Autoria própria.

A luva é equipada com um sensor ultrassônico que calcula distâncias por meio de um processo chamado eco localização. O sensor emite pulsos sonoros inaudíveis, que são refletidos nos obstáculos à frente. Ao captar o eco desses pulsos, o sensor, com o auxílio de um algoritmo, determina a distância entre o usuário e o objeto detectado (Figura 2).

Figura 2: Esquema de funcionamento do sensor ultrassônico por ecolocalização



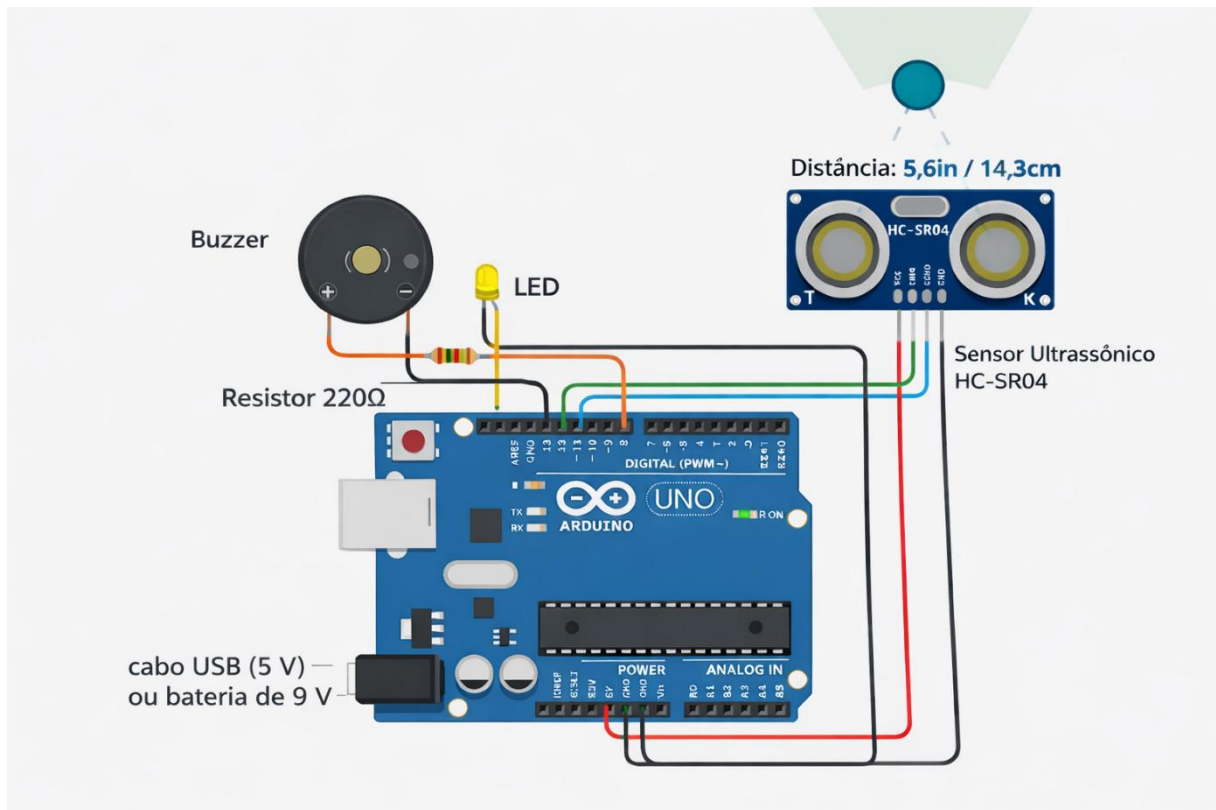
Fonte: www.google.com.br

O segundo componente é composto por um microcontrolador Arduino e uma bateria, ambos embutidos em um pequeno estojo plástico preso ao braço do usuário por meio de uma faixa de velcro. O Arduino processa as informações recebidas do sensor ultrassônico e aciona o *feedback* necessário, seja vibratório ou sonoro, alertando o usuário sobre a presença de obstáculos no caminho.

Este dispositivo foi programado por um algoritmo computacional na linguagem Arduino da seguinte maneira:

- Se o obstáculo estiver a menos de 20 cm, um bip é emitido uma vez por segundo 20 vezes.
- Se o obstáculo estiver a distância menor ou igual a 5 cm, emite um bip de forma contínua. A montagem do circuito com o sensor ultrassônico corresponde a um buzzer e a placa Arduino é como mostra a Figura 3.

Figura 3: Esquema de ligação do sensor ultrassônico HC-SR04 ao Arduino Uno com buzzer e LED

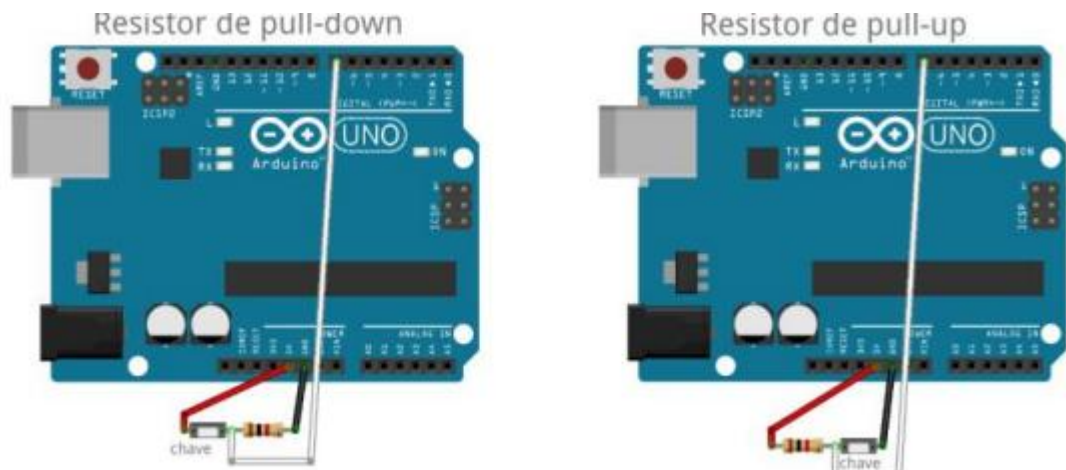


Fonte: Autoria própria.

A integração do sensor com o microcontrolador Arduino é fundamental para o funcionamento do sistema. A versão do Arduino utilizada no projeto foi o **Arduino UNO**, uma das mais populares por sua simplicidade e flexibilidade. O Arduino UNO possui 14 pinos digitais (numerados de 0 a 13) que podem ser programados para atuar como entradas ou saídas, controlando sensores, atuadores e outros dispositivos. Além disso, conta com 6 entradas analógicas (A0 a A5), utilizadas para capturar sinais analógicos de sensores e convertê-los em dados digitais processáveis. Essa capacidade de controle dos pinos é o que permite a integração do sensor ultrassônico e o gerenciamento da interação com o ambiente.

Os pinos digitais podem ser configurados como **entrada ou saída digital**, operando em níveis lógicos alto ou baixo, equivalentes a 5 e 0 volts, respectivamente. Quando configurados como entradas, esses pinos registram informações externas, como sinais de sensores ou pressionamento de botões. Para garantir medidas precisas, sem interferências de ruídos, um pino digital configurado como entrada pode ser montado com um **resistor de pull-down**, que define o estado lógico inicial como baixo (0 V), ou com um **resistor de pull-up**, que o define como alto (5 V). Por exemplo, no caso do pull-down, se uma chave conectada ao pino for pressionada, o estado lógico mudará para alto. No caso do pull-up, o estado mudará para baixo ao pressionar a chave (Figura 4).

Figura 4: Imagem de um Arduino uno em uma montagem de resistor de *pull-down* e resistor de *pull-up*. ambos com chave tátil



Fonte: Autoria própria.

Na programação do Arduino, as configurações dos pinos são feitas usando os comandos **HIGH** e **LOW**, que correspondem aos níveis lógicos de 5V e 0V. Se um pino estiver configurado como saída, é possível realizar operações simples, como acender e apagar um LED. Já os **pinos analógicos** (A0 a A5) operam em uma faixa de 0 a 1023, devido à resolução de 10 bits do conversor analógico-digital do Arduino UNO, que corresponde a tensões entre 0 e 5V. Essa faixa é dividida em 1024 valores discretos, o que permite que sensores conectados a esses pinos forneçam leituras precisas em aplicações como automação, controle de luminosidade ou detecção de distância com o sensor ultrassônico.

Além disso, alguns pinos digitais podem ser usados como **saídas analógicas simuladas** por meio da técnica de **Modulação por Largura de Pulso (PWM)**, que gera uma onda quadrada variando a largura de seus pulsos. O valor médio da tensão pode ser controlado para valores entre 0 e 5V, simulando uma saída analógica com valores entre 0 e 255. Isso permite controlar a velocidade de motores, o brilho de LEDs ou a posição de servos. Pinos que suportam PWM são identificados com o caractere "~".

Para a programação do Arduino, utilizamos o software **Arduino IDE**, versão 1.8.4, que facilita a criação, compilação e carregamento de códigos (denominados sketches) na memória flash da placa. O software é compatível com os sistemas operacionais **Windows, Mac e Linux**, e está disponível para download no site oficial: Arduino Software. O **Arduino Web Editor**, uma versão online da IDE, também pode ser usada para programar diretamente no navegador. Após a instalação, é necessário configurar o tipo de placa e a porta COM correta, geralmente a **COM3**, para garantir que o Arduino se comunique adequadamente com o computador.

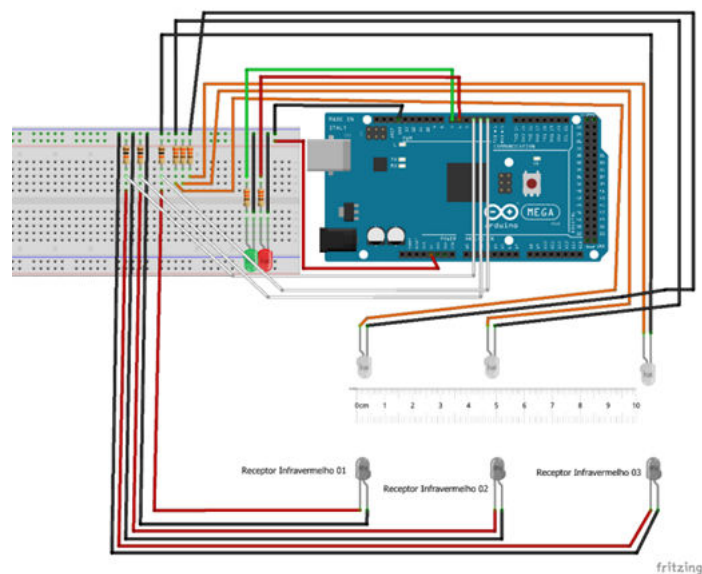
Na programação do Arduino, as funções **setup()** e **loop()** são fundamentais. A função **setup()** é executada uma única vez, no início do programa, para definir as configurações

iniciais, como a configuração dos pinos digitais. Em seguida, a função `loop()` executa repetidamente o código programado, permitindo a leitura contínua de sensores e o controle de dispositivos. A estrutura de controle **if** e **if...else** será amplamente utilizada para determinar o comportamento dos sensores com base nas entradas digitais e analógicas.

Os valores lidos pelos sensores, como o ultrassônico, podem ser armazenados em variáveis declaradas pelo programador. Por exemplo, uma leitura de distância capturada pelo sensor ultrassônico, conectado ao pino analógico A0, pode ser armazenada em uma variável declarada como **int valorSensor = analogRead(A0);**. Nesse caso, o valor lido, que varia de 0 a 1023, será atribuído à variável **valorSensor**. O tipo **int** armazena valores inteiros entre -32.768 e 32.767, e, para valores maiores, é necessário utilizar o tipo **long**. No site oficial do Arduino, há uma lista de tipos de variáveis disponíveis e exemplos de uso.

Os componentes do sistema, como o sensor ultrassônico e os LEDs, devem ser montados em uma **protoboard** e conectados à placa **Arduino** utilizando fios jumper. É fundamental garantir a correta polaridade dos LEDs e dos sensores durante a montagem. Os **pinos digitais 2, 3 e 4** do Arduino devem ser conectados aos sensores, pois são responsáveis por monitorar os estados lógicos desses dispositivos. Na Figura 5, podemos ver a conexão entre os dispositivos, onde os **LEDs emissores** e os **receptores infravermelhos** estão posicionados ao longo do trilho que será utilizado. O **receptor infravermelho 02** e seu respectivo LED emissor devem ser posicionados a meia distância dos outros componentes para garantir a precisão na detecção.

Figura 5: Diagrama de conexões elétricas entre o Arduino, sensores e LEDs



Fonte: Autoria própria.

5.2 Luva sensorizada: princípios de funcionamento e design

A luva sensorizada, desenvolvida como parte deste projeto, funciona em sincronia com um colete sensorial, que juntos formam um sistema de auxílio à mobilidade para pessoas com deficiência visual. O colete, confeccionado com alças de mochilas e equipado com uma segunda placa Arduino e um sensor ultrassônico (Figura 1), amplia a percepção espacial do usuário. Posicionado estrategicamente na região peitoral, o sensor ultrassônico permite que o usuário identifique obstáculos a uma distância de até 4 metros. Essa identificação é feita através de um dispositivo de vibração acoplado ao colete, cuja intensidade e frequência de vibração informam a proximidade do objeto.

O sistema funciona da seguinte maneira:

- Se um obstáculo for detectado a 2 metros de distância, o dispositivo vibra duas vezes.
- Se o obstáculo estiver entre 50 cm e 1 metro, o dispositivo vibra uma vez por segundo de forma intermitente.
- Se o obstáculo estiver a menos de 50 cm, a vibração é contínua, alertando o usuário para a proximidade imediata do objeto.

O algoritmo que controla o sistema foi programado utilizando a interface da placa Arduino, com base na linguagem **Wiring**, uma versão modificada de **C++** com o ambiente **Processing**. Esse sistema permite que a luva e o colete trabalhem de forma integrada, utilizando uma plataforma de fácil manuseio e programação, proporcionando uma solução acessível e eficiente para auxiliar na mobilidade.

De acordo com Cavalcante *et al.* (2011), o **Arduino** é uma plataforma projetada para promover a interação entre o ambiente físico e o computador, utilizando dispositivos eletrônicos de forma simplificada. Ele é composto por uma placa de circuitos com entradas e saídas conectadas a um **microcontrolador AVR**, um ambiente de desenvolvimento de código, e um **bootloader** já instalado no microcontrolador. Sua principal vantagem é a combinação de flexibilidade, custo acessível e facilidade de programação, o que o torna uma excelente escolha para projetos de tecnologia assistiva.

A luva sensorizada opera de maneira similar ao colete, mas com um foco em distâncias mais curtas e respostas rápidas para obstáculos próximos. O **Arduino UNO** controla a interação entre o sensor ultrassônico da luva e o ambiente, utilizando algoritmos específicos para gerenciar os sinais enviados ao usuário, seja por vibração ou outras formas de alerta sensorial. O **algoritmo da luva** (Erro! Fonte de referência não encontrada.) é responsável por definir

as reações do sistema a diferentes distâncias de obstáculos, garantindo que o usuário receba informações precisas e em tempo real sobre o ambiente à sua volta.

O design ergonômico da luva, combinado com a capacidade de detecção ultrassônica e o sistema de vibração, torna o dispositivo um recurso indispensável para facilitar a navegação e garantir a segurança de pessoas com deficiência visual em seu cotidiano. O colete, por sua vez, complementa o sistema, oferecendo maior cobertura para detectar obstáculos maiores, como paredes, portas e pessoas em movimento. Ambos os dispositivos funcionam harmoniosamente, proporcionando uma experiência sensorial completa e eficaz.

6 METODOLOGIA E APLICAÇÃO

6.1 Descrição da pesquisa

A presente pesquisa é estruturada como um estudo exploratório, com foco no desenvolvimento de um protótipo que integra a Tecnologia Assistiva ao ensino de física para alunos com deficiência visual, dentro da perspectiva pedagógica de John Dewey. O desenvolvimento do protótipo ocorre em duas etapas principais: a aplicação de uma sequência didática e a integração da robótica educacional com tecnologia assistiva.

Na primeira etapa, é implementada uma sequência didática focada no conceito de campo elétrico, adaptada ao contexto de alunos com deficiência visual. A sequência segue os princípios da aprendizagem significativa, onde o novo conhecimento se conecta de maneira não-arbitrária e substantiva aos saberes prévios dos alunos. A ênfase está na compreensão conceitual do campo elétrico, sem a necessidade de cálculos matemáticos avançados, permitindo que os alunos compreendam o fenômeno de forma prática e aplicada.

Durante as aulas, os alunos participam de atividades que envolvem o comportamento das cargas elétricas em diferentes cenários de campo elétrico, utilizando representações táteis e sonoras para facilitar a visualização mental e a compreensão das propriedades do campo. São realizadas atividades práticas, como o desenho das linhas de campo elétrico e o cálculo da intensidade do campo em pontos específicos, sempre buscando conectar essas experiências com situações cotidianas e tecnologias assistivas, como sensores e dispositivos de navegação usados por pessoas com deficiência visual.

A segunda etapa da metodologia envolve a integração da robótica educacional com tecnologia assistiva. Um protótipo robótico, equipado com sensores de proximidade e feedback sonoro, é desenvolvido para auxiliar alunos com deficiência visual a navegar e compreender os conceitos de campo elétrico e forças. O protótipo é utilizado para representar, de maneira interativa e tangível, as interações entre cargas elétricas e a mobilidade em um campo elétrico uniforme.

Essa metodologia permite não apenas o desenvolvimento de competências técnicas, mas também a aplicação dos conceitos físicos a situações reais e práticas, com ênfase na autonomia e na inclusão. A avaliação do progresso dos alunos ocorre de forma contínua, levando em consideração a participação ativa nas atividades, a resolução dos problemas propostos e a elaboração de relatórios finais, sempre com o intuito de identificar dificuldades e realizar intervenções pedagógicas adequadas.

6.2 Contexto da pesquisa

A presente pesquisa foi desenvolvida no Instituto Estadual de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IEMA), que é uma autarquia vinculada à Secretaria de Estado da Educação, criada em 2015 com a missão de articular o ensino médio, a formação técnica, a pesquisa e a extensão em uma perspectiva de inovação tecnológica.

A Unidade Plena de Santa Inês, inaugurada em 2022, constitui-se em um espaço estratégico para o desenvolvimento desta pesquisa, por dispor de infraestrutura moderna, salas de aula climatizadas e adaptadas para estudantes com deficiência, biblioteca, auditório, quadra esportiva e laboratórios bem equipados nas áreas de ciências, informática e robótica.

A instituição destaca-se pelo compromisso com a acessibilidade, oferecendo rampas, pisos táteis, corrimões, sinalização adequada, banheiros adaptados e uma sala de recursos multifuncionais para Atendimento Educacional Especializado (AEE). Essas condições criam um ambiente inclusivo e favorecem a implementação de propostas pedagógicas voltadas a alunos com deficiência visual.

Além disso, o IEMA funciona em tempo integral, integrando o ensino médio a cursos técnicos em diferentes áreas, o que reforça seu caráter inovador e interdisciplinar. A presença de profissionais qualificados e a ênfase em práticas pedagógicas inclusivas e tecnológicas tornam a instituição um local propício para a investigação sobre a integração da tecnologia assistiva ao ensino de Física, fundamentada na perspectiva pedagógica de John Dewey.

6.3 Instrumentos de coleta de dados

Para o desenvolvimento deste estudo foram utilizados dois principais instrumentos de coleta de dados: **a análise documental e os questionários**. A combinação desses instrumentos permitiu realizar a triangulação de informações, ampliando a confiabilidade e a consistência dos resultados obtidos.

6.3.1 Análise documental

A análise documental constituiu o ponto de partida da pesquisa e foi empregada para compreender os contextos educacionais e normativos que orientam as práticas pedagógicas voltadas às pessoas com deficiência visual, além de identificar o papel atribuído à tecnologia assistiva nesses ambientes.

Segundo Ludke e André (1986), embora pouco utilizada em pesquisas educacionais, a análise documental é de grande relevância na fase exploratória dos estudos, pois permite ao pesquisador contextualizar os fenômenos e subsidiar a interpretação dos dados. De forma

semelhante, Alves-Mazzotti e Gewandsznajder (1998) definem documentos como qualquer registro escrito capaz de fornecer informações úteis à investigação.

Nesse sentido, a presente pesquisa utilizou como corpus documental três eixos principais:

- **Normativas legais e políticas públicas:** Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Lei nº 13.146/2015), Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Especial na Educação Básica (Resolução CNE/CEB nº 2/2001), Decreto nº 6.949/2009 (Convenção da ONU sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência), Plano Nacional de Educação 2014–2024 e a Política Nacional de Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva (2008). Esses documentos possibilitaram mapear os direitos assegurados e os compromissos formais do Estado brasileiro com a inclusão escolar.
- **Documentos institucionais escolares:** Projetos Político-Pedagógicos (PPPs), registros de adaptação curricular, relatórios pedagógicos e pareceres descritivos, bem como planos de Atendimento Educacional Especializado (AEE). Tais documentos ofereceram subsídios para compreender como a legislação é traduzida no cotidiano escolar.
- **Materiais técnico-pedagógicos:** registros de formação docente, relatórios de visitas técnicas e recursos utilizados nas salas de recursos multifuncionais (como regletes, sorobãs, softwares leitores de tela e impressoras braille). Esses materiais evidenciaram a implementação prática da tecnologia assistiva no processo de ensino-aprendizagem.

Lima (2011) destaca que a análise documental é um recurso metodológico de grande relevância em estudos de inclusão, sobretudo quando o contato direto com sujeitos pode estar limitado, fornecendo indícios fundamentais para triangulação com outros instrumentos de coleta.

6.3.2 Questionários

Após a fase documental, foram aplicados **questionários semiestruturados** a professores da educação básica e especialistas em educação inclusiva que atuavam diretamente com alunos com deficiência visual. Os critérios de seleção dos participantes incluíram: experiência no Atendimento Educacional Especializado (AEE), atuação em turmas regulares com histórico de inclusão e participação em programas de formação continuada em educação inclusiva e tecnologia assistiva.

De acordo com Fachin (2006), os questionários permitem a coleta de dados de maneira ágil e objetiva, sendo especialmente adequados para pesquisas que exigem informações sistematizadas de diferentes sujeitos. No presente estudo, os questionários foram elaborados a partir de uma revisão de literatura e passaram por pré-testes e validação com especialistas, conforme recomenda Goldenberg (2011), a fim de garantir clareza, relevância e confiabilidade.

A aplicação ocorreu de forma presencial nas instituições participantes, mediante agendamento e consentimento dos envolvidos, respeitando os princípios éticos da pesquisa com seres humanos. Em situações específicas, a aplicação foi realizada de forma remota por meio de formulários digitais, assegurando acessibilidade e confidencialidade.

Os questionários buscaram compreender:

- as percepções docentes sobre a utilização de tecnologias assistivas;
- as práticas pedagógicas adotadas em sala de aula;
- as contribuições e limitações desses recursos para a mobilidade e aprendizagem de estudantes com deficiência visual.

6.3.3 Síntese

A utilização combinada da análise documental e dos questionários possibilitou compreender de forma abrangente a relação entre tecnologia assistiva e prática pedagógica no ensino de Física, sob a perspectiva de John Dewey. A análise documental forneceu o contexto legal e institucional, enquanto os questionários revelaram a experiência prática dos profissionais da educação, permitindo a triangulação e fortalecendo a validade dos resultados.

6.4 Procedimentos de análise

A análise dos dados desta pesquisa baseou-se em **entrevistas semiestruturadas**, recurso amplamente valorizado em investigações qualitativas por possibilitar a compreensão de aspectos subjetivos e contextuais. Como ressaltam Alves-Mazzotti e Gewandsznajder (1998), trata-se de uma técnica que favorece a interação entre pesquisador e participante, permitindo o aprofundamento de questões que dificilmente seriam acessadas por outros instrumentos. Lüdke e André (1986) acrescentam que a entrevista apresenta grande flexibilidade, podendo ser aplicada a diferentes públicos e em variadas situações de investigação.

O roteiro de entrevista foi elaborado a partir dos objetivos da pesquisa e submetido a uma validação prévia junto a especialistas, com o intuito de verificar a clareza, pertinência e coerência das questões. Esse cuidado metodológico assegurou que o instrumento estivesse adequado ao perfil dos participantes e alinhado às demandas investigativas, conforme recomenda Goldenberg (2011).

As entrevistas buscaram identificar fatores que influenciam a apropriação de conceitos sobre tecnologia assistiva e mobilidade de pessoas com deficiência visual, contemplando aspectos como interesse dos estudantes, estratégias pedagógicas adotadas e recursos didáticos utilizados. Para registrar os depoimentos de forma fidedigna, optou-se pela gravação em áudio, garantindo a integridade das informações e reduzindo riscos de perda de conteúdo durante a transcrição e análise.

Reconhece-se, entretanto, que a qualidade dos dados depende não apenas do roteiro, mas também da relação estabelecida entre entrevistador e entrevistado. Nesse sentido, a criação de um ambiente de confiança foi essencial para que os participantes se sentissem à vontade em compartilhar suas experiências. Os resultados obtidos com esse procedimento forneceram subsídios relevantes para discutir as percepções acerca do uso da luva sensorial, tema que será detalhado nas próximas seções.

6.5 Cronograma de desenvolvimento da proposta

O cronograma desta pesquisa foi cuidadosamente planejado para integrar conceitos teóricos e práticos, alinhados à pedagogia de John Dewey e à temática da tecnologia assistiva voltada para a mobilidade de pessoas com deficiência visual. As atividades foram estruturadas para cobrir os principais conteúdos de Física e tecnologia assistiva, culminando na construção de um **recurso educacional** que combina os conhecimentos adquiridos. As aulas, com duração de duas horas semanais, contemplam uma turma de 29 alunos do Instituto Estadual de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IEMA) Pleno Santa Inês – MA, que participaram ativamente das etapas de desenvolvimento do projeto. A seguir, detalha-se a distribuição das atividades ao longo do período:

1. Mecânica Aplicada à Mobilidade (2 aulas)

- **Conteúdos:** Movimento Retilíneo Uniforme (MRU) e Uniformemente Variado (MRUV), Leis de Newton, Energia e Trabalho, Sustentabilidade e Mobilidade.
- **Objetivo:** Introduzir os conceitos básicos de movimento e forças aplicados ao contexto de mobilidade, focando na importância da física mecânica para a locomoção e acessibilidade.
- **Previsão:** 1ª a 2ª semana.

2. Óptica e Detecção Sensorial (2 aulas)

- **Conteúdos:** Propagação da Luz, Luz e Detecção Tecnológica, Ondas Eletromagnéticas.
- **Objetivo:** Explorar o comportamento da luz e sua aplicação em sistemas de detecção sensorial, essenciais para o desenvolvimento de tecnologias assistivas.

- **Previsão:** 3ª a 4ª semana.

3. Eletrônica e Tecnologia de Sensores (2 aulas)

- **Conteúdos:** Fundamentos de Eletrônica, Sensores: Conceito e Função, Microcontroladores e Integração com Sensores, Internet das Coisas (IoT).
- **Objetivo:** Introduzir os princípios básicos de eletrônica e sensores, com ênfase na utilização de **microcontroladores** e na integração desses componentes em dispositivos assistivos.
- **Previsão:** 5ª a 6ª semana.

4. Física do Som na Orientação Espacial (2 aulas)

- **Conteúdos:** Propriedades das Ondas Sonoras, Reflexão, Difração e Absorção do Som, Aplicações Tecnológicas de Som na Orientação.
- **Objetivo:** Investigar as propriedades das ondas sonoras e suas aplicações na orientação espacial, fundamental para auxiliar a mobilidade de pessoas com deficiência visual por meio de tecnologias de som.
- **Previsão:** 7ª a 8ª semana.

5. Construção do Produto Educacional (4 aulas)

- **Atividades:** Desenvolvimento do protótipo de tecnologia assistiva, Integração dos conceitos físicos e tecnológicos abordados nas etapas anteriores, Testes e ajustes do produto.
- **Objetivo:** Orientar os alunos na criação e finalização de um protótipo que reúna os princípios de física e tecnologia assistiva estudados, focando em um produto que auxilie a mobilidade de pessoas com deficiência visual.
- **Previsão:** 9ª a 12ª semana.

7 APLICAÇÃO DO RECURSO EDUCACIONAL E RELATO DA EXPERIÊNCIA

A aplicação da luva robótica no ensino de Física possibilitou transformar conceitos tradicionalmente vistos como abstratos em experiências concretas e acessíveis. Durante a prática, os estudantes interagiram diretamente com o recurso, manipulando variáveis físicas como força e aceleração, com feedback imediato por meio de sensores e respostas táteis. Essa vivência aproximou os conteúdos das leis de Newton, da cinemática e da energia mecânica da realidade dos alunos, tornando-os mais compreensíveis e atrativos.

O processo educativo se estruturou pela aprendizagem ativa, em que os discentes testaram hipóteses, analisaram resultados e ajustaram estratégias. Essa dinâmica reflete o princípio de John Dewey (1979), segundo o qual a experiência é a base da educação: o conhecimento se constrói a partir da interação entre o sujeito e o meio. Ao vivenciarem os fenômenos, os estudantes não apenas compreendiam teoricamente, mas também incorporavam o aprendizado em sua prática investigativa.

Além da compreensão conceitual, a atividade promoveu o desenvolvimento de habilidades cognitivas como o pensamento crítico, a resolução de problemas e a análise de dados. O envolvimento com a robótica e a programação reforçou o caráter interdisciplinar da proposta, articulando física, tecnologia e experimentação científica.

Outro ponto de destaque foi a inclusão de estudantes que apresentavam dificuldades em acompanhar o método tradicional. A mediação sensorial proporcionada pela luva contribuiu para diversificar as formas de aprendizagem, favorecendo principalmente aqueles com maior predisposição a experiências práticas e cinestésicas. Isso dialoga com a defesa de Dewey (1997) pela educação democrática, que deve oferecer múltiplas oportunidades de engajamento e participação.

7.1 Construção e aplicação da luva sensorial no ensino de Física

A proposta pedagógica foi desenvolvida a partir dos princípios da aprendizagem experiencial defendidos por John Dewey (2011), segundo os quais a construção do conhecimento ocorre por meio da interação entre o estudante e situações concretas de investigação. Nesse sentido, a construção da luva sensorial foi concebida não apenas como uma atividade tecnológica, mas como uma oportunidade para que os estudantes relacionassem conceitos físicos a problemas reais de acessibilidade enfrentados por pessoas com deficiência visual.

Os estudantes participaram ativamente da montagem e do uso da luva, utilizando **sensores de pressão, acelerômetros e atuadores vibratórios**, que proporcionaram *feedback* tátil e permitiram a medição de movimentos e forças em tempo real. Para alunos com

deficiência visual, o feedback vibratório funcionou como recurso sensorial substitutivo, promovendo acesso equitativo à aprendizagem (BERSCH, 2008; LIMA, 2019).

A metodologia enfatizou a **aprendizagem prática**, estimulando os alunos a testar hipóteses, observar resultados e analisar dados. Experimentos envolveram leis de Newton, energia e movimento harmônico, favorecendo a compreensão de fenômenos físicos de forma concreta. A análise das atividades considerou categorias como engajamento, desempenho, aprendizagem significativa e percepção de inclusão, utilizando a **análise de conteúdo** como técnica de tratamento dos dados (BARDIN, 2011).

A integração da luva ao ensino exemplifica a aplicação dos **princípios de Dewey**, ao transformar o aprendizado em experiência direta, permitindo que os estudantes sintam, manipulem e compreendam conceitos científicos. Ao mesmo tempo, a tecnologia assistiva amplia a **inclusão**, garantindo que todos os alunos participem de forma ativa e equitativa, fortalecendo a conexão entre prática pedagógica, ciência e contexto sociocultural.

7.2 Procedimentos metodológicos e caminhos da escuta participativa

A pesquisa emergiu da prática cotidiana em uma escola pública de Ensino Médio e Técnico em Santa Inês (MA), a partir de observações em aulas de Física, conversas informais e da necessidade de transformar práticas pedagógicas tradicionais. Inspirada nos princípios de John Dewey, a metodologia valorizou a experiência concreta, a participação ativa dos estudantes e a relação entre teoria e prática (DEWEY, 1976).

7.3 Planejamento e desenvolvimento da pesquisa: caminhos, tempos e afetos

A construção de uma pesquisa comprometida com a transformação social e educacional exige não apenas um sólido referencial teórico, mas também um planejamento criterioso das etapas e dos tempos de execução. O cronograma desta pesquisa foi organizado com o propósito de equilibrar aspectos técnicos e humanos, respeitando o ritmo da escola, os tempos de aprendizagem dos estudantes e os desafios inerentes à realidade local. Cada fase foi acompanhada com atenção e sensibilidade, em permanente diálogo com os princípios pedagógicos de Dewey (2004), que defende que a educação deve estar enraizada na experiência real e no contexto social dos aprendentes.

Optou-se por uma abordagem qualitativa com ênfase em **pesquisa-ação**, na qual professores, estudantes e equipe gestora atuaram como sujeitos ativos do projeto (THIOLLENT, 2011). Participaram **29 estudantes** dos cursos integrados de Eletromecânica e Informática, selecionados pela familiaridade com conceitos de Física e programação.

A coleta de dados seguiu três etapas complementares:

1. **Observação participante:** realizada em sala de aula e oficinas práticas, registrando interações, engajamento e desafios. Relatos dos estudantes evidenciaram a transformação da aprendizagem:
 - Estudante A (3º ano): “Eu nunca tinha mexido com sensores, mas quando vi o LED acender com o movimento da mão, percebi como a eletricidade e o magnetismo realmente funcionam.”
 - Estudante B (3º ano): “Eu errava o código e nada funcionava, mas quando acertei, entendi na prática o que o professor dizia sobre corrente e resistência.”
 - Aluno com baixa visão: “Antes eu ficava só ouvindo a aula; agora eu posso sentir a Física com meu corpo.”
2. Esses depoimentos refletem a centralidade da **experiência ativa na aprendizagem**, conforme Dewey, e reforçam a função da tecnologia assistiva como instrumento de **inclusão e participação** (BERSCH, 2008).
3. **Questionários abertos e formulários reflexivos:** aplicados para captar percepções, dificuldades, significados atribuídos à experiência e sentimentos de pertencimento. Alguns relatos destacados:
 - Estudante B (3º ano): “Antes eu achava que corrente elétrica era distante. Quando conectamos os fios e vi o sensor reagindo, percebi como a teoria do circuito fechado se aplica na prática.”
 - Estudante C (2º ano): “Agora entendo melhor o conceito de tensão elétrica. Programar o Arduino me mostrou como cada detalhe influencia o fluxo de energia.”
 - Estudante D (3º ano): “A Física não é só cálculo, é também criação e utilidade. Isso me motivou a estudar mais.”
2. **Oficinas temáticas e rodas de conversa:** espaços de **escuta participativa e reflexão coletiva**, promovendo diálogo, colaboração e aprendizagem social. Atividades práticas permitiram experimentar conceitos como força, aceleração e energia em tempo real, enquanto as rodas de conversa favoreceram o compartilhamento de dúvidas, descobertas e estratégias de aprendizado:
 - Estudante E (3º ano): “O sensor mostrou que $F=m \times a$ não são só números; a Física ganhou vida.”
 - Estudante F (2º ano): “Via os números mudando e conseguia relacionar com o que sentia na mão.”

- Estudante G (2º ano): “Foi um espaço seguro. Ninguém julgou quando disse que não entendia aceleração no começo.”

A utilização de **diários de bordo** complementou o registro, fortalecendo a autonomia, a autoria e o protagonismo estudantil. Gravadores, fotografias e anotações manuais documentaram a experiência, compondo o **corpus de análise** da pesquisa.

A escuta participativa revelou que a integração entre tecnologia assistiva e práticas pedagógicas ativas permitiu **aproximação da teoria à prática**, favoreceu o engajamento, o pensamento crítico e a colaboração, e promoveu **uma aprendizagem inclusiva e significativa**, alinhada à perspectiva de Dewey, que vê o conhecimento como resultado da experiência e da interação com o mundo real (DEWEY, 1976, p. 42).

7.3 Fundamentação teórica e diálogo com a literatura

Paralelamente à imersão, foi aprofundado o estudo sobre os fundamentos da educação experiencial de Dewey (1997), bem como sobre metodologias ativas, robótica educacional e práticas inclusivas mediadas por tecnologia assistiva. Também foi realizado um mapeamento dos marcos legais da educação inclusiva no Brasil.

A imersão com a luva sensorial baseada em Arduino foi acompanhada de um aprofundamento teórico que fortaleceu o caráter científico e pedagógico do projeto. O estudo dos fundamentos da **educação experiencial de John Dewey (1976)** foi central nesse processo, pois oferece uma base sólida para compreender o aprender fazendo. Dewey defende que a experiência prática, quando articulada à reflexão, transforma o estudante em protagonista do conhecimento. Essa concepção orientou cada etapa: desde a construção do protótipo até a aplicação em oficinas temáticas, garantindo que o conteúdo de Física não fosse apenas transmitido, mas vivenciado. Assim, a manipulação de sensores, a programação e a análise dos dados da luva tornaram-se momentos de aprendizagem ativa, em que teoria e prática se fundiram.

As **metodologias ativas** ganharam destaque como caminho para engajar os estudantes de forma significativa. Inspiradas em autores como Moran (2015) e Bacich e Moran (2018), tais metodologias incluem estratégias como sala de aula invertida, aprendizagem baseada em projetos e resolução de problemas. No contexto do projeto, isso significou colocar os alunos no centro, desafiando-os a investigar, experimentar e discutir. Ao invés de receber respostas prontas, eles formularam hipóteses, testaram, erraram e reconstruíram saberes. Essa abordagem, além de motivar, amplia competências essenciais, como pensamento crítico, criatividade e colaboração.

Outro eixo de estudo foi a **robótica educacional**, compreendida como ferramenta para desenvolver raciocínio lógico, noções de eletrônica e programação, mas também para tornar o aprendizado mais concreto. Trabalhos de pesquisadores como Papert (1993), que introduziu a ideia de construcionismo, reforçam que a construção de artefatos — como a luva sensorial — potencializa a compreensão de conceitos abstratos. Ao integrar sensores de flexão, placas Arduino e códigos de programação, os alunos perceberam relações entre corrente elétrica, resistência, aceleração e força de impacto, vivenciando a Física como ciência viva e aplicada.

A dimensão **inclusiva** foi outro pilar, especialmente com o uso de tecnologia assistiva. A luva sensorial, ao ser pensada como recurso de mobilidade e acessibilidade para pessoas com deficiência visual, alinhou-se a uma prática pedagógica que valoriza a diversidade. O grupo estudou referências de educação inclusiva, compreendendo que a tecnologia pode e deve ser mediadora da equidade. Esse olhar dialoga com as contribuições de Mantoan (2006) e Booth & Ainscow (2011), que enfatizam a necessidade de ambientes escolares acolhedores e que removam barreiras de participação.

Nesse contexto, foi realizado um **mapeamento dos marcos legais da educação inclusiva no Brasil**, evidenciando como o arcabouço jurídico respalda iniciativas como esta. Destacam-se a **Constituição Federal de 1988**, que garante educação como direito de todos; a **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (Lei nº 9.394/1996)**, que prevê atendimento educacional especializado; o **Estatuto da Pessoa com Deficiência (Lei nº 13.146/2015)**, que estabelece a acessibilidade como princípio fundamental; e a **Política Nacional de Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva (2008)**, que orienta a inclusão de estudantes com deficiência em classes comuns. Esses documentos reforçam que a escola tem o dever de proporcionar recursos e metodologias que garantam participação plena, o que inclui o uso de tecnologia assistiva e abordagens inovadoras de ensino.

A articulação entre teoria e prática evidenciou que a **educação experiencial de Dewey** não é apenas um conceito histórico, mas uma proposta atual para a formação de sujeitos críticos. O estudante, ao vivenciar a construção da luva sensorial, compreendeu que a ciência não é algo distante, mas um processo em constante construção coletiva. Ao mesmo tempo, as metodologias ativas mostraram que a aprendizagem significativa acontece quando o aluno se engaja em problemas reais, compartilhando saberes com colegas e professores.

Por fim, o caráter inclusivo do projeto reafirma que a tecnologia assistiva é não apenas uma ferramenta pedagógica, mas também um direito. Ao possibilitar que todos participem e se reconheçam como produtores de conhecimento, o projeto dialoga com a pedagogia libertadora de Paulo Freire (1996), que valoriza a escuta e o diálogo como caminhos para a emancipação. Assim, a combinação entre educação experiencial, robótica educacional e inclusão não apenas

ampliou a compreensão da Física, mas também promoveu valores de cidadania, solidariedade e respeito à diversidade, pilares de uma educação contemporânea.

Conforme Bardin (2011, p. 35), toda análise deve estar ancorada em uma leitura crítica da realidade à luz da teoria. Com base nisso, o projeto foi estruturado em diálogo com autores como Papert (2008), Demo (1996), Valente (2003) e Wallon (2007), de modo a fundamentar as escolhas metodológicas e didáticas adotadas nas etapas seguintes da pesquisa.

7.3.1 Construção da luva sensorial e experimentação pedagógica

A construção da luva sensorial foi realizada ao longo de seis meses, em 2024, com a participação de estudantes previamente interessados em robótica, sob orientação dos professores de Física e Informática. O dispositivo integrava **sensores de pressão, atuadores vibratórios e microcontroladores Arduino**, permitindo aos estudantes uma **experiência tátil e interativa de conceitos físicos**, como força, pressão e aceleração. O processo articulou teoria e prática, favorecendo o protagonismo dos alunos e a aprendizagem experiencial.

O desenvolvimento do projeto seguiu fases mensais, cuidadosamente planejadas:

Agosto – Planejamento e Formação da Equipe

- Seleção dos estudantes interessados em robótica e tecnologia assistiva.
- Reuniões para definição de objetivos, recursos necessários e cronograma.
- Capacitação inicial em Arduino, sensores de pressão e atuadores vibratórios.

Resultados: formação de grupo capacitado e levantamento completo de materiais e orçamento.

Setembro – Pesquisa e Protótipos Iniciais

- Investigação de modelos de luvas sensoriais e referências em robótica educacional.
- Aquisição dos componentes eletrônicos e tecidos apropriados.
- Desenvolvimento de esquemas elétricos e códigos de teste para sensores.

Resultados: protótipo inicial funcional em bancada, com registro técnico para ajustes futuros.

Outubro – Montagem Estrutural e Integração de Sistemas

- Construção física da luva, costura e inserção dos sensores.
- Integração de atuadores vibratórios e programação para leitura simultânea de dados de força e pressão.

Resultados: luva com sensores e atuadores operacionais, permitindo primeiras medições táteis.

Novembro – Testes de Campo e Ajustes

- Sessões de teste com estudantes para aferir sensibilidade e precisão dos sensores.

- Ajustes de hardware, código Arduino e ergonomia do dispositivo.

Resultados: luva funcional e confortável, capaz de demonstrar relações físicas de forma concreta.

Dezembro – Aplicações Pedagógicas

- Planejamento e execução de atividades de Física, explorando conceitos de força, pressão e aceleração.
- Oficinas com turmas-piloto e coleta de impressões dos estudantes sobre a experiência.

Resultados: validação pedagógica do dispositivo e relatos de compreensão prática dos conceitos.

Junho – Análise Final e Divulgação

- Sistematização dos dados e elaboração de relatório técnico-pedagógico.
- Apresentação dos resultados em seminário escolar e discussão sobre melhorias futuras.

Resultados: documentação completa do processo e planejamento de novas etapas para replicação do projeto.

Durante a execução do projeto, a participação ativa dos estudantes foi crucial. Eles não apenas montaram o dispositivo, mas **experimentaram conceitos físicos de forma sensorial**, testando hipóteses, ajustando sensores e observando respostas em tempo real. Alunos com deficiência visual interagiram diretamente com a luva, utilizando o feedback tátil para compreender forças e movimentos, promovendo inclusão e autonomia (BERSCH, 2008, p. 23).

As oficinas foram planejadas de acordo com conteúdos de **mecânica, eletricidade e termodinâmica**, permitindo a aplicação prática da teoria. Relatos dos estudantes evidenciaram engajamento e compreensão:

- Estudante A (3º ano): “Quando vi o LED acender com o movimento da mão, percebi como a eletricidade realmente funciona.”
- Estudante B (3º ano): “Acertar o código do Arduino me fez entender a corrente e resistência na prática.”

Essa experiência concreta confirma a visão de Dewey de que a aprendizagem significativa ocorre quando os estudantes **vivenciam situações reais, interagem com o ambiente e constroem conhecimento ativamente**. Além disso, o projeto fortaleceu habilidades cognitivas e sociais, como **resolução de problemas, trabalho em equipe e pensamento crítico**, demonstrando que a tecnologia assistiva pode ser incorporada de forma efetiva e inclusiva ao ensino de Física.

7.3.2 Análise dos dados e sistematização dos resultados

A análise dos dados seguiu a técnica de triangulação metodológica, conforme orienta Bardin (2011), cruzando informações quantitativas e qualitativas. Foram elaborados sete gráficos em formato de pizza com base nas respostas de 29 estudantes, abordando temas como engajamento, compreensão dos conteúdos, percepção de inclusão e aceitação da luva como ferramenta didática.

Valente (2003, p. 37) salienta que a eficácia das tecnologias educacionais deve ser avaliada a partir de evidências concretas de seu impacto no processo de ensino-aprendizagem. Os dados coletados apontaram altos índices de aceitação: mais de 80% dos estudantes relataram ter alcançado uma aprendizagem significativa por meio da metodologia adotada.

7.3.3 Produção do relatório final e valorização das experiências

A elaboração do **relatório final da pesquisa** foi conduzida com foco na **clareza, acessibilidade da linguagem e valorização das vivências estudantis**, de modo a apresentar não apenas resultados quantitativos e técnicos, mas também o impacto pedagógico e afetivo do projeto (apêndice G). O documento combinou **trechos de falas dos estudantes, gráficos, tabelas e fundamentação teórica**, construindo uma narrativa crítica sobre a trajetória formativa dos participantes e sobre como a experiência com a luva sensorial influenciou sua compreensão da Física e suas habilidades sociais e cognitivas.

7.3.3.1 Experiências de aprendizado de Física

As falas dos estudantes revelam uma transformação concreta na percepção da disciplina:

- Estudante C (3º ano): “Quando medi a força com a luva, entendi que a fórmula $F = m \times a$ não é só uma equação. Vi a força acontecendo na minha mão. Isso muda completamente a maneira de estudar Física.”
- Estudante D (3º ano): “Antes eu achava que pressão era só algo que lia no livro. Agora, sentindo a vibração do sensor, consegui perceber o que acontece de verdade.”

Esses relatos evidenciam que a interação direta com o dispositivo permitiu aos alunos **experimentar conceitos abstratos**, aproximando teoria e prática e fortalecendo a aprendizagem significativa, conforme a perspectiva de Dewey (2004, p. 58).

7.3.3.2 Superação de dificuldades

O projeto também destacou a importância da paciência, persistência e apoio coletivo:

- Estudante E (2º ano): “Tinha medo de mexer com programação. Mas quando vi o Arduino responder, entendi que posso aprender coisas novas se tiver apoio e paciência.”

- Estudante F (2º ano): “A solda dos fios parecia impossível, mas com treino e ajuda do grupo consegui. Foi um momento de vitória pessoal.”

Esses relatos refletem a dimensão afetiva da aprendizagem, confirmando Wallon (2007, p. 101) ao afirmar que **não há conhecimento sem envolvimento emocional**.

7.3.3.3 Colaboração e inclusão

O trabalho coletivo e a inclusão de estudantes com deficiência visual foram elementos centrais do projeto:

- Estudante A (3º ano): “Senti que minha opinião tinha valor. Trabalhar com colegas com deficiência visual foi emocionante. Percebi que a ciência pode ser realmente para todos.”
- Estudante F (2º ano): “Participar desse projeto me fez ver que tecnologia e solidariedade andam juntas. Quero estudar mais sobre robótica para criar soluções inclusivas.”

A prática colaborativa não apenas reforçou o aprendizado, mas também promoveu **valores de empatia, responsabilidade social e consciência sobre acessibilidade**, integrando os objetivos pedagógicos com a experiência humana e comunitária.

7.3.3.4 Perspectivas Futuras

A vivência com a luva sensorial despertou nos estudantes novas possibilidades acadêmicas e profissionais:

- Estudante G (2º ano): “Agora penso em seguir carreira em engenharia ou computação. Descobri que é possível transformar ideias em algo que ajuda outras pessoas.”

Essa percepção evidencia que **a aprendizagem vai além do domínio de conteúdos**, influenciando escolhas de vida e motivação para futuros estudos em ciência, tecnologia e inovação social.

7.3.3.5 Considerações Metodológicas

O relatório final buscou **captar não apenas dados objetivos**, mas também **as emoções, reflexões e transformações vividas pelos alunos**. O sentimento de pertencimento, o entusiasmo diante da descoberta e o despertar para novas possibilidades foram recorrentes nas falas, constituindo uma **construção científica e humana integradora**. Assim, o documento reflete uma abordagem pedagógica que valoriza a **experiência concreta, a interação social e o engajamento afetivo**, conforme enfatizado por Dewey (1979) e Wallon (2007), confirmando a importância de combinar técnica, prática e sensibilidade no ensino de Física.

8 ANÁLISE DOS QUESTIONÁRIOS APLICADOS

8.1 Análise dos dados e impactos pedagógicos da luva sensorial

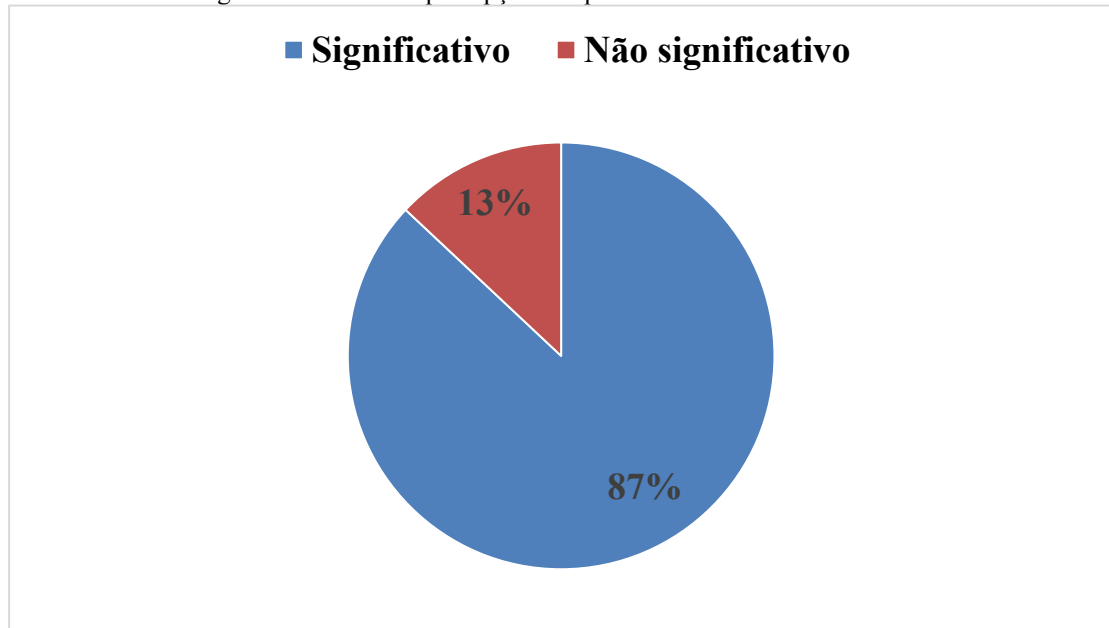
A análise dos dados obtidos ao longo da pesquisa considerou tanto os aspectos quantitativos quanto qualitativos da experiência vivida no ambiente escolar. Com base nos registros observacionais, nos questionários aplicados, nos diários de bordo dos estudantes e nas rodas de conversa, adotou-se uma abordagem mista.

Inicialmente, os dados foram organizados em categorias analíticas previamente definidas: aprendizagem significativa, engajamento estudantil, percepção de inclusão, compreensão dos conceitos físicos e impacto da metodologia no interesse profissional, conforme Apêndices C e D. As respostas foram codificadas, classificadas e agrupadas em gráficos para facilitar a interpretação.

A implementação da luva sensorial promoveu impactos significativos na compreensão de conteúdos físicos, como força, aceleração, pressão e resistência elétrica. Ao serem questionados sobre sua compreensão antes e depois das atividades experimentais, 84% dos estudantes relataram melhora substancial. Um aluno do 2º ano registrou em seu diário de bordo: “Nunca entendi o que era força de atrito, mas com a luva, senti na mão o que o professor dizia antes no quadro”. Tal evidência está alinhada à concepção de Dewey (1997, p. 42), segundo a qual o aprendizado ocorre por meio da experiência ativa, e não por simples recepção passiva do conteúdo.

Os dados reforçam essa percepção: 87% dos discentes consideraram o aprendizado com a luva sensorial mais significativo (Figura 6). Outro aspecto relevante refere-se ao engajamento nas atividades práticas. A observação participante evidenciou que até mesmo estudantes com histórico de desinteresse passaram a se envolver de maneira ativa nas discussões e nas tarefas (Figura 7). Nesse contexto, Demo (1996, p. 25) ressalta que o protagonismo estudantil é condição essencial para uma aprendizagem efetiva. A prática com a luva favoreceu esse protagonismo ao colocar os alunos no centro do processo de construção do conhecimento.

Figura 6: Gráfico da percepção de aprendizado com a luva sensorial



Fonte: Autoria própria.

Figura 7: Nível de engajamento dos estudantes



Fonte: Autoria própria.

Em relação à aceitação da luva como recurso pedagógico, 92% dos estudantes indicaram que gostariam de utilizá-la em outras disciplinas (Figura 8). Esse resultado corrobora o argumento de Valente (2003, p. 37), segundo o qual as tecnologias educacionais, quando bem aplicadas, não substituem o professor, mas ampliam suas possibilidades de mediação e tornam o processo de ensino-aprendizagem mais significativo.

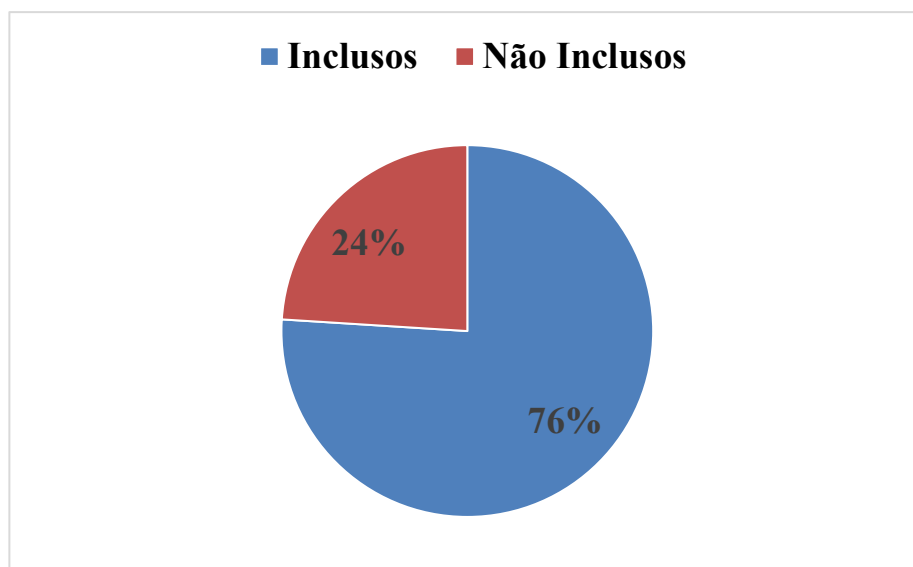
Figura 8: Aceitação da luva como ferramenta didática



Fonte: Autoria própria.

Outro ponto importante foi a percepção dos estudantes com deficiência. A escola conta com alunos com deficiência visual parcial e deficiência auditiva leve. Dentre eles, 76% relataram sentir-se mais incluídos nas aulas que utilizaram a luva sensorial, devido ao feedback tátil e às vibrações do equipamento (Figura 9). Esse resultado vai ao encontro dos princípios da educação inclusiva defendidos por Mantoan (2006, p. 15), que enfatiza a importância de adaptar os recursos às necessidades de todos os estudantes.

Figura 9: Inclusão de estudantes com deficiência



Fonte: Autoria própria.

Além dos aspectos cognitivos, os dados qualitativos revelaram ganhos afetivos e motivacionais. Muitos estudantes relataram maior autoestima e sensação de pertencimento ao construir um objeto concreto com as próprias mãos. Em roda de conversa, uma aluna afirmou:

“Sempre achei que Física era só para os inteligentes. Agora vi que é para quem tenta e pratica”. Essa fala reflete o pensamento de Wallon (2007, p. 101), para quem o afeto é indissociável do processo de aprendizagem e potencializa o desempenho acadêmico quando o estudante se sente emocionalmente respeitado.

Quando indagados sobre sua metodologia preferida, 89% dos alunos indicaram preferência por atividades experimentais, como as desenvolvidas com a luva sensorial (Figura 10). Tal preferência evidencia a necessidade de metodologias ativas no ensino da Física, conforme defendido por D’Ambrósio (2002, p. 74), que destaca a experimentação como um caminho para o desenvolvimento da intuição científica, muitas vezes negligenciada pelo ensino tradicional.

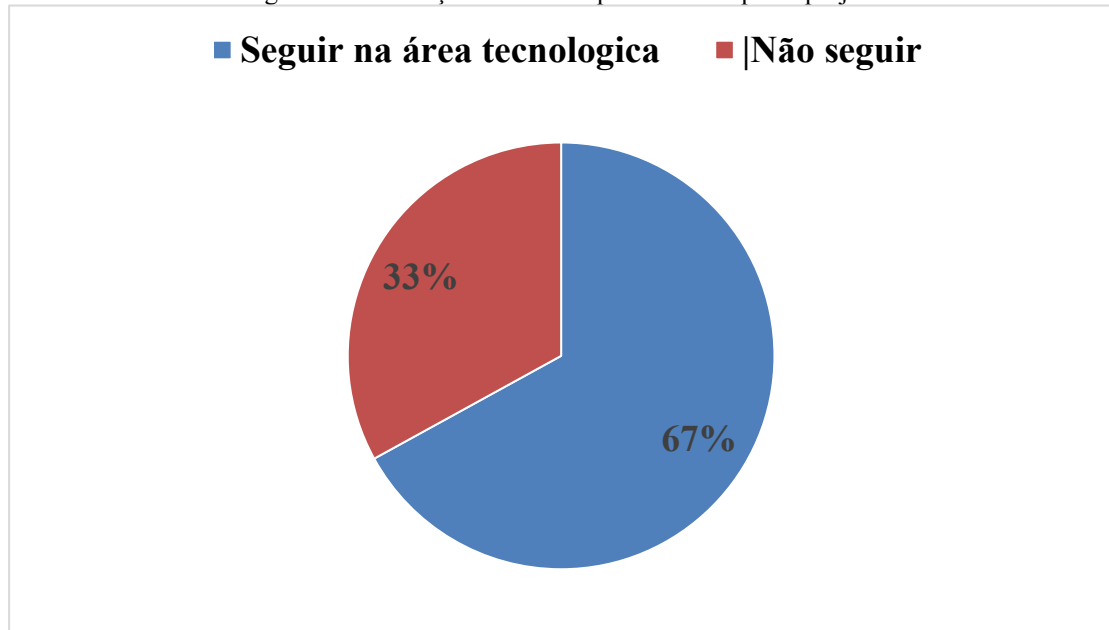
Figura 10: Preferência metodológica dos estudantes



Fonte: Autoria própria.

Adicionalmente, observou-se uma mudança no interesse profissional dos estudantes: 67% declararam ter se interessado por áreas relacionadas à tecnologia após a participação no projeto (Figura 11). A construção da luva, envolvendo programação, sensores e conceitos físicos aplicados, revelou talentos e habilidades adormecidas em muitos jovens. Essa constatação confirma a perspectiva de Papert (2008, p. 34), que vê na robótica educacional uma ponte entre pensamento crítico, criatividade e escolhas profissionais.

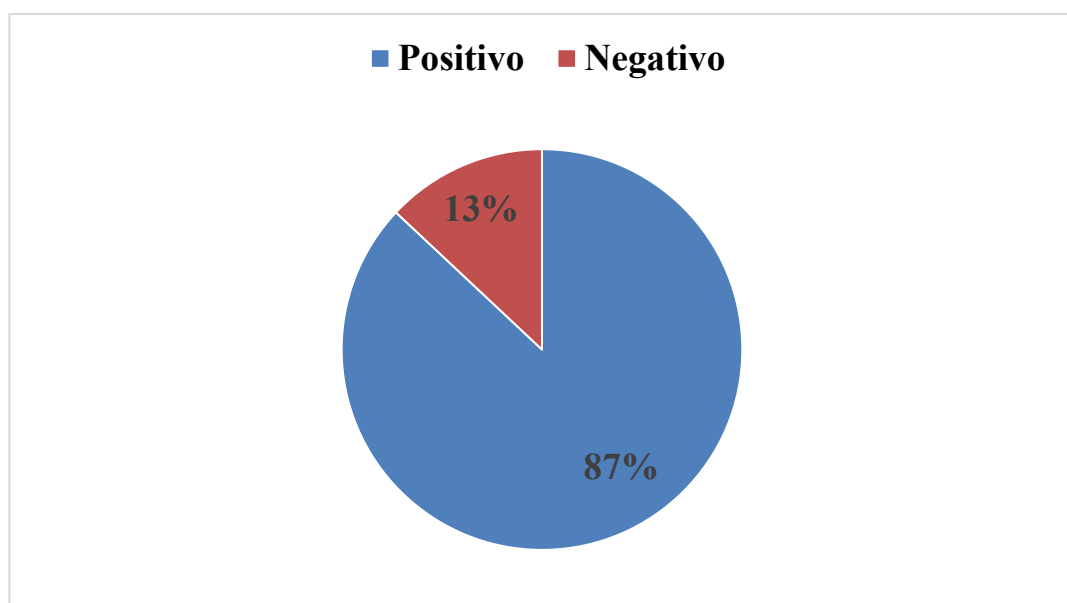
Figura 11: Mudança de interesse profissional após o projeto



Fonte: Autoria própria.

O impacto positivo da luva sensorial sobre a inclusão também merece destaque. Um estudante com baixa visão relatou que, pela primeira vez, conseguiu participar ativamente de uma aula de Física. A resposta dos colegas foi igualmente significativa: alguns passaram a adaptar espontaneamente atividades para incluir os colegas com deficiência, como a criação de sinalizações táteis (Figura 12). Bersch (2008, p. 19) lembra que a tecnologia assistiva vai além dos dispositivos: trata-se de uma postura pedagógica comprometida com a aprendizagem digna e acessível para todos.

Figura 12: Participação ativa de estudantes com deficiência



Fonte: Autoria própria.

A triangulação metodológica, isto é, por meio da observação participante, aplicação de questionários, produção de diários e rodas de conversa, revelou uma convergência importante: o uso da luva sensorial não apenas ampliou a compreensão dos conceitos físicos, como também promoveu o engajamento, a inclusão, o fortalecimento da autoestima e a construção de novas perspectivas de futuro. Sob a ótica pedagógica, essa experiência reforça o pensamento de Dewey (2004, p. 49), ao demonstrar que a aprendizagem se efetiva quando o estudante é envolvido em situações reais, significativas e emocionalmente relevantes. Em Santa Inês, os estudantes literalmente “sentiram a Física em suas mãos”.

Os resultados aqui apresentados dialogam de forma consistente com a literatura especializada sobre o uso de tecnologias assistivas e metodologias ativas no ensino de Física. No que concerne à aprendizagem conceitual, a melhora relatada por 84% dos estudantes após as atividades com a luva sensorial encontra respaldo em revisões sistemáticas recentes que apontam tecnologias baseadas em sensores e sistemas vestíveis como soluções promissoras para a autonomia e a inclusão, embora persistam lacunas quanto à sua integração efetiva em práticas educacionais (LORENTE et al., 2024). De modo complementar, Fernández-Batanero *et al.* (2022) identificaram, em ampla revisão de literatura, que tais tecnologias contribuem para a acessibilidade e o desempenho acadêmico de estudantes com deficiência, a despeito de desafios persistentes na formação docente e na disponibilidade de recursos, limitação igualmente observada ao longo da presente pesquisa e que merece atenção em estudos futuros.

Especificamente no campo do ensino de Física para estudantes com deficiência visual, Pacala (2024) demonstrou, em revisão dedicada ao tema, que tecnologias digitais, incluindo plataformas interativas e recursos sensoriais, promovem melhorias no engajamento e na retenção do conhecimento. Esse achado é consistente com os 87% de estudantes que avaliaram o aprendizado com a luva sensorial como mais significativo. Importa destacar, contudo, que esses dados decorrem de autorrelato em questionários aplicados imediatamente após a intervenção, o que constitui uma limitação metodológica relevante: a percepção subjetiva de aprendizagem não equivale necessariamente à aquisição conceitual mensurável, e a ausência de um pré-teste estruturado e de grupo de controle impede afirmar com rigor em que medida a melhora reportada é atribuível exclusivamente à intervenção pedagógica proposta. Investigações futuras deverão incorporar instrumentos psicométricos validados e delineamentos quasi-experimentais para fortalecer a base empírica da proposta, conforme sugerem Fernández-Batanero *et al.* (2022).

A alta taxa de aceitação da luva como recurso pedagógico (92%) e a preferência declarada por atividades experimentais (89%) convergem com a perspectiva do Universal Design for Learning (UDL), proposta por Lannan, Chini e Scanlon (2021) como estratégia

estruturante para reduzir as barreiras à participação de estudantes com deficiência em cursos de Física. Os autores argumentam que o primeiro passo é examinar o porquê, o quê e o como do ensino para identificar os obstáculos enfrentados pelos estudantes: princípio que orienta implicitamente a construção da luva sensorial como artefato pedagógico nesta pesquisa. Ainda assim, é necessário reconhecer que a preferência por atividades experimentais, embora amplamente documentada, não garante por si só maior aprovação e retenção conceitual, sendo imprescindível associar o engajamento motivacional a instrumentos sistemáticos de avaliação da aprendizagem.

No que concerne à dimensão inclusiva, o relato de 76% dos estudantes com deficiência de sentirem-se mais incluídos graças ao feedback tátil da luva pode ser contextualizado à luz do construcionismo de Papert (2008), que postula que o aprendizado é mais efetivo quando o sujeito constrói artefatos compartilháveis com o mundo. A luva sensorial cumpre justamente esse papel: ao ser desenvolvida pelos próprios estudantes, torna-se objeto de aprendizagem e de identificação, especialmente para aqueles com deficiência visual, que passam de espectadores a protagonistas do processo produtivo. Não obstante, cabe registrar uma limitação metodológica importante: o número reduzido de estudantes com deficiência visual efetivamente matriculados na turma investigada limita a generalização das conclusões sobre impacto inclusivo. Futuras pesquisas deverão envolver amostras maiores e mais diversificadas, incluindo participantes com diferentes graus e tipos de deficiência visual, para avaliar a eficácia diferencial do dispositivo.

Por fim, a mudança no interesse profissional relatada por 67% dos estudantes após a participação no projeto é um resultado que, embora promissor, deve ser interpretado com cautela. A literatura indica que intervenções de curto prazo baseadas em robótica educacional tendem a produzir efeitos motivacionais imediatos que nem sempre se sustentam ao longo do tempo (ZÔMPERO; LABURÚ, 2011). A ausência de acompanhamento longitudinal dos participantes é, portanto, outra limitação a ser superada em etapas subsequentes desta linha de investigação. De toda forma, a constatação de que a experiência com a luva sensorial articulou, de modo integrado, aprendizagem conceitual de Física, sensibilidade ética em relação à acessibilidade e engajamento criativo é consistente com a perspectiva da aprendizagem pela experiência de Dewey (2011) e com o construcionismo de Papert (2008), consolidando a proposta como uma contribuição original para o ensino de Física no contexto da Educação Profissional e Tecnológica.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concluir uma pesquisa como esta não é, em absoluto, encerrar uma jornada. Ao contrário, é dar forma escrita a um processo que continua pulsando — nas salas de aula, nos corredores da escola, nos olhos curiosos dos estudantes e nas mãos que, ao vestirem uma luva sensorial, sentiram a Física de um modo antes inacessível. Esta investigação, realizada em uma escola pública de ensino médio e técnico no município de Santa Luzia, Maranhão, revelou que quando a ciência e o afeto se encontram, a educação realmente transforma.

Nosso percurso foi cuidadosamente construído, respeitando os passos de quem aprende e os limites de quem ensina. A proposta de criar e aplicar uma luva robótica sensorial para auxiliar no ensino de Física partiu de uma inquietação: como tornar acessível um conteúdo tão visual e simbólico como a Física para estudantes com deficiência visual? Mas, ao longo da pesquisa, compreendemos que a pergunta era ainda mais ampla: como fazer da escola um espaço em que todos os corpos e todas as inteligências possam experimentar o saber?

Inspirados pelos fundamentos pedagógicos de John Dewey (2004), defendemos que a aprendizagem só ganha sentido quando nasce da experiência vivida. A Física, quando ensinada com instrumentos táteis, sons, vibrações e movimento, deixa de ser um conjunto de fórmulas decoradas para se tornar uma linguagem corporal e sensorial. E foi isso que a luva sensorial permitiu aos estudantes: vivenciar os fenômenos físicos através do toque, da resposta tátil, do envolvimento do corpo inteiro no ato de aprender.

Mais do que um experimento técnico, a luva representou um símbolo de escuta. Escuta das necessidades de estudantes cegos ou com baixa visão, que muitas vezes foram invisibilizados em aulas práticas; escuta dos colegas videntes, que passaram a perceber que a inclusão é uma via de mão dupla, que também os ensina; e escuta dos professores, que, ao se permitirem sair da zona de conforto, redescobriram sua vocação para ensinar com o coração e com criatividade.

Os dados coletados demonstraram uma forte adesão à proposta, com mais de 80% deles afirmando ter compreendido melhor os conteúdos de Física com a luva. Além disso, os depoimentos revelaram sentimentos de pertencimento, alegria, surpresa e, principalmente, autonomia. Um dos estudantes com deficiência visual relatou: *“Nunca achei que pudesse entender as leis da Física de forma tão clara, só com o tato. Foi como enxergar com as mãos.”*

Essas falas reforçam o que já apontavam autores como Bersch (2008) e Valente (2003): a tecnologia assistiva não é um acessório pedagógico, mas uma ponte que permite que sujeitos historicamente excluídos da experiência científica possam atravessar o rio do conhecimento com segurança e protagonismo. Quando o conteúdo respeita o corpo, a diferença e o tempo de

cada estudante, a aprendizagem deixa de ser um dever e se torna um direito exercido plenamente.

Outro aspecto essencial da pesquisa foi perceber que a inclusão beneficia a todos, não apenas aos estudantes com deficiência. A robótica, a metodologia ativa, as oficinas sensoriais e os momentos de colaboração criaram um ambiente de empatia e engajamento entre os alunos. Como nos ensina Mantoan (2006), uma escola verdadeiramente inclusiva é aquela que desnaturaliza a homogeneidade e celebra a diferença como potência educativa.

Ao longo do processo, também enfrentamos desafios. A ausência de materiais acessíveis, a falta de formação específica para os docentes, o tempo reduzido para elaboração de atividades e a resistência inicial de alguns setores escolares demonstraram que a inclusão ainda é um caminho a ser construído coletivamente. Mas aprendemos que, com escuta, parceria e sensibilidade, é possível vencer cada obstáculo, pouco a pouco.

A presença constante da afetividade, destacada por Wallon (2007), também se fez evidente. Em cada oficina realizada com a luva, em cada roda de conversa, percebemos que o toque físico e simbólico era tão importante quanto o conteúdo. A Física foi sentida, não apenas compreendida. E isso fez toda a diferença.

Papert (2008) reforça que o estudante aprende melhor quando está envolvido emocional e criativamente com o processo. A construção colaborativa da luva, o manuseio do Arduino, a observação dos resultados físicos a partir da resposta tátil estimularam o pensamento lógico, a resolução de problemas e a expressão de ideias com liberdade e entusiasmo. O fazer científico se tornou acessível e encantador.

Lidos sob a ótica das ideias de Dewey (2004), esses resultados confirmam que o conhecimento em Física só se consolidou quando deixou de ser transmitido e passou a ser vivido: o percentual de estudantes que relataram maior compreensão dos conteúdos, assim como os relatos de autonomia e pertencimento, expressam justamente aquele processo de reconstrução contínua da experiência que o autor situava no centro da aprendizagem. Nesse percurso, a tecnologia assistiva não funcionou como um recurso periférico, mas como a própria condição que tornou a experiência física acessível ao tato, ao som e ao movimento, permitindo que estudantes cegos ou com baixa visão deixassem a posição de espectadores e se tornassem protagonistas de sua própria investigação científica. Compreende-se, assim, que os resultados obtidos não decorrem apenas da eficácia técnica da luva sensorial, mas do encontro entre um dispositivo assistivo bem concebido e uma concepção de ensino que reconhece o corpo, o sentido e a ação como caminhos legítimos para o conhecimento.

Ao final, reafirmamos que este trabalho não se trata apenas de uma inovação metodológica ou de uma proposta pontual. Ele é um convite permanente à escuta, à

sensibilidade e à coragem de fazer da escola um espaço em que todos aprendem e todos ensinam. Que a Física continue sendo ensinada com experimentos, fórmulas e teorias, mas também com empatia, toque, emoção e criatividade.

REFERÊNCIAS

- ADA. AMERICAN WITH DISABILITIES ACT. **Tech Act 1994**. Disponível em: <http://www.resna.org/taproject/library/laws/techact94.htm>. Acesso em: 10 ago. 2024.
- ALVES-MAZZOTTI, A. J.; GEWANDSZNAJDER, F. **O método nas ciências naturais e sociais**. São Paulo: Pioneira, 1998.
- AMARAL, M. N. C. P. **Dewey: filosofia e experiência democrática**. São Paulo: Perspectiva, 1990.
- ARAÚJO, Inês Lacerda. **Dewey e Rorty: um debate sobre justificação, experiência e o papel da ciência na cultura**. Curitiba: UFPR, 2008.
- ATKINS, J. E.; FISER, J.; JACOBS, R. A. Experience-dependent visual cue integration based on consistencies between visual and haptic percepts. **Vision Research**, Wayne v. 41, n. 4, p. 449–461, 2001. Disponível em: <https://encurtador.com.br/TQvV>.
- BERSCH, R. Introdução à tecnologia assistiva. Porto Alegre: CEDI, 2008.
- BOOTH, T.; AINSCOW, M. **Index para a inclusão: desenvolvendo a aprendizagem e a participação nas escolas**. Bristol: CSIE, 2011.
- BRASIL. Comitê de Ajudas Técnicas. **Ata da III Reunião do Comitê de Ajudas Técnicas (CAT)**. Secretaria Especial dos Direitos Humanos da Presidência da República. Brasília, DF, 2007.
- BRASIL. **Decreto nº 5.296, de 2 de dezembro de 2004**. Regulamenta as Leis nº 10.048/2000 e nº 10.098/2000, e estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 dez. 2004.
- 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). Brasília, DF: Presidência da República, 2015.
- BRASIL. **Política Nacional de Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva**. Brasília: MEC/SEESP, 2008.
- BRASIL. Secretaria de Direitos Humanos da Presidência da República (SDHPR). **Tecnologia Assistiva**. Brasília, DF: Secretaria de Direitos Humanos da Presidência da República, 2012. Disponível em: <https://www.gov.br/mdh/>. Acesso em: 14 jul. 2025.
- BRASIL. Secretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência – SNPD. **Tecnologia assistiva**. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2009. Disponível em: <http://www.pessoacomdeficiencia.gov.br/app/publicacoes/tecnologia-assistiva>. Acesso em: 6 jun. 2024.
- BRITTO NETO, L. de S. *et al.* A Wearable Face Recognition System Built into a Smartwatch and the Blind and Low Vision Users. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENTERPRISE INFORMATION SYSTEMS (ICEIS)*, 17., 2015, Barcelona. **Anais [...]**. Barcelona: SCITEPRESS, 2015. p. 5-12. Disponível em: <https://www.scitepress.org/papers/2015/53702/53702.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2026.
- CAMBI, F. História da pedagogia. São Paulo: Unesp, 1999.
- CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C.; MOLISANI, E. O Arduino: uma nova ferramenta para habitação de laboratórios de ensino de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 4, p. 4503-1-4503-6, 2011.

- COELHO, K. R.; MACHADO, M. A. M. O ensino de acústica sob uma perspectiva musical e o uso de tubos sonoros. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 8, n. 1, 2015.
- D'AMBRÓSIO, U. Educação para a cidadania. São Paulo: Papirus, 2002.
- DEWEY, J. A escola e a sociedade. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1997.
- DEWEY, J. Como pensamos. São Paulo: Martins Fontes, 1976.
- DEWEY, J. Democracia e educação: uma introdução à filosofia da educação. São Paulo: Nacional, 1979.
- DEWEY, J. Experiência e educação. Petrópolis: Vozes, 2011.
- DEWEY, J. **Experiência e educação**. Tradução de Anísio Teixeira. Petrópolis: Vozes, 2004.
- EUROPEAN COMMISSION - DGXIII. Empowering users through assistive technology (EUSTAT). Bruxelas, 1998.
- FACHIN, O. **Fundamentos de metodologia**. 5. ed. São Paulo: Saraiva, 2006.
- FERNÁNDEZ-BATANERO, J. M.; MONTENEGRO-RUEDA, M.; FERNÁNDEZ-CERERO, J.; GARCÍA-MARTÍNEZ, I. Digital technologies for people with disabilities: a systematic review. *Educational Technology Research and Development*, v. 70, p. 1911–1940, 2022.
- FOREMAN, N; ORENCAS, C; NICHOLAS, E; MORTON, P; GELL, M. Spatial awareness in seven to 11-year-old physically handicapped children in mainstream schools. **European Journal of Special Needs Education**, [s.l.], v. 4, n. 3, p. 171–179, 1989.
- FORNAZA, D.; WEBBER, C. Robótica educacional e aprendizagem de Física: uma abordagem experimental. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 36, n. 3, p. 1–9, 2014.
- FREIRE, P. Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa. São Paulo: Paz e Terra, 1996.
- GAMBOA, S. S. A pesquisa como estratégia de inovação educativa: a formação continuada e os problemas da educação básica. **Revista Pedagógica: Revista do Programa de Pós-Graduação em Educação**, [S. l.], v. 15, n. 31, p. 265–280, 2013. Disponível em: <https://bell.unochapeco.edu.br/revistas/index.php/pedagogica/article/view/2339>. Acesso em: 6 jun. 2024.
- GEWANDSZNAJDER, F.; ALVES-MAZZOTTI, A. J. O método nas ciências naturais e sociais. São Paulo: Pioneira, 1998.
- GOLDENBERG, Mirian. **A arte de pesquisar: como fazer pesquisa qualitativa em Ciências Sociais**. 12. ed. Rio de Janeiro: Record, 2011.
- GOLDFIELD, E. C. **Emergent forms**: origins and early development of human action and perception. Oxford: Oxford University Press, 1995.
- HALLIDAY, D. *et al*; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física: eletromagnetismo**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física: mecânica**. v. 1. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física: óptica e física moderna**. v. 4. 12. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2023.
- HECHT, J. **Understanding fiber optics**. [s.l.]: Jeff Hecht, 2015.

- HEWITT, P. G. **Conceptual physics**. [s.l.]: Pearson Educación, 2002.
- HONNETH, A. **Luta por reconhecimento**: a gramática moral dos conflitos sociais. São Paulo: Editora 34, 2003.
- IBGE. – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2010**: características gerais da população, religião e pessoas com deficiência. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.
- LACUEVA, A. **Educar na diversidade**: desafios e perspectivas da educação inclusiva. Lisboa: Porto Editora, 1997.
- LÉVY, P. A conexão planetária. São Paulo: Editora 34, 2001.
- LIMA, J. A. de. **Tecnologia assistiva e inclusão**: o uso de sensores na educação especial. São Paulo: Editora Acadêmica, 2019.
- LUCKESI, C. C. **Avaliação da aprendizagem**: componente do ato pedagógico. São Paulo, 2011.
- LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. Pesquisa em educação: abordagens qualitativas. São Paulo: EPU, 1986.
- MANTOAN, M. T. E. Inclusão escolar: o que é? por quê? como fazer? São Paulo: Moderna, 2006.
- MANZINI, E. J. Tecnologia assistiva e inclusão escolar: recursos e estratégias. Campinas: Autores Associados, 2005.
- MAUERBERG-DECASTRO, E., Moraes, R., Paioli, C., Campos, C., Paula, A. I.; Palla, A. C. Efeitos da restrição visual e da complexidade de rotas em tarefas de orientação espacial em adultos portadores de deficiência mental. **Revista Motriz**, Rio Claro, 7, p. 17-22, 2001.
- MAUERBERG-DECASTRO, E.; Moraes, R. Parâmetros psicofísicos e biomecânicos da percepção háptica durante a locomoção em crianças. **Revista Brasileira de Psicologia**, Salvador, 15, 373-382, 2002.
- MONTEIRO JÚNIOR, F. N.; CARVALHO, R. G. Os conceitos de acústica e música nos livros didáticos de física do ensino médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 3, p. 605-628, 2011.
- OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. World report on vision. Geneva: WHO, 2018.
- PAPERT, S. A máquina das crianças: repensando a escola na era da informática. Porto Alegre: Artmed, 2008.
- PORTUGAL. Secretariado Nacional para a Reabilitação e Integração das Pessoas com Deficiência (SNRIPD). Relatório sobre ajudas técnicas. Lisboa, 2007.
- RABELO, R. **A robótica educacional e o ensino de física**: experiências em sala de aula. Fortaleza: UFC, 2016.
- REED, E. S. An outline of a theory of action systems. **Journal of Motor Behavior**, Estados Unidos, v. 14, p. 98–134, 1982.
- RILEY, M. A.; TURVEY, M. T. Inertial constraints on limb proprioception are independent of visual calibration. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, Washington, v. 27, n. 2, p. 438, 2001.

- RODRIGUES, P. R.; ALVES, L. R. G. Tecnologia assistiva: uma revisão do tema. **Holos**, Natal, v. 29, n. 6, p. 1–179, 2013. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1595>. Acesso em: 10 jun. 2024.
- ROSSETTI, Y.; REVOL, P.; PISSELLA, L.; RODE, G.; BOISSON, D.; VIGHETTO, A.; GILLET, P. Implicit processing of somaesthetic information: a dissociation between where and how? **NeuroReport**, v. 9, n. 12, p. 2691–2697, 1998.
- SANTOS, A. C. et al. Políticas públicas e inclusão de pessoas com deficiência visual. *Revista Brasileira de Educação Especial*, v. 21, n. 3, p. 281–296, 2015.
- SCHWARTZ, M. Haptic Perception of the Distance Walked When Blindfolded. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, v. 25, n. 3, p. 852–865, 1999.
- SILVA, F. M. et al. Desempenho físico-mecânico e acústico de compósitos cimentícios com materiais alternativos. *In*: CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA, 11.; CONGRESO IBÉRICO DE ACÚSTICA, 10.; CONGRESO ESPAÑOL DE ACÚSTICA (TECNIACÚSTICA), 49., 2018, Cádiz, Espanha. **Anais [...]**. Cádiz: Sociedad Española de Acústica, 2018. Disponível em: https://documentacion.sea-acustica.es/publicaciones/Cadiz18/AED-0_005.pdf. Acesso em: 14 jul. 2024.
- SONZA, A. P. et al. Tecnologia assistiva: práticas e contextos de aplicação. Porto Alegre: UFRGS, 2013.
- SRINIVASAN, M. A.; BASDOGAN, C. Haptics in virtual environments: taxonomy, research status, and challenges. *Computers & Graphics*, v. 21, n. 4, p. 393–404, 1997.
- STOFFREGEN, T. A.; Riccio, G. E. An ecological theory of orientation and the vestibular system. **Psychological Review**, 1, p. 3-14, 1988.
- THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**. 18. ed. São Paulo: Cortez, 2011.
- THOMPSON, J. B. A mídia e a modernidade: a teoria social da mídia. Petrópolis: Vozes, 2002.
- TIPLER, P. A.; MOSCA, G. *Physics for scientists and engineers*. New York: Macmillan, 2007.
- VALENTE, J. A. Tecnologia no ensino: o foco na aprendizagem. Campinas: Unicamp/NIED, 2003.
- VERGARA-NUNES, E. Audiodescrição didática. 2016. 412 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: <http://btd.egc.ufsc.br/wp-content/uploads/2016/05/Elton-Vergara-Nunes.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2024.
- WALLON, H. A evolução psicológica da criança. São Paulo: Martins Fontes, 2007.
- WILSON, Paul N.; FOREMAN, Nigel; GILLET, Raphael; STANTON, Danaë. Active versus passive processing of spatial information in a computer-simulated environment. **Ecological Psychology**, v. 9, n. 3, p. 207–222, 1997.
- WINTER, C. G. et al. A role for ciliary neurotrophic factor as an inducer of reactive gliosis, the glial response to central nervous system injury. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 92, n. 13, p. 5865–5869, 1995.
- ZITKUS, E.; BRIGATTO, Aline; FERRARI, Ana Lya; BONFIM, Gabriel; CARVALHO FILHO, Idinei Francisco; REIS, Thaís; MEDOLA, Fausto; PASCHOARELLI, Luis. Accessibility and usability of websites intended for people with disabilities: a preliminary

study. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE OF DESIGN, USER EXPERIENCE, AND USABILITY**, *Proceedings...* Cham: Springer, 2016. v. 9747, p. 678–688, 2016.

ZÔMPERO, A. F.; LABURÚ, C. E. Atividades investigativas no ensino de Ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens. *Revista Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 13, n. 3, p. 67-80, 2011.

APÊNDICE A – ELETRÔNICA E TECNOLOGIA DE SENSORES

Podemos definir a palavra sensor como “aquilo que sente”. Na eletrônica, um sensor é conhecido como qualquer componente ou circuito eletrônico que permita a análise de uma determinada condição do ambiente, podendo ela ser algo simples como temperatura ou luminosidade; uma medida um pouco mais complexa como a rotação de um motor ou a distância de um carro até algum obstáculo próximo ou até mesmo eventos distantes do nosso cotidiano, como a detecção de partículas subatômicas e radiações cósmicas.

Os sensores podem ser classificados como um tipo de transdutor. Um transdutor é um componente que transforma um tipo de energia em outro. Um motor, por exemplo, é um tipo de transdutor, pois converte energia química ou elétrica em energia mecânica. Um alto-falante também é um transdutor, já que ele transforma energia elétrica em som. Porém, um sensor pode ser definido como um transdutor específico, que transforma algum tipo de energia (luz, calor, movimento) em energia elétrica, utilizada para a leitura de alguma condição ou característica do ambiente.

O desenvolvimento de sensores e a sua aplicação trouxe como consequência inúmeras vantagens ou comodidades para a vida moderna. Desde a possibilidade de aumentar a eficiência no funcionamento de um motor ou de uma linha de produção, realizar uma pesquisa científica com maior precisão e em menor tempo, até o fato de poder estacionar o carro sem o perigo de batê-lo ou de ter a segurança de que qualquer tentativa de furto de sua casa poderá ser frustrada, tais são as vantagens oferecidas pelo uso de sensores. Apesar de ser imensa a variedade de sensores eletrônicos, podemos dividi-los basicamente em dois tipos: sensores analógicos e sensores digitais. Essa divisão é feita de acordo com a forma a qual o componente responde à variação da condição. Os sensores analógicos são os dispositivos mais comuns. Tais sensores são assim designados pois baseiam-se em sinais analógicos.

Sinais analógicos são aqueles que, mesmo limitados entre dois valores de tensão, podem assumir infinitos valores intermediários. Isso significa que, pelo menos teoricamente, para cada nível da condição medida, haverá um nível de tensão correspondente. Por exemplo, quando um LDR, um dispositivo cuja resistência varia de acordo com a luminosidade, é submetido a uma luz cada vez mais intensa, pode-se verificar que sua resistência diminuirá gradativamente. Utilizando um circuito divisor de tensão, podemos fazer com que através dessa variação da resistência, haja uma variação na tensão.

Já os sensores digitais baseiam-se em níveis de tensão bem definidos. Tais níveis de tensão podem ser descritos como alto (*high*) ou baixo (*low*), ou simplesmente “1” e “0”. Ou seja, esses sensores utilizam lógica binária, que é a base do funcionamento dos sistemas digitais.

Ao contrário de um sensor analógico, em que os valores possíveis são teoricamente infinitos, um sensor digital poderá apenas alternar entre certos estados bem definidos, não sendo possível haver um valor intermediário entre eles. Um par óptico, constituído por um emissor e receptor de infravermelho, é um exemplo de um sensor digital simples, onde apenas dois estados são possíveis. Se o feixe de infravermelho atinge o receptor, teremos um nível de tensão baixo. Quando algo bloqueia o caminho do feixe, temos um nível de tensão alto. Não há um nível de tensão intermediário entre ambos.

Existem, porém, sensores digitais mais complexos. Enquanto que um sensor digital simples apenas indica se está acionado ou não, os modelos mais complexos podem alternar entre várias respostas distintas respondendo de forma mais elaborada, enviando valores binários mais complexos. Eles comunicam-se com outros sistemas de forma mais complexa, podendo enviar informações como temperatura ou aceleração, por exemplo.

Como já foi explicado anteriormente, os sensores analógicos são aqueles que respondem através de sinais analógicos, ou seja, sinais que, mesmo limitados em uma certa faixa, podem variar entre inúmeros valores de tensão intermediários. Num sensor analógico “ideal”, para a variação de uma determinada condição, haverá uma variação na mesma proporção de alguma de suas propriedades, como tensão ou resistência.

Os sensores “reais”, porém, estão sujeitos a influências de diversos tipos e possuem certas limitações ao seu funcionamento, não funcionando de forma tão perfeita. Fatores como a temperatura e a umidade do ambiente podem gerar certos erros de medida e os materiais utilizados em sua construção limitam a sensibilidade e a faixa de operação do componente. Poderemos notar que grande parte dos sensores são analógicos, pois quase todos os parâmetros que serão medidos também o são.

A luminosidade de um ambiente, por exemplo, pode assumir infinitos valores entre a luz intensa e a escuridão total. A velocidade de um objeto, mesmo estando limitada entre o 0 e a velocidade da luz, pode assumir qualquer valor intermediário. A utilização desses sensores num circuito analógico é realizada sem problemas, porém, quando for necessário monitorá-lo através de algum circuito digital, como um microcontrolador ou um computador, esses sinais deverão ser convertidos num sinal digital equivalente. Isso porque o funcionamento desses sistemas baseia-se em sinais digitais, que podem ser gravados e processados muito mais facilmente do que os analógicos. Tal conversão será melhor detalhada ao descrevermos a conexão desses sensores ao kit proposto como recurso educacional nesta pesquisa. Podemos classificar os sensores analógicos de acordo com o modo que respondem às variações. Tal resposta deverá ser na forma da variação de alguma propriedade elétrica, como resistência, tensão, capacitância, dentre outros.

Os sensores resistivos são aqueles que em circuitos comportam-se como resistores, mas, devido a certas propriedades físicas ou químicas, variam o valor de sua resistência de acordo com certas características, como luminosidade ou temperatura. Esses são os modelos mais comuns, dentre os quais podemos destacar o LDR, o termistor, o sensor de peso e o potenciômetro. Já os sensores piezoelétricos, como alguns tipos de microfone e o sensor de vibração, respondem com uma variação na tensão. Esses sensores são feitos com materiais que, quando submetidos a certas pressões ou vibrações, geram uma tensão.

Existem também sensores capacitivos, em que a variação de determinada condição ocasiona uma variação na capacitância do componente. Essa variação na capacitância pode ocasionar a mudança da tensão ou da frequência do sinal de saída do sensor. Dentre eles, podemos destacar o acelerômetro e o sensor de umidade. Além desses sensores, existem também alguns cujo funcionamento é um pouco mais complexo, pois baseiam-se em outras propriedades e possuem circuitos internos específicos para gerar um sinal de saída adequado. Dentre eles, podemos citar o sensor de distância e o sensor de temperatura LM60. Tais sensores utilizam circuitos integrados para realizar a leitura, mas sua resposta é em forma de um sinal analógico.

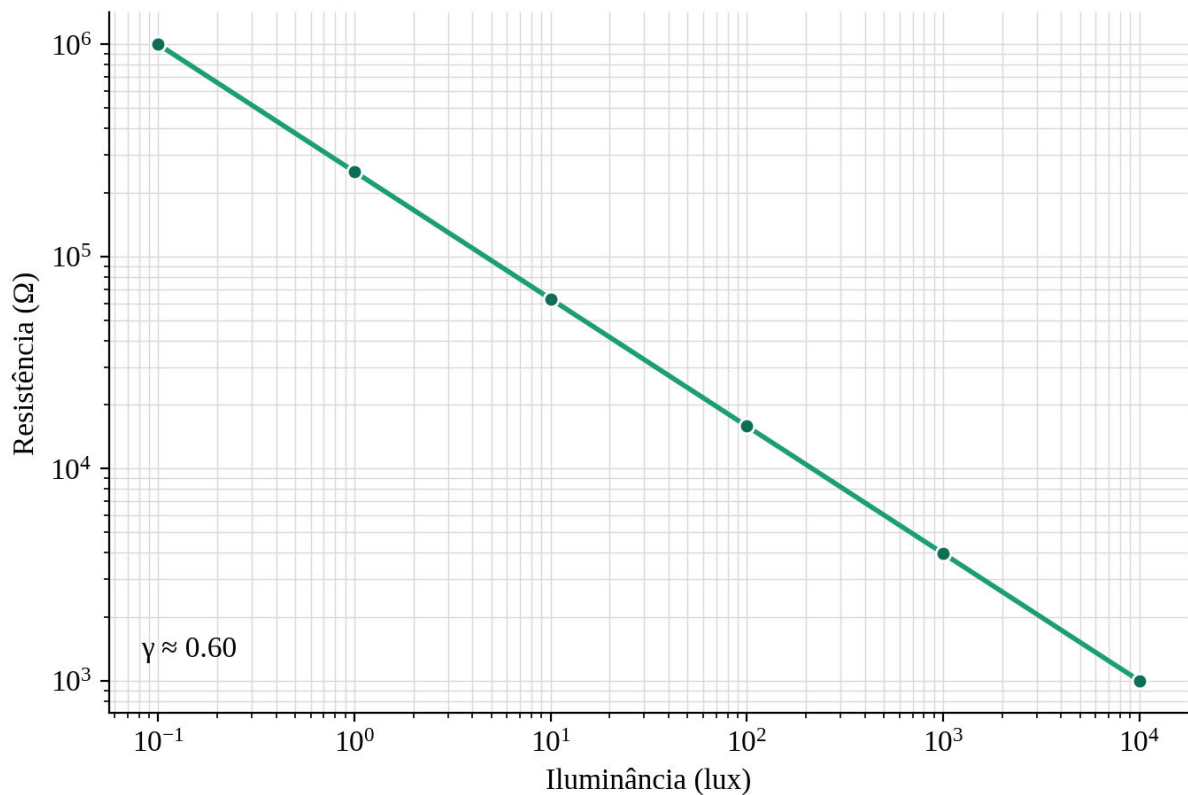
A partir de agora, detalharemos os sensores analógicos, mostrando o seu funcionamento, aplicações e explicando como eles podem ser utilizados. O exemplo mais comum de sensor resistivo é o LDR (*Light Dependent Resistor* – Resistor Dependente de Luz), um componente onde uma variação na luminosidade que incide sobre ele resulta numa variação na sua resistência. A aplicação mais conhecida do LDR é, sem dúvida, na iluminação pública, onde ele é utilizado para que, de acordo com a claridade do ambiente, sejam acionadas ou desligadas as lâmpadas automaticamente, sem que haja a necessidade de alguém para controlá-las.

Os LDRs são também utilizados em câmeras para medir o nível de luz do ambiente, permitindo assim o controle do tempo de exposição para a captura de uma boa imagem. Utilizações menos usuais desses componentes foram em mísseis que seguem o calor emanado pelos aviões e em detectores de radiação infravermelha para pesquisas astronômicas. O LDR não tem pinagem, ou seja, podemos ligar seus terminais de qualquer forma.

Os LDRs são compostos por sulfeto de cádmio (CdS), um material semicondutor, que é disposto num traçado ondulado na superfície do componente. Esse material tem a propriedade de diminuir sua resistência à passagem da corrente elétrica quando a luminosidade sobre ele aumenta. Com o auxílio de um multímetro, podemos verificar facilmente como ocorre esse fato. Num ambiente escuro, sua resistência será alta, podendo chegar a valores altos, próximos ou até superiores a 1 M Ω . Mas se aumentarmos gradativamente a intensidade da luz que incide sobre ele, podemos verificar que sua resistência cairá, podendo chegar a valores próximos de 1

k Ω . Esses valores, no entanto, dependem de vários fatores, como o componente utilizado, a quantidade de luz no ambiente e o próprio multímetro. Podemos verificar abaixo o gráfico de resposta do LDR.

Figura: Curva de resposta do LDR.



Para fazer a medida da luminosidade do ambiente através do LDR, precisamos fazer com que a variação da resistência do componente seja convertida numa variação de tensão. Essa tensão pode ser utilizada por um circuito externo ou ser monitorada através da entrada analógica do MEC1000 ou do KDR5000, por exemplo. O meio mais fácil de conectá-lo é através de um divisor de tensão.

Como o LDR é um sensor resistivo, podemos substituir um dos resistores do divisor de tensão por este componente. No esquema acima, substituindo R2 por um LDR, temos um circuito cuja tensão aumenta de acordo com a luminosidade do ambiente. Podemos verificar isso na fórmula acima. Quando a quantidade de luz que incide sobre o LDR cresce, sua resistência cai, fazendo com que o valor de V_r aumente. No lugar de R1, recomendamos colocar um resistor cujo valor fique entre os valores máximo e mínimo do LDR. Podemos também trocá-lo por outros valores, observando sua influência no valor de saída do divisor de tensão.

É possível também trocar a posição do LDR, colocando-o no lugar do R1. Nesse caso, teremos um circuito cujo funcionamento é contrário ao mostrado acima. O valor da tensão V_r aumentará quando a luminosidade do ambiente diminui. Na fórmula do divisor de tensão, podemos notar que, quanto menor o valor de R1, menor será o valor de V_r .

A tensão presente no ponto entre o LDR e o resistor pode servir de referência para um outro circuito, como um Amplificador Operacional montado na configuração de comparador ou um oscilador 555. Também podemos monitorá-la através do MEC1000 ou do KDR5000, ao conectá-la a uma entrada analógica. Podemos criar um circuito de iluminação automática, utilizando um LDR e um Amplificador Operacional comparador. Um AmpOp ligado dessa forma compara a tensão das duas entradas, positiva e negativa. Quando a tensão da entrada positiva for superior à da entrada negativa, encontraremos na saída do AmpOp a tensão de alimentação do circuito. Se a tensão da entrada negativa for superior à da entrada positiva, acontecerá o contrário, ou seja, na saída do AmpOp encontraremos uma tensão de 0 V. É interessante notar que qualquer AmpOp pode ser utilizado com essa finalidade.

APÊNDICE B – PROGRAMAÇÃO DA LUVA

```
const int trigPin = 12;
const int echoPin = 11;
const int vibra   = 8;
const int ledPin  = 13;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);
  pinMode(vibra, OUTPUT);
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
}

void loop() {
  // Disparo do ultrassônico
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);

  unsigned long duracao = pulseIn(echoPin, HIGH);
  int distancia = duracao / 58;

  Serial.print("Distancia em CM: ");
  Serial.println(distancia);

  // DISTÂNCIA MENOR OU IGUAL A 5 CM → LIGA CONTÍNUO
  if (distancia <= 5) {
    digitalWrite(vibra, HIGH);
    digitalWrite(ledPin, HIGH);
  }

  // DISTÂNCIA ENTRE 6 E 20 CM → PISCA
  else if (distancia <= 20) {
    digitalWrite(vibra, HIGH);
    digitalWrite(ledPin, HIGH);
    delay(100);

    digitalWrite(vibra, LOW);
    digitalWrite(ledPin, LOW);
    delay(1000);
  }

  // MAIOR QUE 20 CM → DESLIGADO
  else {
    digitalWrite(vibra, LOW);
    digitalWrite(ledPin, LOW);
  }
}
```

```
}  
}
```

Notas sobre o código

- `pulseIn` tem `timeout`; ajustar se necessário.
- Para búmer passivo use `tone (buzzerPin, freq)` e `noTone (buzzerPin)` para controlar frequência.
- Inclua filtro de leituras (média móvel) se houver muita variação de `pulseIn`.
- Registrar leituras em `Serial` facilita calibração durante oficina.

APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DA PRÁTICA DE ROBÓTICA

Prezados estudantes,

Este questionário tem como objetivo avaliar a experiência de aprendizagem durante as aulas práticas de Física e a construção da luva sensorial. Suas respostas são fundamentais para compreender o impacto da atividade no aprendizado, engajamento e inclusão de todos os participantes.

As informações fornecidas serão tratadas de forma confidencial e utilizadas apenas para fins acadêmicos. Pedimos que respondam com sinceridade, considerando suas percepções e experiências pessoais.

Questões

1. O aprendizado dos conteúdos de Física por meio da construção da luva sensorial foi significativo ou não significativo?
2. O engajamento e o comprometimento dos estudantes durante as atividades foram positivos?
3. A luva, como ferramenta didática, teve boa aceitação por parte dos estudantes?
4. Os estudantes com deficiência sentiram-se incluídos na pesquisa?
5. A construção da luva sensorial como atividade prática de Física foi bem avaliada pelos estudantes?
6. As aulas práticas de Física e a construção da luva sensorial contribuíram para o interesse na escolha de cursos na área de tecnologia?
7. Quanto à participação dos estudantes com deficiência audiovisual, como ocorreu a participação deles?

APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO DE SATISFAÇÃO DO USO DE TECNOLOGIA ASSISTIVA E ROBÓTICA

Escala de Respostas:

- 1 – Discordo totalmente
- 2 – Discordo parcialmente
- 3 – Neutro
- 4 – Concordo parcialmente
- 5 – Concordo totalmente

Seção A – Percepções sobre o uso de tecnologia assistiva e robótica no ensino de Física

1. O uso de tecnologia assistiva facilita minha compreensão dos conteúdos de Física.
 - ☐ 1 – Discordo totalmente
 - ☐ 2 – Discordo parcialmente
 - ☐ 3 – Neutro
 - ☐ 4 – Concordo parcialmente
 - ☐ 5 – Concordo totalmente
2. A aplicação da robótica no ensino torna as aulas de Física mais interessantes.
 - ☐ 1 – Discordo totalmente
 - ☐ 2 – Discordo parcialmente
 - ☐ 3 – Neutro
 - ☐ 4 – Concordo parcialmente
 - ☐ 5 – Concordo totalmente
3. A tecnologia contribui para tornar os conteúdos mais acessíveis a estudantes com diferentes necessidades.
 - ☐ 1 – Discordo totalmente
 - ☐ 2 – Discordo parcialmente
 - ☐ 3 – Neutro
 - ☐ 4 – Concordo parcialmente
 - ☐ 5 – Concordo totalmente
4. O uso de recursos tecnológicos estimula minha participação nas aulas de Física.
 - ☐ 1 – Discordo totalmente
 - ☐ 2 – Discordo parcialmente
 - ☐ 3 – Neutro
 - ☐ 4 – Concordo parcialmente
 - ☐ 5 – Concordo totalmente
5. A aprendizagem de Física se torna mais significativa quando utilizamos ferramentas práticas, como a robótica.
 - ☐ 1 – Discordo totalmente
 - ☐ 2 – Discordo parcialmente
 - ☐ 3 – Neutro
 - ☐ 4 – Concordo parcialmente
 - ☐ 5 – Concordo totalmente

Seção B – Aplicações didáticas e inclusão

8. A tecnologia assistiva promove maior inclusão nas aulas de Física.
- ☐ 1 – Discordo totalmente
 - ☐ 2 – Discordo parcialmente
 - ☐ 3 – Neutro
 - ☐ 4 – Concordo parcialmente
 - ☐ 5 – Concordo totalmente
9. Os recursos tecnológicos favorecem a integração de alunos com deficiência ao conteúdo de Física.
- ☐ 1 – Discordo totalmente
 - ☐ 2 – Discordo parcialmente
 - ☐ 3 – Neutro
 - ☐ 4 – Concordo parcialmente
 - ☐ 5 – Concordo totalmente
10. A instituição de ensino está preparada para oferecer aulas utilizando tecnologia assistiva.
- ☐ 1 – Discordo totalmente
 - ☐ 2 – Discordo parcialmente
 - ☐ 3 – Neutro
 - ☐ 4 – Concordo parcialmente
 - ☐ 5 – Concordo totalmente
11. A robótica contribui para uma abordagem mais prática e concreta dos conceitos de Física.
- ☐ 1 – Discordo totalmente
 - ☐ 2 – Discordo parcialmente
 - ☐ 3 – Neutro
 - ☐ 4 – Concordo parcialmente
 - ☐ 5 – Concordo totalmente
12. O professor utiliza adequadamente os recursos tecnológicos para tornar as aulas acessíveis a todos.
- ☐ 1 – Discordo totalmente
 - ☐ 2 – Discordo parcialmente
 - ☐ 3 – Neutro
 - ☐ 4 – Concordo parcialmente
 - ☐ 5 – Concordo totalmente

Seção C – Envolvimento e desenvolvimento pessoal

13. Sinto-me mais motivado(a) a estudar Física com o uso de robótica e tecnologia assistiva.
- ☐ 1 – Discordo totalmente
 - ☐ 2 – Discordo parcialmente
 - ☐ 3 – Neutro
 - ☐ 4 – Concordo parcialmente
 - ☐ 5 – Concordo totalmente
14. As atividades com robótica auxiliam no desenvolvimento do meu raciocínio lógico.
- ☐ 1 – Discordo totalmente
 - ☐ 2 – Discordo parcialmente

- ☐ 3 – Neutro
 - ☐ 4 – Concordo parcialmente
 - ☐ 5 – Concordo totalmente
15. O uso de tecnologia favorece maior colaboração entre os colegas.
- ☐ 1 – Discordo totalmente
 - ☐ 2 – Discordo parcialmente
 - ☐ 3 – Neutro
 - ☐ 4 – Concordo parcialmente
 - ☐ 5 – Concordo totalmente
16. Aprender Física com tecnologia proporciona maior autonomia nos meus estudos.
- ☐ 1 – Discordo totalmente
 - ☐ 2 – Discordo parcialmente
 - ☐ 3 – Neutro
 - ☐ 4 – Concordo parcialmente
 - ☐ 5 – Concordo totalmente
17. Pretendo aprofundar meus conhecimentos em Física utilizando recursos tecnológicos.
- ☐ 1 – Discordo totalmente
 - ☐ 2 – Discordo parcialmente
 - ☐ 3 – Neutro
 - ☐ 4 – Concordo parcialmente
 - ☐ 5 – Concordo totalmente

APÊNDICE E – PRODUTO EDUCACIONAL



MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA EM REDE NACIONAL
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

MANOEL ANTÔNIO TEIXEIRA JUNIOR

CIÊNCIA, INCLUSÃO E MOVIMENTO: uma oficina de robótica educacional e tecnologia assistiva para o ensino de física na educação profissional e tecnológica

São Luís – MA

2026

APRESENTAÇÃO

Prezado(a) professor(a),

O presente Produto Educacional é resultado da dissertação intitulada "Tecnologia Assistiva e Prática Pedagógica de John Dewey: uma abordagem integrada para a mobilidade de pessoas com deficiência visual" (Teixeira Jr., 2025), desenvolvida no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física em Rede Nacional (PROFIS) da Universidade Federal do Maranhão (UFMA).

Trata-se de uma proposta metodológica inovadora que integra robótica educacional, Física e inclusão, ancorada na filosofia educacional de John Dewey e nos princípios estruturantes da Educação Profissional e Tecnológica (EPT): trabalho, ciência, tecnologia e cultura.

A ideia central deste produto é promover a aprendizagem por meio da experiência, da ação e da reflexão, aproximando o conhecimento científico das necessidades concretas da sociedade contemporânea, especialmente no que diz respeito à acessibilidade e à inclusão de pessoas com deficiência visual.

Por que este produto educacional é necessário?

Vivemos em uma época marcada por avanços tecnológicos extraordinários, mas também por desafios educacionais profundos. O ensino de Física, em particular, enfrenta dificuldades relacionadas ao distanciamento entre teoria e prática, à baixa motivação dos estudantes e à escassez de metodologias que conectem o conhecimento científico às questões sociais relevantes.

Paralelamente, a inclusão de pessoas com deficiência permanece como uma pauta urgente e necessária. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), milhões de brasileiros convivem com algum tipo de deficiência visual, enfrentando barreiras significativas em sua mobilidade e autonomia. A tecnologia assistiva surge, nesse contexto, como um campo promissor para a criação de soluções que ampliem a independência e a qualidade de vida dessas pessoas.

Este produto educacional nasce da confluência dessas duas realidades: a necessidade de renovar o ensino de Física e o compromisso social com a inclusão. Ao unir robótica educacional e tecnologia assistiva, a proposta oferece aos estudantes uma experiência de aprendizagem significativa, contextualizada e transformadora.

O que diferencia esta proposta?

Sob a perspectiva de John Dewey, a educação deve ser um processo ativo, no qual o estudante aprende fazendo, refletindo e conectando o conhecimento à vida real. Inspirado nessa filosofia, o produto "Ciência, Inclusão e Movimento" assume o desafio de tornar o ensino de Física

mais dinâmico, contextualizado e socialmente relevante, estimulando o protagonismo dos estudantes por meio de práticas experimentais mediadas pela tecnologia.

A robótica educacional é utilizada como instrumento de mediação entre o saber teórico e o saber prático, promovendo a construção de significados a partir da resolução de problemas reais. Ao mesmo tempo, a metodologia se fundamenta no construcionismo de Seymour Papert (1980), abordagem que valoriza a aprendizagem por meio da criação de artefatos tangíveis e significativos.

A oficina: "Ciência, Inclusão e Movimento"

A oficina que compõe este produto educacional materializa esse propósito ao propor a construção de uma luva sensorial voltada à mobilidade de pessoas com deficiência visual. Utilizando kits de robótica Arduino, sensores ultrassônicos e buzzers, os estudantes são convidados a explorar conceitos fundamentais de eletricidade, acústica e ondas, aplicando-os na criação de um protótipo funcional.

O processo de aprendizagem é pautado em metodologias ativas e no trabalho colaborativo, favorecendo o desenvolvimento de competências cognitivas, técnicas e socioemocionais, como empatia, cooperação, autonomia e responsabilidade social.

Ao longo da oficina, os participantes:

- Compreendem os princípios físicos que regem o funcionamento de sensores e atuadores;
- Desenvolvem habilidades de programação e pensamento computacional;
- Experimentam o processo de design e prototipagem tecnológica;
- Refletem criticamente sobre inclusão, acessibilidade e o papel social da ciência;
- Trabalham em equipe para resolver desafios práticos e testar suas criações.

Para quem é destinado?

Este produto foi concebido prioritariamente para estudantes do ensino médio técnico integrado, especialmente dos cursos de Informática, Robótica Educacional e áreas afins, inseridos no contexto da Educação Profissional e Tecnológica (EPT). Contudo, sua estrutura flexível e modular permite a aplicação em diferentes contextos educacionais, incluindo escolas públicas de ensino médio, institutos federais, feiras de ciências e projetos de extensão universitária.

Professores de Física, Robótica, Informática e demais áreas que buscam metodologias inovadoras e inclusivas encontrarão neste material uma proposta pedagogicamente fundamentada, prática e replicável.

Coerência com as diretrizes da CAPES e da EPT

O produto foi desenvolvido em conformidade com as diretrizes da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) para Produtos Educacionais, privilegiando a aplicabilidade prática, a pertinência social e a coerência teórico-metodológica.

O enfoque interdisciplinar adotado permite articular as dimensões científica, tecnológica e humanística do ensino, estimulando a formação integral do estudante e o uso pedagógico das tecnologias de forma crítica e criativa. A proposta dialoga diretamente com os eixos estruturantes da EPT — trabalho, ciência, tecnologia e cultura — promovendo uma educação que prepara o jovem não apenas para o mercado de trabalho, mas para a vida em sociedade, para o exercício da cidadania e para a transformação social.

Uma educação que transforma

Sua aplicação é indicada para turmas do ensino médio técnico, especialmente nas redes públicas de educação, podendo ser adaptada a diferentes contextos formativos, laboratórios e realidades escolares.

Convidamos você, educador ou educadora, a experimentar esta proposta, adaptá-la à sua realidade e compartilhar os resultados alcançados. Acreditamos que, juntos, podemos fazer da educação um espaço de inovação, inclusão e esperança.

Boas práticas e ótimas descobertas!

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Estrutura Geral da Oficina.....	23
Quadro 2 – Conteúdos de Física essenciais para a construção	25
Quadro 3 – Estrutura do código a ser utilizado	26
Quadro 4 – Instrumentos de Avaliação.....	27
Quadro 5- Rubrica de avaliação para a oficina “Ciência, Inclusão e Movimento”, contemplando critérios conceituais, técnicos, colaborativos e socioéticos referentes à construção e aplicação da luva sensorial.....	32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	4
1.1	Pressupostos Epistemológicos e Pedagógicos.....	5
1.2	A Robótica Educacional como Mediação Didática	8
1.3	Alinhamento com Diretrizes Curriculares Nacionais.....	8
1.4	Estrutura e Organização do Produto Educacional.....	9
1.5	Considerações Iniciais	10
2	FUNDAMENTOS DE FÍSICA APLICADOS À CONSTRUÇÃO DA LUVA SENSORIAL.....	11
2.1	Circuitos Elétricos e Eletrônica Básica	11
2.2	Ondas Mecânicas e o Funcionamento do Sensor Ultrassônico HC-SR04	11
2.3	Acústica Aplicada ao Buzzer Ativo	12
2.4	Propagação de Sinais, Tempo de Resposta e Controle Eletrônico	13
2.5	Síntese Física do Funcionamento da Luva Sensorial.....	13
3	PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DA LUVA SENSORIAL	15
3.1	Público alvo e contexto de uso	15
3.2	Materiais e ferramentas (por protótipo / por grupo)	15
3.3	Esquema elétrico e conexão (descrição técnica)	16
3.4	Software: sketch Arduino (exemplo comentado).....	17
3.5	Montagem física da luva (passo-a-passo).....	19
3.6	Sequência didática e roteiro de aplicação (4 encontros — sugestão).....	20
3.7	Estratégias pedagógicas e exploração conceitual.....	20
3.8	Calibração, testes e validação com usuários	21
3.9	Segurança e ética	21
3.10	Adaptações e extensões.....	21
3.11	Problemas comuns e soluções (troubleshooting).....	22
3.12	Instrumentos de avaliação sugeridos (resumo).....	22
4	METODOLOGIA.....	23
4.1	Organização geral da proposta.....	23
4.2	Quadro geral da oficina.....	23
4.3	Etapa 1 – sensibilização e diagnóstico	23
4.4	Etapa 2 – construção da luva sensorial.....	24
4.5	Etapa 3 – avaliação, reflexão e síntese	27
4.6	Orientações finais ao professor	28
5	ESTRATÉGIAS DE AVALIAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL.....	29

5.1 Avaliação Diagnóstica	29
5.2 Avaliação Formativa	29
5.3 Avaliação Somativa	30
5.4 Instrumentos de Avaliação (síntese)	31
5.5 Rubrica de Avaliação (modelo geral)	32
Fonte: Autoria própria.	32
5.6 Síntese Analítica	32
6 Considerações Finais	33
BIBLIOGRAFIA.....	35

1 INTRODUÇÃO

A educação científica contemporânea enfrenta o desafio de ressignificar suas práticas pedagógicas diante das transformações tecnológicas, sociais e epistemológicas que caracterizam o século XXI. No campo específico do ensino de Física, observa-se uma tensão persistente entre os modelos tradicionais de transmissão do conhecimento, centrados na exposição de conteúdos formalizados e na resolução algorítmica de problemas, e as demandas por abordagens que privilegiem a contextualização, a experimentação e a formação integral dos estudantes (MORAN, 2018; VALENTE, 2005).

Essa tensão se manifesta de modo particularmente agudo na Educação Profissional e Tecnológica (EPT), modalidade que articula os eixos estruturantes do trabalho, da ciência, da tecnologia e da cultura, propondo uma formação que transcenda a mera instrumentalização técnica e promova o desenvolvimento de competências cognitivas, socioemocionais e ético-políticas. A EPT situa-se, portanto, como espaço privilegiado para a experimentação de metodologias ativas que integrem teoria e prática, saber científico e saber tecnológico, competência técnica e consciência social.

Paralelamente a esses desafios educacionais, a sociedade brasileira convive com profundas desigualdades no acesso aos direitos fundamentais, entre eles o direito à mobilidade autônoma e à participação plena na vida social. Dados do Censo Demográfico de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) indicam que aproximadamente 6,5 milhões de brasileiros apresentam algum grau de deficiência visual, dos quais 582 mil são completamente cegos. Esse contingente populacional enfrenta barreiras arquitetônicas, comunicacionais, atitudinais e tecnológicas que limitam significativamente sua autonomia, sua inclusão social e o exercício pleno de sua cidadania.

A tecnologia assistiva (TA) emerge, nesse contexto, como campo interdisciplinar de pesquisa, desenvolvimento e aplicação de recursos e estratégias destinadas a promover a funcionalidade, a independência e a qualidade de vida de pessoas com deficiência. Segundo o Comitê de Ajudas Técnicas da Secretaria Especial dos Direitos Humanos (BRASIL, 2007), a TA compreende produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade relacionada à atividade e à participação de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social.

No âmbito educacional, a TA assume dupla função: por um lado, constitui objeto de estudo e experimentação, permitindo que estudantes compreendam os princípios científicos e tecnológicos que fundamentam os dispositivos assistivos; por outro, representa uma dimensão

ético-política da formação, ao sensibilizar os educandos para as questões de acessibilidade, diversidade e justiça social (BRASIL, 2008).

É precisamente na intersecção entre educação científica, tecnologia assistiva e inclusão social que se situa a proposta deste produto educacional. Trata-se de uma oficina pedagógica estruturada em torno da construção de um dispositivo de auxílio à mobilidade de pessoas com deficiência visual, uma luva sensorial equipada com sensor ultrassônico e buzzer, controlados por um microcontrolador Arduino. A atividade foi desenvolvida como uma estratégia de ensino e aprendizagem de conceitos fundamentais da Física em um contexto interdisciplinar, prático e socialmente significativo.

1.1 Pressupostos Epistemológicos e Pedagógicos

A concepção pedagógica que fundamenta este produto educacional ancora-se em três referenciais teóricos complementares e articulados: o pragmatismo educacional de John Dewey, o construcionismo de Seymour Papert e os princípios da tecnologia assistiva conforme estabelecidos nas políticas públicas brasileiras de educação inclusiva.

1.1.1 O Pragmatismo Educacional de John Dewey

John Dewey (1859-1952), filósofo e pedagogo norte-americano, desenvolveu uma teoria educacional fundamentada na concepção de que o conhecimento emerge da experiência reflexiva, entendida como processo contínuo de interação entre o organismo e seu ambiente. Em suas obras seminais *Democracy and Education* (1916) e *Experience and Education* (1938), Dewey propõe uma ruptura com os modelos educacionais dualistas que separam mente e corpo, teoria e prática, escola e sociedade.

Para Dewey (2011), a aprendizagem genuína ocorre quando o estudante é colocado diante de situações problemáticas autênticas, que demandam investigação ativa, formulação de hipóteses, experimentação e reflexão sobre os resultados obtidos. Nessa perspectiva, o conhecimento não é uma entidade abstrata a ser transmitida verticalmente do professor ao aluno, mas uma construção dinâmica que se desenvolve pela ação intencional, pela colaboração social e pela reflexão crítica sobre a experiência vivida.

O método experimental defendido por Dewey (2007) constitui, portanto, não apenas uma técnica didática, mas uma filosofia educacional que situa o educando como protagonista ativo do processo de aprendizagem. A educação, nesse sentido, assume função social transformadora, preparando os indivíduos para a participação democrática, o pensamento crítico e a resolução cooperativa de problemas sociais.

No contexto deste produto educacional, os princípios de Dewey se materializam na proposta de uma oficina estruturada em torno de um problema real, como auxiliar a mobilidade de pessoas com deficiência visual, que mobiliza conhecimentos científicos, habilidades técnicas e valores éticos. Os estudantes não são meros receptores de informações sobre eletricidade, ondas sonoras ou sensores ultrassônicos, mas investigadores ativos que exploram esses fenômenos, aplicam seus conhecimentos na construção de um artefato tecnológico e refletem criticamente sobre suas implicações sociais.

1.1.2 O Construcionismo de Seymour Papert

Seymour Papert (1928-2016), matemático, cientista da computação e educador sul-africano, desenvolveu o construcionismo como teoria de aprendizagem que amplia e ressignifica o construtivismo piagetiano ao incorporar as tecnologias digitais como mediadores cognitivos privilegiados. Em sua obra fundamental *Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas* (1980), Papert defende que a aprendizagem se torna mais profunda, duradoura e significativa quando os estudantes estão engajados na construção de artefatos tangíveis, compartilháveis e socialmente relevantes.

O construcionismo papertiano se fundamenta em dois princípios epistemológicos centrais: primeiro, a ideia de que o conhecimento é construído ativamente pelo sujeito em interação com seu ambiente físico, social e cultural; segundo, a convicção de que essa construção se potencializa quando o aprendiz está envolvido na criação consciente e intencional de produtos externos que possam ser exibidos, discutidos, examinados e admirados (PAPERT; HAREL, 1991).

A robótica educacional, nesse contexto, não constitui mero recurso didático ou ferramenta de motivação extrínseca, mas ambiente de aprendizagem privilegiado para o desenvolvimento do pensamento computacional, do raciocínio lógico-matemático, da criatividade e da capacidade de resolução de problemas complexos. Ao programar um microcontrolador, montar circuitos eletrônicos, testar sensores e depurar códigos, os estudantes vivenciam o método científico de forma autêntica, enfrentam desafios cognitivos genuínos e desenvolvem relações pessoais significativas com ideias poderosas da ciência e da tecnologia.

Papert (1980) enfatiza, ademais, o papel epistemológico do erro no processo de aprendizagem. Diferentemente dos modelos instrucionistas tradicionais, que tratam o erro como uma falha a ser evitada ou punida, o construcionismo o compreende como uma oportunidade de reflexão, revisão e aprimoramento. Essa concepção é particularmente relevante no contexto da robótica educacional, no qual a experimentação contínua, caracterizada pelo ato de testar, identificar equívocos, compreender suas causas, realizar ajustes e retestar as soluções propostas,

constitui um elemento fundamental para a construção do conhecimento e para o processo de aprendizagem.

1.1.3 Tecnologia Assistiva e Educação Inclusiva

A tecnologia assistiva constitui campo interdisciplinar de conhecimento e prática que articula contribuições da engenharia, da informática, da ergonomia, das ciências da saúde e das ciências humanas e sociais, tendo por finalidade o desenvolvimento de recursos, estratégias e serviços que promovam a funcionalidade, a autonomia e a participação social de pessoas com deficiência (BRASIL, 2007).

No contexto educacional brasileiro, a TA está fundamentada nos princípios da educação inclusiva, conforme estabelecidos na Política Nacional de Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva (BRASIL, 2008), que preconiza o reconhecimento e a valorização da diversidade humana, a garantia de acesso e permanência de todos os estudantes na escola, a provisão de recursos pedagógicos e de acessibilidade, e a formação de professores para o atendimento educacional especializado.

A incorporação da Tecnologia Assistiva como objeto de estudo e experimentação em contextos educacionais regulares, e não apenas em ambientes de educação especial, representa um avanço significativo na consolidação de uma cultura inclusiva. Ao propor que estudantes sem deficiência se envolvam na compreensão dos desafios enfrentados por pessoas com deficiência e no desenvolvimento de soluções tecnológicas que promovam acessibilidade, as práticas pedagógicas transcendem a dimensão técnica e assumem um caráter ético e político, contribuindo para a formação de cidadãos sensíveis, solidários e comprometidos com a justiça social (FREIRE, 2019).

1.1.4 Síntese Integradora: Dewey, Papert e Tecnologia Assistiva na EPT

A integração dos referenciais deweyano, papertiano e dos princípios da tecnologia assistiva resulta em um modelo pedagógico coerente com os fundamentos filosóficos e metodológicos da Educação Profissional e Tecnológica. Esse modelo articula:

- a) Aprendizagem pela experiência: valorização da experimentação, da investigação ativa e da reflexão crítica sobre situações problemáticas autênticas (Dewey);
- b) Construção de artefatos significativos: engajamento na criação de produtos tangíveis que materializem ideias científicas e tecnológicas (Papert);
- c) Compromisso social e inclusivo: desenvolvimento de soluções tecnológicas orientadas para a promoção da autonomia, da acessibilidade e da participação social de pessoas com deficiência (Tecnologia Assistiva);

d) Formação integral: articulação entre competências técnicas, científicas e ético-políticas, em consonância com os eixos estruturantes da EPT — trabalho, ciência, tecnologia e cultura.

Esse modelo pedagógico integrador fundamenta a proposta deste produto educacional, conferindo-lhe coerência epistemológica, pertinência social e aplicabilidade prática.

1.2 A Robótica Educacional como Mediação Didática

A robótica educacional tem se consolidado, nas últimas décadas, como estratégia pedagógica potencializadora da aprendizagem de conceitos científicos e tecnológicos. Diferentemente da robótica industrial ou da robótica de pesquisa, cuja finalidade é o desenvolvimento de sistemas automatizados para aplicações específicas, a robótica educacional possui finalidade explicitamente formativa, constituindo meio privilegiado para o desenvolvimento de competências cognitivas, técnicas e socioemocionais (VALENTE, 2005).

A utilização de plataformas de prototipagem eletrônica, entre as quais o Arduino se destaca como um dos principais exemplos, amplia significativamente as possibilidades de experimentação em ambientes educacionais. O Arduino, uma plataforma de código aberto desenvolvida em 2005 no Instituto de Design de Interação de Ivrea, na Itália, caracteriza-se pela acessibilidade econômica, facilidade de programação, modularidade e por contar com uma ampla comunidade de usuários que compartilha projetos, códigos e soluções técnicas (KENSKI, 2012).

No contexto deste produto educacional, a robótica com Arduino não é tratada como conteúdo disciplinar autônomo, mas como ferramenta de mediação didática que permite a exploração contextualizada de conceitos fundamentais da Física. A construção da luva sensorial mobiliza conhecimentos de eletricidade (circuitos, tensão, corrente, resistência), ondulatória (propagação de ondas ultrassônicas, reflexão, velocidade de propagação), acústica (frequência sonora, buzzers, percepção auditiva) e cinemática (distância, velocidade, tempo de resposta).

Essa abordagem interdisciplinar favorece o que Lévy (2001) denomina "inteligência coletiva", na qual o conhecimento é construído de forma distribuída, colaborativa e mediada por tecnologias digitais. Os estudantes não trabalham isoladamente, mas em equipes que compartilham responsabilidades, negociam soluções, dividem tarefas e avaliam coletivamente os resultados obtidos. Desenvolvem-se, assim, competências essenciais para o mundo do trabalho contemporâneo: comunicação, colaboração, pensamento crítico e criatividade — as denominadas "competências do século XXI".

1.3 Alinhamento com Diretrizes Curriculares Nacionais

A proposta pedagógica deste produto educacional está plenamente alinhada às prescrições curriculares estabelecidas pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC) para o ensino médio, especialmente no que concerne à área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias (BRASIL, 2018). A BNCC preconiza o desenvolvimento de competências específicas que articulam conhecimentos conceituais, procedimentais e atitudinais, entre as quais destacam-se:

Competência Específica 1: Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global.

Competência Específica 2: Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis.

Competência Específica 3: Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC).

A oficina "Ciência, Inclusão e Movimento" operacionaliza essas competências ao propor uma situação-problema autêntica, voltada ao desenvolvimento de um dispositivo assistivo para a mobilidade de pessoas com deficiência visual. Essa proposta exige dos estudantes a análise de fenômenos físicos, a aplicação de conhecimentos tecnológicos, a reflexão ética acerca das implicações sociais envolvidas e a comunicação dos resultados obtidos.

Ademais, a proposta se alinha aos princípios e diretrizes da Educação Profissional e Tecnológica, modalidade que tem por finalidade proporcionar aos educandos a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando teoria e prática no ensino de cada disciplina, e preparando-os para o exercício profissional e para a cidadania ativa (BRASIL, 2008). A EPT situa o trabalho como princípio educativo, a pesquisa como princípio pedagógico e a integração curricular como estratégia de formação integral.

1.4 Estrutura e Organização do Produto Educacional

Este produto educacional está organizado em seções que fornecem aos professores e demais profissionais da educação os subsídios teóricos, metodológicos e práticos necessários para

a implementação da oficina "Ciência, Inclusão e Movimento" em diferentes contextos educacionais.

A Seção 2 explicita os objetivos gerais e específicos da proposta, detalhando as competências cognitivas, técnicas e socioemocionais que se pretende desenvolver nos educandos. A Seção 3 caracteriza o público prioritário da proposta, constituído por estudantes do ensino médio técnico integrado, e discute sua aplicabilidade em diferentes contextos institucionais.

A Seção 4 aprofunda a fundamentação teórica, apresentando os referenciais de Dewey, Papert e da tecnologia assistiva de forma articulada e crítica. A Seção 5 oferece a descrição detalhada da oficina, incluindo carga horária, materiais necessários, etapas de desenvolvimento, conceitos físicos abordados e orientações didáticas para cada momento da atividade.

A Seção 6 discute a aplicabilidade pedagógica do produto e os resultados esperados em termos de aprendizagem conceitual, desenvolvimento de competências e transformação de atitudes em relação à inclusão. A Seção 7 apresenta as estratégias de avaliação — diagnóstica, formativa e somativa — e os instrumentos avaliativos propostos. Finalmente, a Seção 8 oferece considerações finais sobre a relevância e o potencial transformador da proposta.

1.5 Considerações Iniciais

Este produto educacional constitui esforço de sistematização de uma prática pedagógica inovadora, teoricamente fundamentada e empiricamente validada. Mais do que um conjunto de atividades pré-definidas, representa uma filosofia educacional que valoriza a experiência, a criatividade, a colaboração e o compromisso ético com a inclusão social.

Destina-se a professores de Física, de Robótica, de Informática e de demais componentes curriculares que desejam incorporar metodologias ativas, interdisciplinares e socialmente relevantes em suas práticas pedagógicas. Esperamos que este material inspire novas experiências, estimule reflexões críticas sobre o papel da educação científica e tecnológica na sociedade contemporânea e contribua para a construção coletiva de uma educação verdadeiramente inclusiva, transformadora e humanizadora.

2 FUNDAMENTOS DE FÍSICA APLICADOS À CONSTRUÇÃO DA LUVA SENSORIAL

A construção da luva sensorial proposta no Produto Educacional “Ciência, Inclusão e Movimento” exige a integração de conceitos fundamentais de Física, especialmente das áreas de eletricidade, ondas, acústica, instrumentação eletrônica e propagação de sinais. A compreensão rigorosa desses princípios é essencial para que os estudantes compreendam o funcionamento do sensor ultrassônico, da placa Arduino e do sistema de alerta sonoro, estabelecendo conexões entre os modelos teóricos da Física e sua materialização em um dispositivo de Tecnologia Assistiva.

2.1 Circuitos Elétricos e Eletrônica Básica

A estrutura funcional da luva sensorial baseia-se em um circuito elétrico de baixa tensão alimentado pela porta USB ou por fonte externa conectada ao Arduino Uno. Um circuito elétrico pode ser definido como “um conjunto de componentes interligados que permite o fluxo ordenado de cargas elétricas” (TIPLER; MOSCA, 2008, p. 563). Esse fluxo, denominado corrente elétrica, só ocorre pela existência de uma diferença de potencial, fornecida pelo próprio Arduino (5 V).

A montagem utiliza componentes como:

- sensor ultrassônico HC-SR04;
- atuador sonoro (buzzer);
- resistores e fios jumper;
- portas digitais e GND da placa Arduino.

O entendimento dos princípios básicos das leis de Ohm é essencial para evitar sobrecargas ou projeções inadequadas de corrente. A lei de Ohm estabelece que:

$$V = RI. \quad (1)$$

Portanto, para cada componente conectado ao Arduino, a resistência adequada garante que a corrente seja limitada para valores inferiores aos suportados pelas portas digitais. Como destaca Halliday, Resnick e Walker (2014, p. 674), “a estabilidade de um circuito depende de um ajuste coerente entre a fonte, a carga e os elementos resistivos”.

Assim, o circuito da luva sensorial é projetado para operar na faixa segura de 20–30 mA por porta digital, assegurando confiabilidade e durabilidade do dispositivo.

2.2 Ondas Mecânicas e o Funcionamento do Sensor Ultrassônico HC-SR04

O sensor ultrassônico utiliza ondas mecânicas, mais especificamente ondas sonoras de alta frequência, para medir distâncias por meio do princípio físico da reflexão do som. As ondas ultrassônicas possuem frequências superiores a 20 kHz, valor acima da faixa audível pelo ser humano. O sensor HC-SR04 opera tipicamente na frequência de 40 kHz.

A propagação do som pode ser descrita como “uma perturbação que se desloca através de um meio material transportando energia, mas não matéria” (SEARS; ZEMANSKY; YOUNG, 2012, p. 421). No ar, à temperatura ambiente, a velocidade média de propagação do som é aproximadamente:

$$v \approx 343\text{m/s.} \quad (2)$$

O sensor funciona emitindo um pulso sonoro e medindo o tempo que o eco leva para retornar ao transdutor receptor. A distância até o obstáculo é dada por:

$$d = \frac{v\Delta t}{2} \quad (3)$$

porque o tempo medido corresponde ao trajeto de ida e volta da onda sonora.

A atividade de cálculo da distância traz ao estudante a oportunidade de relacionar teoria e prática, pois a variação do tempo medido pelo Arduino é diretamente convertida em distância. Como afirma Hewitt (2011, p. 256), “a mensuração de grandezas físicas passa a ter sentido pedagógico quando contextualizada em situações reais de observação e experimentação”.

Assim, cada medição realizada pelo sensor representa a aplicação prática dos modelos ondulatórios estudados em sala de aula.

2.3 Acústica Aplicada ao Buzzer Ativo

O buzzer ativo utilizado na luva funciona como um transdutor eletroacústico. Quando acionado pela saída digital do Arduino, ele converte energia elétrica em ondas sonoras audíveis. Segundo Halliday, Resnick e Walker (2014, p. 437), “todo dispositivo capaz de transformar energia elétrica em vibrações mecânicas periódicas atua como uma fonte sonora”.

O buzzer é acionado sempre que o sensor detecta obstáculos a uma distância inferior ao limite previamente programado, por exemplo, 100 cm. Dessa forma, a presença de um obstáculo aumenta a frequência dos alertas sonoros e diminui o tempo entre os sinais emitidos, constituindo um mecanismo fundamental para auxiliar a orientação e a mobilidade de pessoas com deficiência visual.

- Esse fenômeno demonstra, de forma aplicada, conceitos como:
- intensidade sonora (relacionada à amplitude da onda);
- frequência percebida;
- propagação e interferência sonora no ambiente;
- resposta de sistemas eletrônicos a estímulos externos.

Trata-se, portanto, de um experimento que evidencia a Física do som em um contexto concreto e de alta relevância social.

2.4 Propagação de Sinais, Tempo de Resposta e Controle Eletrônico

O Arduino Uno atua como unidade microcontroladora responsável por gerar pulsos digitais, medir tempos de resposta e controlar o comportamento do sensor e do buzzer. O funcionamento do sistema está fundamentado em três elementos físicos:

2.4.1 Propagação de sinais elétricos

O microcontrolador opera com sinais digitais que assumem dois estados físicos: nível alto (5 V) e nível baixo (0 V). Esses níveis de tensão correspondem ao comportamento de portas lógicas. A Física por trás desse processo é regida pela eletrodinâmica em baixas tensões, onde o tempo de subida (rise time) e queda (fall time) é essencial para a precisão das medições.

2.4.2 Medição de intervalos de tempo

A precisão do tempo é fundamental, pois diferenças de microssegundos impactam diretamente o cálculo da distância. Tipler e Mosca (2008, p. 309) destacam que “a determinação de intervalos de tempo muito curtos depende de sistemas eletrônicos de alta estabilidade e resposta”.

O Arduino utiliza a função `pulseIn()` para medir o tempo do eco, realizando uma aplicação prática da Física do movimento harmônico e das ondas.

2.4.3 Sistema de realimentação (feedback)

O sistema da luva opera em loop contínuo:

1. mede a distância;
2. interpreta o valor;
3. decide se deve acionar o alerta;
4. repete o ciclo.

Esse processo configura um **sistema de realimentação**, típico de instrumentação e controle. Como destaca Serway e Jewett (2013, p. 1020), sistemas desse tipo “permitem que variáveis físicas sejam monitoradas e ajustadas continuamente, garantindo estabilidade e resposta adequada”.

2.5 Síntese Física do Funcionamento da Luva Sensorial

A integração dos conceitos físicos discutidos permite compreender de maneira completa o funcionamento da luva assistiva:

- **Ondas** → Emissão e recepção ultrassônica;
- **Acústica** → Conversão elétrica–mecânica do buzzer;

- **Eletricidade** → Operação do circuito e controle de corrente;
- **Instrumentação** → Medição de tempos, propagação de sinais e controle lógico;
- **Tecnologia Assistiva** → Transformação da Física em artefato útil para mobilidade.

Essa síntese permite ao estudante visualizar a Física como ciência aplicada, capaz de responder a problemas reais da sociedade. Conforme Dewey (2011, p. 45), “a experiência ganha sentido quando o indivíduo percebe a conexão entre sua ação e as consequências concretas produzidas no mundo”.

A habilidade de transformar modelos abstratos em artefatos tecnológicos reforça o caráter formativo e interdisciplinar do produto educacional.

3 PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DA LUVA SENSORIAL

Nesta seção encontram-se as orientações técnicas e pedagógicas detalhadas para que um docente possa construir, testar e aplicar a **luva sensorial** baseada em Arduino (sensor ultrassônico HC-SR04 + buzzer) com estudantes, contemplando materiais, montagem elétrica, código-fonte, sequência didática, avaliação, segurança, adaptações e resolução de problemas.

3.1 Público alvo e contexto de uso

Professores de Física, Robótica ou Tecnologia que atuem em turmas de Ensino Médio Técnico ou EPT com acesso a laboratório/centro de computação básico. A oficina pode ser aplicada em ambientes presenciais, híbridos ou como atividade em feiras científicas. Para carga horária sugerida e modularidade, ver planejamento geral da oficina (4 encontros de 2 h).

3.2 Materiais e ferramentas (por protótipo / por grupo)

Figura 1 – Protótipo da luva sensorial construída com Arduino



Fonte: TEIXEIRA JUNIOR (2025).

Materiais eletrônicos:

- 1 × Placa Arduino Uno (ou equivalente compatível)
- 1 × Sensor ultrassônico HC-SR04
- 1 × Buzzer ativo (ou buzzer passivo + driver)
- 1 × Transistor NPN (ex.: 2N2222 / BC547) — recomendado para proteção da porta do Arduino
- 1 × Resistor 1 k Ω (base do transistor)
- 1 × Resistor 220–330 Ω (se utilizar LED indicador)
- 1 × Diodo de proteção (se componente indutivo fosse usado; opcional com buzzer)
- 1 × Protoboard pequena ou shield de prototipagem
- Fios jumper (macho-macho e macho-fêmea)
- 1 × Luva de tecido (base do protótipo)

- Fita isolante, cola quente (com cuidado), velcro
- Fonte USB 5 V / cabo USB para alimentar o Arduino.

Outros:

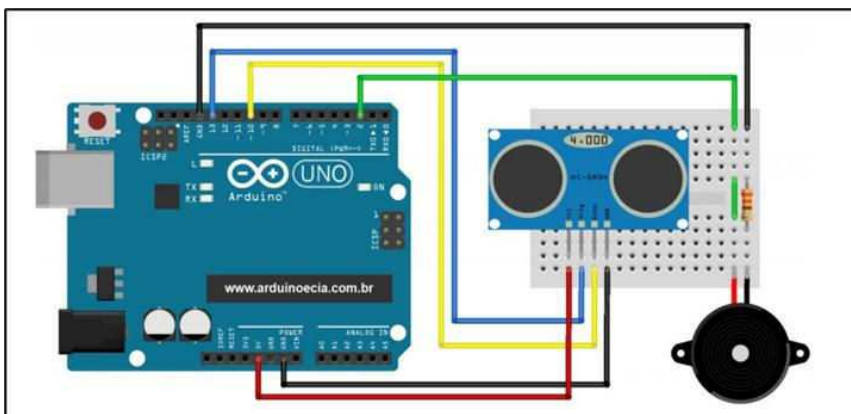
- Notebook com IDE Arduino instalado
- Ferramentas básicas: alicate de corte, estação de solda (se soldar), ferro de passar (para ajustar luva), multímetro.

Materiais de documentação:

- Diário de bordo para cada grupo, formulário de avaliação diagnóstica e rubricas de avaliação final.

3.3 Esquema elétrico e conexão (descrição técnica)

Figura 2 – Esquema elétrico simplificado da conexão entre sensor e Arduino Uno obtidos.



Fonte: TEIXEIRA JUNIOR (2025).

3.3.1 Mapeamento de pinos (exemplo prático)

- HC-SR04:
 - VCC → 5 V (Arduino)
 - GND → GND (Arduino)
 - TRIG → pino digital 9 (Arduino)
 - ECHO → pino digital 10 (Arduino)

- Buzzer (ativo)¹:

→ coletor do transistor NPN (ou pino digital 8 se for buzzer de baixa corrente)

– → GND

- Transistor NPN (se usar):

¹ Observação: se o buzzer ativo consumir corrente acima de 20 mA, **obrigatoriamente** utilize transistor para não danificar o pino do Arduino. Medir a corrente com multímetro antes de conectar diretamente.

- Emissor → GND
- Base → pino digital 8 (Arduino) através de resistor de 1 k Ω
- Coletor → pino positivo do buzzer
- Alimentação: Arduino via USB 5 V (notebook ou fonte), GND comum entre Arduino e componentes.

3.4 Software: sketch Arduino (exemplo comentado)

Abaixo um sketch funcional, comentado, para medição de distância e acionamento de buzzer. Use como base e incentive os estudantes a modificar parâmetros (limiar, padrões sonoros, taxa de leitura).

```
// Luva Sensorial - Sketch exemplo
const int trigPin = 9;
const int echoPin = 10;
const int buzzerPin = 8;

long duration;
float distanceCm;
const float SOUND_SPEED = 343.0; // m/s at 20°C

// thresholds (ajustar em aplicação prática)
const float LIMIAR_ALERTA_CM = 100.0; // distância a partir da qual
alerta é emitido

void setup() {
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);
  pinMode(buzzerPin, OUTPUT);
  digitalWrite(buzzerPin, LOW);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  // Gera pulso de trigger
```

```
digitalWrite(trigPin, LOW);
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(trigPin, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(trigPin, LOW);

// Lê tempo do pulso echo
duration = pulseIn(echoPin, HIGH, 30000); // timeout 30ms (aprox
5m)
if (duration == 0) {
    // sem retorno (muito longe ou erro) – tratar como distância
grande
    distanceCm = 500.0;
} else {
    // cálculo: distância em cm = (tempo_us / 1e6 * v(m/s)) / 2 *
100
    distanceCm = (duration / 1.0e6 * SOUND_SPEED) / 2.0 * 100.0;
}

Serial.print("Dist (cm): ");
Serial.println(distanceCm);

// Lógica de alarme: intensidade aumenta com proximidade
if (distanceCm <= LIMIAR_ALERTA_CM) {
    // map distancia para intervalo de frequência/intervalo
    int pitchDelay = map((int)distanceCm, 0,
(int)LIMIAR_ALERTA_CM, 50, 500); // ms
    // sinal sonoro: pulsos curtos com período variável
    digitalWrite(buzzerPin, HIGH);
    delay(80);
    digitalWrite(buzzerPin, LOW);
    delay(pitchDelay);
} else {
```

```
// sem obstáculo
digitalWrite(buzzerPin, LOW);
delay(200);
}
}
```

Notas sobre o código

- `pulseIn` tem `timeout`; ajustar se necessário.
- Para buzzer passivo use `tone(buzzerPin, freq)` e `noTone(buzzerPin)` para controlar frequência.
- Inclua filtro de leituras (média móvel) se houver muita variação de `pulseIn`.
- Registrar leituras em `Serial` facilita calibração durante oficina.

3.5 Montagem física da luva (passo-a-passo)

3.5.1 Preparação da luva

1. Escolher luva de tecido ajustada (escolher tamanho por usuário) e limpas.
2. Planejar a posição do sensor ultrassônico: idealmente na face dorsal da mão (próximo ao dorso do polegar) para detectar obstáculos à frente; colocar buzzer em posição onde o som seja convosco (pulso ou antebraço).
3. Marcar localizações com alfinetes.

3.5.2 Fixação dos componentes

1. Se possível, inserir uma pequena placa de suporte (plástico ou feltro rígido) costurada na luva para acomodar protoboard/Arduino compacto.
2. Utilizar fio flexível para não limitar movimentos; passar os fios por canaletas internas (costura) ou utilizar velcro para fixar.
3. Fixar o sensor com fita resistente e/ou cola quente (aplicar calor com cuidado para não danificar sensor). Evitar obstruir o orifício do transdutor.
4. Colocar o buzzer em bolsa na lateral da luva para maximizar percepção sonora.

3.5.3 Integração elétrica

1. Montar circuito em protoboard ou shield; testar fora da luva primeiro.

2. Ao confirmar funcionamento, acomodar protoboard em bolso da luva ou suporte no antebraço com velcro.
3. Assegurar GND comum e isolamento adequado para segurança.

3.6 Sequência didática e roteiro de aplicação (4 encontros — sugestão)

Encontro 1 (2 h) — Sensibilização e diagnóstico

- Apresentação do problema social (acessibilidade e mobilidade de pessoas cegas).
- Exibição de vídeos curtos e debate (20–30 min).
- Diagnóstico prévio: questionário sobre conhecimentos de sensores, eletricidade e atitudes sobre inclusão.
- Introdução ao HC-SR04 e Arduino (30–40 min).
- Formação de grupos e distribuição de kits.

Encontro 2 (2 h) — Eletrônica e montagem inicial

- Revisão rápida dos conceitos elétricos (Ohm, corrente) e de segurança (15 min).
- Montagem do circuito no protoboard e upload do sketch básico.
- Testes de leitura com Serial Monitor e ajustes de limiar.
- Discussão sobre posicionamento do sensor na luva (30–40 min).

Encontro 3 (2 h) — Construção da luva e programação avançada

- Fixação do sensor e do buzzer na luva; acomodação do Arduino.
- Implementar melhorias no código: debounce, média móvel, múltiplos limiares (sonoridade incremental).
- Testes práticos entre grupos (simulação de percurso com obstáculos).

Encontro 4 (2 h) — Testes em ambiente real e avaliação

- Simulação com usuário (idealmente convidar pessoa com deficiência visual ou realizar teste com participante vendado).
- Coleta de dados, observação e ajustes finos (tempo de resposta, alcance, percepção sonora).
- Avaliação somativa: relatório, demonstração e reflexão (rubricas).

3.7 Estratégias pedagógicas e exploração conceitual

- **Aprendizagem ativa:** os alunos constroem o dispositivo e constroem conhecimento sobre ondas e circuitos pela prática (Dewey, Papert).
- **Construcionismo:** o artefato serve como meio para construir conhecimento (Papert). Incentivar iterações e documentação das decisões.

- **Integração interdisciplinar:** relacionar leituras de distância com conceitos de acústica, instrumentação e ética tecnológica.
- **Avaliação formativa:** diário de bordo, registros de testes e coavaliação entre pares.
- **Avaliação somativa:** rubrica que avalia compreensão conceitual, funcionamento do protótipo, capacidade de trabalho coletivo e relevância social.

3.8 Calibração, testes e validação com usuários

1. **Calibração do sensor:** comparar leituras com fita métrica a diferentes distâncias (20, 50, 100, 150 cm); ajustar SOUND_SPEED no cálculo se temperatura/pressão local variar.
2. **Validação humana:** testar com pessoa vendada e com a presença de observadores para anotar eficácia nas orientações de movimento.
3. **Coleta de métricas:** taxa de detecção (porcentagem de obstáculos detectados), tempo médio de resposta, feedback subjetivo do usuário (conforto, ruído, usabilidade).
4. **Registro:** armazenar resultados no relatório final e comparar com objetivos pedagógicos (compreensão de conceitos e atitude inclusiva).

3.9 Segurança e ética

- **Segurança elétrica:** trabalhar com tensões baixas (5 V); sempre desconectar USB ao manipular fiação; usar isolamento e verificar conexões antes de alimentar.
- **Ferramentas quentes:** supervisão ao usar estação de solda ou pistola de cola quente.
- **Privacidade e respeito:** ao convidar pessoas com deficiência para testes, obter consentimento informado; garantir conforto e permitir recusa sem constrangimento.
- **Considerações éticas:** deixar claro que o protótipo é demonstrativo e não substitui equipamentos certificados de acessibilidade; evitar soluções perigosas ou que ofereçam falsa sensação de segurança.

3.10 Adaptações e extensões

- **Versão tátil:** adicionar vibromotor (motor de vibração) para gerar feedback vibratório em vez de (ou além de) som — útil para ambientes ruidosos. Neste caso, usar driver/transistor com alimentação adequada.
- **Feedback graduado:** implementação de padrões sonoros ou intensidade vibratória que variem com a distância (mapear distância → frequência/tempo).
- **Registro de trajetos:** acoplar módulo SD ou comunicação Serial/Bluetooth para registrar leituras e analisar desempenho.

- **Múltiplos sensores:** usar dois ou mais HC-SR04 para campo de detecção ampliado (direção) e fusionar leituras.
- **Integração com smartphone:** usar Bluetooth para enviar mensagens sonoras ou haptics via app.

3.11 Problemas comuns e soluções (troubleshooting)

- **pulseIn retorna zero / leitura = 0:** verificar ligação do ECHO/TRIG; garantir alimentação 5 V; aumentar timeout do `pulseIn`; checar se o sensor está obstruído.
- **Leituras muito instáveis:** implementar média móvel (p. ex., média de 5 leituras); filtrar valores extremos; afastar objetos que causem múltiplos ecos (superfícies irregulares).
- **Buzzer não soa:** testar buzzer isoladamente; verificar transistor e resistor de base; checar polaridade e GND comum.
- **Consumo do pino excede 20 mA:** mover acionamento do buzzer para transistor com fonte externa adequada.
- **Ruído ambiente (eco indesejado):** ajustar limiar e padrão de repetição; usar verificação por amostragem (confirmar somente se N leituras consecutivas indicarem obstáculo).
- **Fixação do sensor na luva causa reflexos erráticos:** testar diferentes posições e usar suporte rígido para manter orientação.

3.12 Instrumentos de avaliação sugeridos (resumo)

- **Questionário Diagnóstico/Pós:** medir evolução conceitual e atitude inclusiva.
- **Diário de Bordo:** registros técnicos e reflexivos.
- **Rubrica de demonstração:** critérios — funcionamento do protótipo (30%), compreensão conceitual (30%), trabalho colaborativo (20%), reflexão social/ética (20%).
- **Relatório final:** descrição técnica, resultados de testes, propostas de melhoria e reflexão sobre impacto social. (Modelos e rubricas conforme seção de avaliação do produto).

4 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia estruturada para que professores possam replicar, em diferentes contextos escolares, a oficina “Ciência, Inclusão e Movimento”, cujo foco é a construção de uma luva sensorial baseada em Arduino, sensores ultrassônicos e princípios de Física aplicada.

A metodologia foi organizada em etapas sequenciais, acompanhadas de quadros-resumo, fluxogramas de execução e *checklists* de preparação, de forma a garantir clareza, replicabilidade e autonomia do docente.

4.1 Organização geral da proposta

A oficina está estruturada em **três grandes etapas**, distribuídas ao longo de 4 a 6 encontros (100 minutos cada):

1. **Sensibilização e Diagnóstico**
2. **Construção e Experimentação Tecnológica da Luva Sensorial**
3. **Avaliação, Reflexão e Sistematização**

Essa organização pode ser adaptada conforme a realidade de cada instituição.

4.2 Quadro geral da oficina

Quadro 1 – Estrutura Geral da Oficina

Etapa	Objetivo	Principais ações	Produtos esperados
1. Sensibilização e Diagnóstico	Introduzir temas de inclusão, TA e fundamentos de Física	Debate, vídeo inicial, questionário diagnóstico	Levantamento dos conhecimentos prévios
2. Construção e Experimentação	Montar a luva sensorial e compreender seus fundamentos físicos	Montagem do circuito, programação, testes	Protótipo funcional da luva sensorial
3. Avaliação e Síntese	Refletir sobre aprendizagem, Física e inclusão	Questionário final, rubrica, roda de conversa	Relatório final e autoavaliação

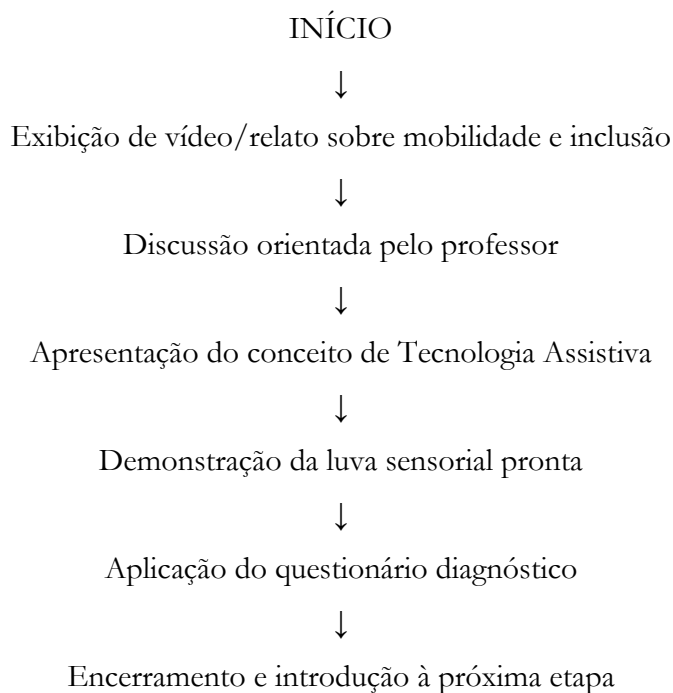
Fonte: Autoria própria.

4.3 Etapa 1 – sensibilização e diagnóstico

- **Objetivo:**

Apresentar o problema social, introduzir tecnologia assistiva e mapear o conhecimento prévio.

- **Fluxograma da Etapa 1**



Checklist – Etapa 1

Antes da aula:

- Separar vídeo sobre inclusão/mobilidade
- Preparar apresentação breve sobre TA
- Imprimir questionário diagnóstico
- Levar protótipo da luva sensorial

Durante a aula:

- Conduzir debate inicial
- Mediar discussões com intencionalidade pedagógica
- Aplicar o questionário

Após a aula:

- Organizar os dados diagnósticos
- Planejar adaptações para a próxima etapa

4.4 Etapa 2 – construção da luva sensorial

A etapa de construção é dividida em **4 módulos**, que devem ser realizados na ordem apresentada.

4.4.1 Módulo 1 – Fundamentos de Física e Tecnologia

Conteúdos mínimos:

- Ondas sonoras (frequência, velocidade, eco)

- Distância medida por ultrassom
- Circuitos elétricos simples
- Sinais digitais no Arduino

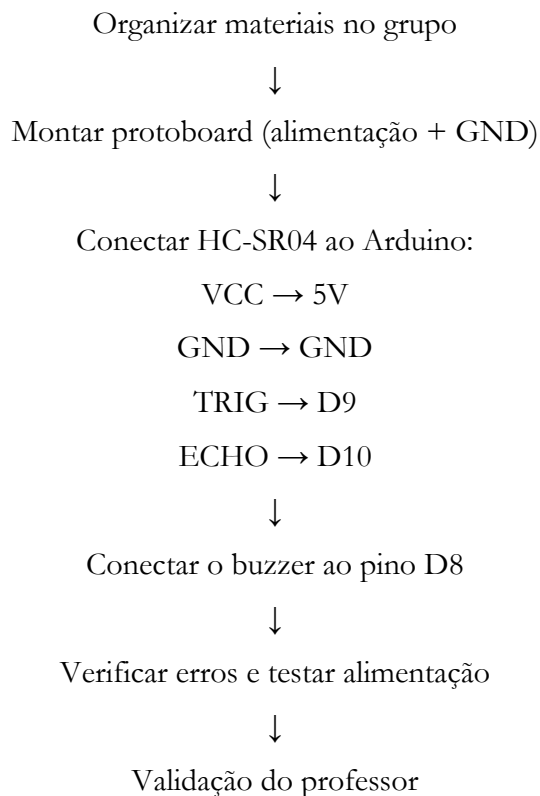
Quadro 2 – Conteúdos de Física essenciais para a construção

Tópico	Conceito-chave	Relação com o protótipo
Ondas sonoras	Propagação e reflexão	Medição da distância pelo sensor
Velocidade do som	$\sim 343 \text{ m/s}$	Cálculo da distância $d = (v \cdot \Delta t)/2$
Elettricidade	Tensão, corrente, resistência	Estabilidade do circuito
Sinais digitais	Níveis lógicos 0/1	Controle do sensor e buzzer

Fonte: Autoria Própria

4.4.2 Módulo 2 – Montagem do Circuito Eletrônico

- **Fluxograma de montagem**



4.4.3 Checklist – Montagem do Circuito

Materiais obrigatórios:

- Arduino Uno
- HC-SR04

- Buzzer
- Protoboard
- Jumper macho-macho e macho-fêmea

Passos que o professor deve conferir:

- GND comum entre todos os dispositivos
- TRIG e ECHO conectados corretamente
- Evitar curto em trilhas paralelas da protoboard
- Fixação correta dos fios

4.4.4 Módulo 3 – Programação e Testes

Quadro 3 – Estrutura do código a ser utilizado

Parte do código	Função	Observação para o professor
Definição de pinos	Configuração inicial	Personalizar conforme necessidade
Setup()	Define direção dos pinos	Deve ser revisada com a turma
Loop()	Leitura do tempo de eco	Ajustar limite de distância
Acionamento do buzzer	Feedback sonoro	Relacionar com acessibilidade

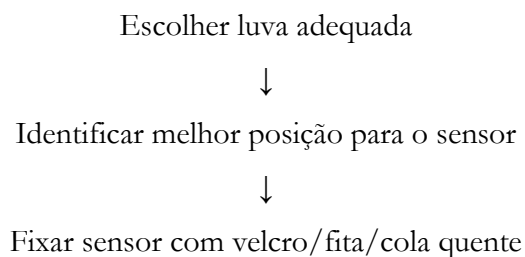
Fonte: Autoria própria.

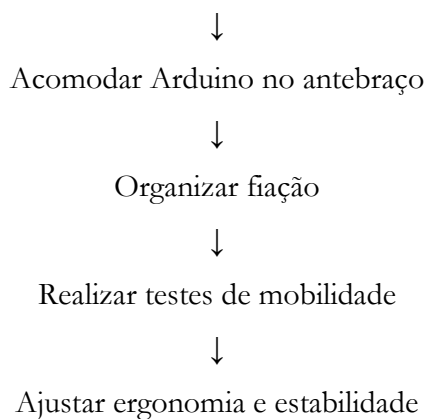
Checklist – Programação

- Abrir IDE Arduino
- Conectar placa ao computador
- Copiar código-base
- Realizar teste de compilação
- Ajustar limite de detecção
- Testar aproximação de objetos
- Registrar resultados

4.4.5 Módulo 4 – Construção Física da Luva

- **Fluxograma da montagem física**





Checklist – Montagem da Luva

- Sensor fixado na parte superior da mão
- Arduino fixado no antebraço
- Fiação protegida contra tração
- Sistema funcionando após vestido
- Testes com obstáculos realizados
- Ajustes de conforto executados

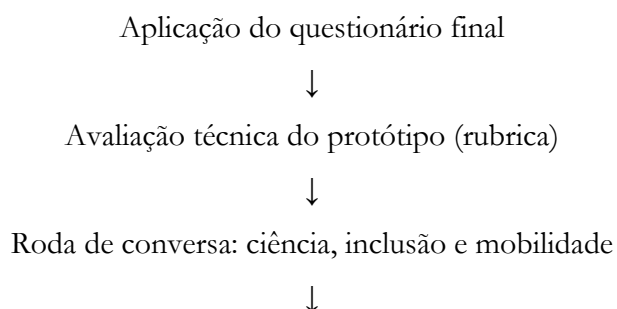
4.5 Etapa 3 – avaliação, reflexão e síntese

Quadro 4 – Instrumentos de Avaliação

Instrumento	Tipo	Objetivo
Questionário final	Diagnóstico pós-oficina	Verificar aprendizagens conceituais
Rubrica	Formativa e somativa	Avaliar participação, técnica e reflexão
Roda de conversa	Qualitativa	Discutir inclusão e responsabilidade social
Relatório	Síntese	Registrar processo de construção

Fonte: Autoria própria

4.5.1 Fluxograma da etapa 3



Entrega do relatório final



Encerramento e possíveis melhorias

Checklist – Avaliação

- Aplicar questionário final
- Conferir funcionamento da luva
- Registrar observações de desempenho
- Conduzir roda de conversa
- Solicitar relatório dos grupos

4.6 Orientações finais ao professor

- Planeje a oficina com antecedência mínima de uma semana.
- Teste o protótipo antes da aula.
- Incentive autonomia, experimentação e resolução de problemas.
- Documente os resultados com fotos e relatórios.
- Promova discussões éticas sobre inclusão e cidadania.

5 ESTRATÉGIAS DE AVALIAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

A avaliação do produto educacional foi estruturada de maneira processual, contínua e formativa, alinhada aos princípios da Educação Profissional e Tecnológica (EPT) e às abordagens pedagógicas que fundamentam o produto educacional, especialmente Dewey, Papert e a perspectiva inclusiva adotada na investigação. Conforme argumenta Luckesi (2011), avaliar não é julgar ou classificar, mas **“acompanhar o desenvolvimento do estudante e promover intervenções para que ele avance”** (LUCKESI, 2011, p. 45). Assim, mais que aferir resultados, a avaliação nesta proposta busca **compreender o percurso**, orientar ajustes e fomentar a reflexão crítica dos alunos durante a construção da luva sensorial.

A avaliação articula três dimensões complementares — **diagnóstica, formativa e somativa** —, empregando instrumentos diversificados que permitem contemplar aspectos cognitivos, procedimentais, socioemocionais e éticos envolvidos na proposta. Essa concepção está em consonância com Perrenoud (1999), quando afirma que a avaliação formativa deve ser “contínua, reguladora e mediadora da aprendizagem, permitindo ao estudante compreender seus avanços e dificuldades” (PERRENOUD, 1999, p. 78).

5.1 Avaliação Diagnóstica

A etapa diagnóstica tem a função de identificar os conhecimentos prévios, percepções iniciais e expectativas dos estudantes em relação aos seguintes temas:

- conceitos básicos de eletricidade e circuitos;
- noções de ondas, propagação sonora e sensores;
- robótica educacional e programação;
- acessibilidade e deficiência visual.

Para esse momento, utiliza-se um **questionário inicial** contendo questões abertas e fechadas, que exploram tanto o domínio conceitual quanto as atitudes relacionadas à inclusão. Esta estratégia dialoga com Ausubel (2003), que defende a importância de identificar a estrutura cognitiva prévia do aluno, já que “o fator mais importante para a aprendizagem é aquilo que o estudante já sabe” (AUSUBEL, 2003, p. 112).

A partir desses dados, o professor pode ajustar o ritmo da oficina, a complexidade dos experimentos e a necessidade de intervenções didáticas específicas.

5.2 Avaliação Formativa

A avaliação formativa é o núcleo central do processo avaliativo da oficina. Ela ocorre **durante toda a execução** das atividades e acompanha as etapas de:

- exploração dos materiais eletrônicos;
- montagem do circuito com Arduino;
- programação e ajustes no código;
- construção física da luva sensorial;
- testes e aplicação com obstáculos.

A avaliação se baseia em observações sistemáticas e devolutivas constantes, centrando-se em aspectos como:

- participação ativa e engajamento;
- capacidade de trabalhar em equipe;
- iniciativa para resolver problemas;
- compreensão aplicada dos conceitos físicos;
- sensibilidade e postura ética frente ao tema da inclusão.

Como argumenta Dewey (2011), a aprendizagem significativa surge da interação entre experiência e reflexão, tornando essencial que o professor ofereça **feedback imediato**, que auxilie o estudante a reorganizar suas ações. Essa prática também está alinhada à visão construcionista de Papert (1980), segundo a qual o erro não é falha, mas oportunidade de reconstrução cognitiva.

5.2.1 Instrumentos da avaliação formativa

- **Diário de bordo:** registro escrito dos estudantes sobre desafios, descobertas, hipóteses e melhorias no protótipo.
- **Rodas de conversa e autoavaliação:** momentos de reflexão orientada ao final de cada encontro.
- **Listas de verificação** (checklists): para acompanhar montagem, testes e integração dos componentes.
- **Feedbacks do professor:** orientações técnicas e pedagógicas durante todas as etapas.

Esses instrumentos incentivam metacognição, autonomia e consciência crítica, aspectos fundamentais para práticas de aprendizagem ativa (MORAN, 2018).

5.3 Avaliação Somativa

A avaliação somativa ocorre ao final da oficina e objetiva sintetizar o percurso formativo dos estudantes por meio de evidências concretas de aprendizagem. Nesta etapa,

analisa-se tanto o **produto final** (luva funcional) quanto os **processos** vivenciados pelas equipes.

Os instrumentos da avaliação somativa incluem o que está descrito na seção seguinte.

5.3.1 Demonstração do protótipo

Os grupos apresentam sua luva sensorial, explicando:

- funcionamento do sensor ultrassônico;
- relação entre distância e frequência do alerta sonoro;
- integração entre Física, robótica e Tecnologia Assistiva;
- decisões técnicas adotadas durante o projeto.

Essa atividade permite avaliar a compreensão conceitual e a capacidade de comunicação científica dos estudantes.

5.3.2 Relatório técnico-reflexivo

Documento final contendo:

- fundamentação física (ondas, eletricidade, instrumentação);
- descrição da montagem;
- testes realizados;
- análise dos resultados;
- reflexão sobre inclusão e acessibilidade.

Essa etapa é coerente com a orientação de Zabalza (2004), que destaca que o relatório escrito permite ao estudante **“integrar teoria e prática de forma reflexiva”** (ZABALZA, 2004, p. 93).

5.3.3 Questionário pós-oficina

Avalia:

- a evolução conceitual;
- as percepções sobre a atividade;
- mudanças nas atitudes relacionadas à inclusão;
- autopercepção sobre o domínio das habilidades.

5.4 Instrumentos de Avaliação (síntese)

5.4.1 Quantitativos

- Rubrica de desempenho

- Checklists de montagem
- Análise comparativa entre questionário diagnóstico e pós-oficina

5.4.2 Qualitativos

- Diário de bordo
- Autoavaliação e coavaliação
- Observação participante
- Relatório técnico-reflexivo

5.5 Rubrica de Avaliação (modelo geral)

Quadro 5- Rubrica de avaliação para a oficina “Ciência, Inclusão e Movimento”, contemplando critérios conceituais, técnicos, colaborativos e socioéticos referentes à construção e aplicação da luva sensorial

Critério	Excelente	Adequado	Em desenvolvimento
Compreensão conceitual de Física	Explica com precisão os fenômenos envolvidos; aplica conceitos corretamente.	Compreende conceitos principais, mas com pequenas lacunas.	Apresenta dificuldades em relacionar conceitos e prática.
Construção e funcionamento da luva	Protótipo funcional, estável e corretamente montado.	Protótipo funciona parcialmente.	Protótipo não funciona ou apresenta falhas graves.
Programação e testes	Código limpo, comentado e iterado com base nos testes.	Código funcional, mas pouco documentado.	Código incompleto ou mal estruturado.
Trabalho em equipe	Colaboração ativa, escuta, divisão justa de tarefas.	Boa colaboração, com pequenas dificuldades.	Baixa participação ou conflitos não mediados.
Reflexão social e ética	Demonstra empatia e articula bem ciência e inclusão.	Reconhece a importância social da TA.	Apresenta visão limitada sobre inclusão.

Fonte: Autoria própria.

5.6 Síntese Analítica

A estratégia avaliativa adotada permite consolidar o produto educacional como prática pedagógica reflexiva, inclusiva e socialmente comprometida. Ao integrar princípios da avaliação formativa e da aprendizagem ativa, o professor assume o papel de mediador, orientando os estudantes a compreenderem a Física **na prática**, a partir da construção de um artefato com impacto social.

Combinando instrumentos quantitativos e qualitativos, a avaliação não se restringe ao funcionamento do protótipo, mas valoriza a trajetória, a cooperação, a criatividade e o compromisso ético dos estudantes — dimensões coerentes com Dewey (2011), Papert (1980) e com os eixos estruturantes da EPT.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O produto educacional descrito neste trabalho representa uma síntese concreta de inovação pedagógica, unindo os campos da Física, da tecnologia e da inclusão social sob uma perspectiva humanista e transformadora.

Inspirado nos princípios de John Dewey e Seymour Papert, o trabalho reafirma a ideia de que a aprendizagem significativa emerge da experiência prática, da investigação e da reflexão crítica, promovendo o envolvimento ativo do estudante na construção do próprio conhecimento.

A proposta rompe com o paradigma tradicional de ensino, que muitas vezes reduz a Física a fórmulas e abstrações, e propõe um modelo vivencial e interdisciplinar, no qual a robótica educacional e a tecnologia assistiva são mediadoras do saber científico.

A construção da luva sensorial, dispositivo desenvolvido ao longo da oficina, materializa esse novo modo de ensinar e aprender: um processo que alia conceitos físicos, pensamento computacional e valores éticos, revelando a potência da ciência quando colocada a serviço da inclusão e da transformação social.

Ao longo da oficina, os estudantes vivenciam um processo educativo que ultrapassa a dimensão técnica e atinge o campo da formação cidadã e empática.

Através da experimentação e do trabalho colaborativo, o conhecimento científico deixa de ser um fim em si mesmo e passa a ser um instrumento de mudança, aproximando o jovem da realidade social e despertando o senso de responsabilidade coletiva.

O produto também se mostra coerente com os princípios e os eixos estruturantes da Educação Profissional e Tecnológica (EPT), a saber: trabalho, ciência, tecnologia e cultura, ao promover o diálogo entre diferentes saberes e valorizar o papel do estudante como protagonista de seu processo de formação.

Nesse sentido, a oficina não apenas ensina Física, mas forma sujeitos autônomos, críticos e criativos, capazes de compreender a ciência como prática humana e ética, orientada para o bem comum.

Do ponto de vista institucional, a proposta contribui para o fortalecimento das práticas pedagógicas inovadoras nos Institutos de Educação Profissional e Tecnológica, especialmente em escolas públicas que buscam integrar ciência e cidadania.

Sua replicabilidade e aplicabilidade prática permitem que o produto seja incorporado em projetos de extensão, feiras de ciências, atividades interdisciplinares e formações docentes, consolidando-se como um recurso pedagógico de impacto social e educacional duradouro.

Em um cenário educacional cada vez mais desafiador, no qual a inclusão e a equidade se tornam pautas urgentes, este produto reafirma que o ensino de Física pode, e deve, ser significativo, sensível e socialmente comprometido.

Ao despertar nos estudantes a consciência de que a ciência é uma ferramenta de transformação e solidariedade, a oficina “Ciência, Inclusão e Movimento” amplia o papel da escola como espaço de construção de saberes, valores e experiências que contribuem para a formação integral do ser humano.

Por fim, espera-se que este produto educacional inspire novas práticas docentes e incentive professores a explorar metodologias criativas, tecnológicas e inclusivas, capazes de transformar a sala de aula em um laboratório de cidadania, empatia e inovação.

A ciência, quando aliada à sensibilidade social, transforma-se não apenas em conhecimento, mas também em uma expressão de cuidado, justiça e esperança, princípios que sustentam o verdadeiro sentido da educação.

BIBLIOGRAFIA

- AUSUBEL, D. P. *Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva*. Lisboa: Plátano, 2003.
- BRASIL. Comitê de Ajudas Técnicas – ATA VII. Brasília: CORDE, 2007.
- BRASIL. Ministério da Educação. *Política Nacional de Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva*. Brasília: MEC/SEESP, 2008.
- DEWEY, J. *Experiência e educação*. São Paulo: Martins Fontes, 2011.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de física*. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.
- HEWITT, P. G. *Física conceitual*. 12. ed. São Paulo: Pearson, 2011.
- KENSKI, V. M. *Educação e tecnologias: o novo ritmo da informação*. 9. ed. Campinas: Papirus, 2012.
- LÉVY, P. *Cibercultura*. São Paulo: Editora 34, 2001.
- LUCKESI, C. C. *Avaliação da aprendizagem escolar*. São Paulo: Cortez, 2011.
- MORAN, J. M. *Metodologias ativas para uma educação inovadora*. Campinas: Papirus, 2018.
- PAPERT, S. *Mindstorms: children, computers and powerful ideas*. New York: Basic Books, 1980.
- PAPERT, S.; HAREL, I. *Constructionism*. Norwood, NJ: Ablex Publishing, 1991.
- PERRENOUD, P. *Avaliação: da excelência à regulação das aprendizagens*. Porto Alegre: Artmed, 1999.
- SEARS, F. W.; ZEMANSKY, M.; YOUNG, H. D. *Física III: ondas e termodinâmica*. São Paulo: Pearson, 2012.
- SERWAY, R. A.; JEWETT, J. W. *Princípios de física*. São Paulo: Cengage Learning, 2013.
- TEIXEIRA JUNIOR, M. A. *Tecnologia Assistiva e Prática Pedagógica de John Dewey: uma abordagem integrada para a mobilidade de pessoas com deficiência visual*. São Luís: Universidade Federal do Maranhão, 2025.
- TIPLER, P. A.; MOSCA, G. *Física para cientistas e engenheiros*. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- VALENTE, J. A. *O computador na sociedade do conhecimento*. Campinas: UNICAMP/NIED, 2005.
- VYGOTSKY, L. S. *A formação social da mente*. São Paulo: Martins Fontes, 2007.