



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE SALINÓPOLIS
FACULDADE DE FÍSICA
LICENCIATURA EM FÍSICA



MEYRILENE DOS SANTOS DE OLIVEIRA

**Integração entre Simulação, Experimentação e
Gamificação no Ensino de Circuitos Elétricos: uma
sequência didática em contexto inclusivo**

SALINÓPOLIS

2026

MEYRILENE DOS SANTOS DE OLIVEIRA

Integração entre Simulação, Experimentação e Gamificação no Ensino de Circuitos Elétricos: uma sequência didática em contexto inclusivo

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Física do Campus Universitário de Salinópolis da Universidade Federal do Pará, para obtenção do título de Licenciado(a) em Física.
Orientador: Prof. Doutor Cledson Gonçalves
Coorientadora: Daniana De Costa

SALINÓPOLIS

2026

MEYRILENE DOS SANTOS DE OLIVEIRA

Integração entre Simulação, Experimentação e Gamificação no Ensino de Circuitos Elétricos: uma sequência didática em contexto inclusivo

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Física do Campus Universitário de Salinópolis da Universidade Federal do Pará, para obtenção do título de Licenciado(a) em Física.

Orientador: Prof. Doutor Cledson Gonçalves

Coorientadora: Daniana De Costa

Data de Aprovação: 22 de agosto de 2026

BANCA EXAMINADORA

Orientador Prof. Dr. Cledson Santana Lopes Gonçalves
ICEN- UFPA

Coorientadora Profa. Dra. Daniana De Costa
Campus Salinópolis - UFPA

Membro da Banca: Profa. Dra. Lília Cristina dos Santos Diniz Alves
Campus Salinópolis - UFPA

Membro da Banca: Profa. Dra. Angela Costa Santa Brigida
Campus Ananindeua - UFPA

Dedico este trabalho a Jesus Cristo, Mestre dos mestres. O maior ensinador, fonte de luz, sabedoria e fé, e à Virgem Maria, especialmente sob o título de Nossa Senhora de Fátima pelo amparo materno e intercessão constante.

A minha mãe, que mesmo partindo do pouco, me ensinou a construir muito. Seus aplausos foram tão altos, que não percebi o silêncio daqueles que não acreditaram e as suas orações que me fizeram chegar até onde estou e que seguem me conduzindo rumo a horizontes cada vez mais distantes.

E por fim dedico também este trabalho à minha eu do passado, que mesmo com a voz embargada e o coração cansado, ousou permanecer de pé. Aquela que, em meio ao silêncio e à solidão decidiu que sua história não seria escrita por mãos alheias e, com coragem, escolheu não desistir.

AGRADECIMENTOS

“Se você não tivesse capacidade, Deus não te daria a oportunidade. Seus medos você já conhece, experimente suas coragens.”

Santa Teresinha do menino Jesus

A Deus, por me sustentar nos momentos em que gritei por dentro, por me dar forças quando pensei não conseguir continuar e por abrir caminhos onde tudo parecia incerto. A Ele, toda honra, glória e gratidão.

À Virgem Maria, minha Mãe e intercessora, especialmente sob o título de Nossa Senhora de Fátima, por me acolher sob seu manto, consolar meu coração e interceder por mim diante de Deus. Seu exemplo de fé, humildade e confiança inspirou-me a seguir em frente. Minha eterna gratidão.

À minha família, minha base e fortaleza. À minha mãe, Eliete Monteiro, companheira desta caminhada, mulher forte e amiga, por acreditar em mim mesmo quando eu duvidei, apoiar minhas escolhas, celebrar minhas conquistas e me acolher nos momentos difíceis. Sua presença foi e sempre será meu maior abrigo.

À minha irmã, à minha tia e à minha avó, por todo o amor, carinho, incentivo e orações. A confiança que depositaram em mim foi uma das maiores motivações para seguir em frente e buscar o melhor a cada etapa desta caminhada.

Aos meus poucos, mas verdadeiros, amigos de turma: obrigada por me ouvirem nos dias difíceis, rirem comigo nos dias bons e torcerem por mim. A amizade de vocês foi o respiro leve que tantas vezes me sustentou. Saudades!

Aos meus professores e à banca avaliadora deste trabalho, pela paciência, dedicação e generosidade. Cada ensinamento, orientação e palavra de incentivo foram fundamentais para minha formação acadêmica e pessoal.

Ao encerrar esta etapa, levo comigo não apenas um diploma, mas aprendizados, memórias e pessoas que marcaram meu caminho. A jornada foi intensa e desafiadora, mas cada passo valeu a pena. Sigo com o coração em paz e a certeza de ter escolhido a profissão que faz meus olhos brilharem. A todos que fizeram parte desta história, meu mais sincero e eterno agradecimento.

“Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira, você chega lá.”

- Ayrton Senna.

RESUMO

O ensino de circuitos elétricos apresenta dificuldades conceituais recorrentes no Ensino Médio, devido ao caráter abstrato dos fenômenos envolvidos e à necessidade de articular diferentes representações do conhecimento físico. Em turmas cognitivamente heterogêneas, esse desafio também exige práticas que ampliem as possibilidades de participação dos estudantes. Este trabalho analisou o potencial de uma sequência didática multissensorial para a aprendizagem conceitual, o engajamento e a participação no ensino de circuitos elétricos em contexto inclusivo. A pesquisa, de natureza aplicada, abordagem qualitativa e delineamento exploratório-descritivo, foi desenvolvida em uma escola pública estadual com oito estudantes do Ensino Médio, quatro deles com diagnóstico formal de Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH). A intervenção integrou três etapas: simulação virtual com o *Circuit Construction Kit*, da plataforma PhET; construção de circuitos com massinha condutiva; e aplicação do jogo “Labirinto Elétrico”, desenvolvido com Arduino. Os dados foram produzidos por meio de observação participante, diário de campo, questionário reflexivo e registros fotográficos e analisados segundo três eixos: compreensão conceitual; engajamento e processos iniciais de monitoramento e ajuste das ações; e mediação pedagógica e acessibilidade. Os resultados revelaram indícios de construção e reorganização conceitual, cooperação entre pares, permanência nas tarefas e revisão de ações diante de erros e feedbacks. Conclui-se que a organização progressiva das atividades, associada à mediação docente, ampliou as oportunidades de aprendizagem, engajamento e participação no contexto investigado.

Palavras-chave: Ensino de circuitos elétricos. Educação inclusiva. Aprendizagem significativa. Multissensorialidade. TDAH.

ABSTRACT

The teaching of electric circuits presents recurring conceptual difficulties in high school due to the abstract nature of the phenomena involved and the need to articulate different representations of physical knowledge. In cognitively heterogeneous classrooms, this challenge also requires practices that broaden students' opportunities for participation. This study analyzed the potential of a multisensory teaching sequence for conceptual learning, engagement, and participation in the teaching of electric circuits within an inclusive context. This applied study adopted a qualitative, exploratory-descriptive design and was conducted at a public state school with eight high school students, four of whom had a formal diagnosis of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD). The intervention comprised three stages: virtual simulation using the *Circuit Construction Kit* from the PhET platform; circuit construction with conductive dough; and the "Electric Maze" game developed with Arduino. Data were produced through participant observation, field notes, a reflective questionnaire, and photographic records and analyzed according to three axes: conceptual understanding; engagement and initial processes of action monitoring and adjustment; and pedagogical mediation and accessibility. The results revealed evidence of conceptual construction and reorganization, peer cooperation, task persistence, and revision of actions in response to errors and feedback. It is concluded that the progressive organization of the activities, combined with teacher mediation, broadened opportunities for learning, engagement, and participation in the context investigated.

Keywords: Electric circuits teaching. Inclusive education. Meaningful learning. Multisensory approach. ADHD.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Simulações no PhET	32
Figura 2 - Montagem de circuitos com massinha condutiva em grupos colaborativos.....	36
Figura 3 - Atividade gamificada com Arduino (“Labirinto Elétrico”).	40
Figura A. 1 -Controles de aplicação	57
Figura A. 2- Controles de aplicação	57
Figura A. 3- Diagrama de montagem dos circuitos.	58
Figura A. 4- labirinto elétrico	59
Figura A. 5 - Esquema de montagem feito por meio da plataforma Tinkercad.	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Síntese das respostas dos estudantes sobre o uso do simulador PhET.	33
Tabela 2 – Respostas dos estudantes sobre a construção de circuitos com massinha.....	37
Tabela 3 – Percepções dos estudantes sobre o jogo “Labirinto Elétrico”	41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	12
1.2	PROBLEMA E OBJETIVOS.....	13
1.3	JUSTIFICATIVA E ESTRUTURA.....	14
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1	ENSINO DE ELETRICIDADE E DIFICULDADES CONCEITUAIS	16
2.2	APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA NO ENSINO DE FÍSICA.....	17
2.3	EDUCAÇÃO INCLUSIVA, TDAH E DESENHO UNIVERSAL PARA APRENDIZAGEM	18
2.4	ABORDAGENS MULTISSENSORIAIS E TECNOLOGIAS NO ENSINO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS	20
2.5	SÍNTESE TEÓRICA E IMPLICAÇÕES PARA A PESQUISA.....	21
3	METODOLOGIA.....	23
3.1	NATUREZA E ABORDAGEM DA PESQUISA.....	23
3.2	CONTEXTO DA PESQUISA.....	23
3.3	PARTICIPANTES DA PESQUISA	24
3.4	INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS	25
3.5	DESCRIÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	26
3.5.1	Etapa 1 – Simulação digital com PhET	26
3.5.2	Etapa 2 – Construção de circuitos com massinha condutiva.....	27
3.5.3	Etapa 3 – Jogo “Labirinto Elétrico” com Arduino.....	27
3.6	PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE DOS DADOS	28
3.7	CONSIDERAÇÕES ÉTICAS DA PESQUISA	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.1	RESULTADOS DA ETAPA DE SIMULAÇÃO COM PHET	31
4.1.1	Compreensão conceitual mediada por simulações.....	31
4.1.2	Engajamento e participação dos estudantes	34
4.2	RESULTADOS DA EXPERIMENTAÇÃO COM MASSINHA CONDUTIVA	35
4.2.1	Manipulação concreta e aprendizagem conceitual.....	35
4.2.2	Cooperação e construção coletiva do conhecimento	38
4.3	RESULTADOS DA ATIVIDADE GAMIFICADA COM ARDUINO	39

4.3.1	Feedback imediato e autorregulação da aprendizagem.....	40
4.3.2	Engajamento e motivação dos estudantes.....	42
4.4	ANÁLISE INTEGRADA DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	43
4.4.1	Articulação entre simulação, experimentação e jogo.....	44
4.4.2	Contribuições para a aprendizagem significativa.....	45
4.4.3	Implicações para a educação inclusiva no ensino de Física	46
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
	REFERÊNCIAS.....	52
	APÊNDICE A – Plano de aula e código do labirinto elétrico.....	56
	APÊNDICE B – Questionário de avaliação e resposta dos alunos	63

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O ensino de eletricidade constitui um dos eixos estruturantes da Física na Educação Básica e, simultaneamente, um dos campos que apresentam dificuldades recorrentes de aprendizagem no Ensino Médio. Conceitos como corrente elétrica, resistência e diferença de potencial envolvem fenômenos não diretamente observáveis e exigem a articulação entre modelos conceituais, representações simbólicas e relações matemáticas. Quando essas dimensões são abordadas de forma dissociada, a compreensão do funcionamento dos circuitos elétricos pode permanecer fragmentada (Landim Vilela e Teixeira de Araújo, 2022; Battistel, Holz e Sauerwein, 2022).

Práticas centradas predominantemente na exposição verbal e na resolução algorítmica de exercícios podem favorecer a memorização de fórmulas sem assegurar a compreensão dos fenômenos envolvidos. Entre as concepções alternativas relatadas na literatura estão a interpretação da corrente elétrica como algo consumido pelos componentes e a compreensão do circuito como um processo sequencial, no qual a eletricidade se deslocaria da fonte até os dispositivos. Essas explicações dificultam o reconhecimento do circuito como um sistema cujos componentes e grandezas se relacionam de forma interdependente (Battistel, Holz e Sauerwein, 2022).

Diante desse problema, diferentes recursos têm sido incorporados ao ensino de Física para ampliar as formas de representação e interação com os circuitos. Simuladores digitais permitem construir configurações, manipular variáveis e observar os efeitos das alterações realizadas (De Medeiros Jr. *et al.*, 2024; Souza de Oliveira *et al.*, 2025). Entretanto, a experiência virtual não reproduz integralmente as condições materiais de uma montagem física, como contato, continuidade e falhas de conexão (Ochugboju e Díez-Palomar, 2025).

Recursos manipuláveis de baixo custo, como a massinha condutiva, possibilitam construir e modificar circuitos e observar as consequências das escolhas de montagem (Johnson e Thomas, 2010). Dispositivos desenvolvidos com Arduino acrescentam situações em que o comportamento do circuito é associado às ações do estudante por meio de respostas visuais e sonoras (Kotseva, 2019; Schons e Straub,

2023; Tai, Ajjawy e Umarova, 2024). Mais do que verificar o potencial de cada recurso isoladamente, interessa compreender como diferentes experiências podem ser organizadas em torno do mesmo objeto conceitual.

Essa discussão assume relevância adicional em turmas com diferentes perfis cognitivos. Estudantes com Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH), por exemplo, podem apresentar dificuldades relacionadas à atenção sustentada, ao controle da impulsividade e à autorregulação, com possíveis repercussões em atividades prolongadas e fortemente abstratas (American Psychiatric Association, 2014; Silva *et al.*, 2025). Pesquisas educacionais indicam que tarefas estruturadas em etapas, com objetivos claros, participação ativa e feedback próximo à ação, podem oferecer condições favoráveis ao envolvimento desses estudantes (Moreira *et al.*, 2025).

No Brasil, a Lei nº 14.254/2021 estabelece diretrizes para o acompanhamento de estudantes com dislexia, TDAH e outros transtornos de aprendizagem. Entretanto, a existência de dispositivos legais não assegura, por si só, a redução das barreiras presentes nas práticas pedagógicas. Nesse contexto, o Desenho Universal para Aprendizagem propõe diversificar as formas de engajamento, representação e ação desde o planejamento, ampliando as possibilidades de acesso e participação em turmas heterogêneas (CAST, 2018; Meyer, Rose e Gordon, 2014).

É na convergência entre as dificuldades conceituais do ensino de circuitos elétricos e os desafios do planejamento inclusivo que se situa esta pesquisa. O estudo investiga uma sequência didática baseada em diferentes formas de representação e ação, buscando analisar indícios relacionados à compreensão conceitual, ao engajamento e à participação dos estudantes

1.2 PROBLEMA E OBJETIVOS

Embora simuladores digitais, materiais manipuláveis e atividades gamificadas sejam discutidos no ensino de Ciências, a literatura consultada apresenta maior concentração de estudos sobre seus usos específicos do que sobre sua articulação progressiva em um mesmo percurso didático. No ensino de circuitos elétricos, essa integração é relevante porque diferentes experiências podem tornar acessíveis aspectos distintos do fenômeno: a exploração de representações, o enfrentamento

das condições materiais de uma montagem e a associação entre ação e resposta do circuito.

O problema investigado não se limita, portanto, à presença desses recursos no ensino, mas à maneira como podem ser organizados e mediados em uma turma cognitivamente heterogênea. Interessa examinar os indícios produzidos quando os estudantes retomam os mesmos conceitos sob diferentes condições de representação, manipulação e feedback.

Diante disso, a pesquisa orienta-se pela seguinte questão: de que maneira uma sequência didática que integra simulação digital, experimentação concreta e atividade gamificada contribui para a aprendizagem conceitual, o engajamento e a participação de estudantes do Ensino Médio em um contexto educacional inclusivo?

O objetivo geral consiste em analisar o potencial de uma sequência didática multissensorial, organizada pela integração progressiva entre simulação digital, experimentação concreta e atividade gamificada, para a aprendizagem conceitual, o engajamento e a participação no ensino de circuitos elétricos em um contexto educacional inclusivo.

Como objetivos específicos, busca-se:

- investigar os indícios de compreensão conceitual produzidos ao longo das etapas da sequência didática;
- analisar evidências de engajamento e de processos iniciais de monitoramento e ajuste das ações durante as atividades;
- examinar como a organização da sequência e a mediação pedagógica favoreceram as possibilidades de participação em uma turma cognitivamente heterogênea.

1.3 JUSTIFICATIVA E ESTRUTURA

A relevância desta pesquisa reside na análise de uma sequência em que recursos digitais, manipuláveis e interativos são organizados progressivamente em torno do mesmo conteúdo. Embora tais recursos sejam utilizados no ensino de Ciências, sua presença não assegura, isoladamente, aprendizagem ou inclusão. Torna-se necessário examinar as relações conceituais que podem ser construídas entre as experiências e o papel da mediação docente na continuidade do percurso.

A contribuição do estudo está, assim, menos na novidade dos recursos empregados do que na análise de sua complementaridade funcional. A proposta permite investigar como relações exploradas em uma representação virtual são retomadas diante das condições de uma montagem física e posteriormente mobilizadas em uma atividade na qual as ações dos estudantes interferem no funcionamento do circuito.

A investigação também se justifica por ter sido desenvolvida nas condições concretas de uma escola pública e em uma turma cognitivamente heterogênea. Em vez de comparar estudantes segundo diagnósticos, o estudo analisa as barreiras e possibilidades de participação produzidas pela organização didática. A Teoria da Aprendizagem Significativa e o Desenho Universal para Aprendizagem oferecem, respectivamente, fundamentos para interpretar a construção de relações conceituais e a diversificação das formas de acesso e participação.

Do ponto de vista científico e pedagógico, a pesquisa busca produzir evidências qualitativas situadas sobre as possibilidades e os limites de uma sequência de baixo custo para o ensino de circuitos elétricos. Embora seus resultados não sejam generalizáveis em sentido estatístico, a descrição e a análise da experiência podem fornecer elementos para o planejamento e a investigação de propostas semelhantes em outros contextos.

O trabalho está organizado em cinco capítulos. Após esta introdução, o Capítulo 2 apresenta os referenciais teóricos da investigação. O Capítulo 3 descreve o contexto, os participantes, a sequência didática, os instrumentos de produção de dados e os procedimentos de análise. O Capítulo 4 apresenta e discute os resultados das etapas e sua análise integrada. O Capítulo 5 reúne as considerações finais, as limitações e as implicações da pesquisa.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ENSINO DE ELETRICIDADE E DIFICULDADES CONCEITUAIS

A aprendizagem de circuitos elétricos exige mais do que o domínio das relações matemáticas entre corrente, resistência e diferença de potencial. Para compreender o comportamento de um circuito, o estudante precisa articular os efeitos observáveis, como o acendimento de uma lâmpada, aos modelos conceituais que explicam a circulação de cargas e a transferência de energia e às relações matemáticas entre as grandezas envolvidas. Quando essas dimensões permanecem dissociadas, podem persistir interpretações fragmentadas mesmo entre estudantes capazes de resolver corretamente exercícios algorítmicos (Battistel, Holz e Sauerwein, 2022; Haryadi e Pujiastuti, 2023).

Entre as concepções alternativas recorrentes encontram-se a interpretação da corrente elétrica como uma substância “consumida” pelos componentes e a compreensão do circuito como um processo sequencial, no qual a eletricidade sairia da fonte e alcançaria sucessivamente os dispositivos. Essas explicações dificultam o reconhecimento do circuito como um sistema fechado, cujos componentes estabelecem relações simultâneas e interdependentes. O problema, portanto, não se reduz ao desconhecimento de definições ou fórmulas, mas envolve os modelos mobilizados para interpretar o comportamento do sistema elétrico.

Battistel, Holz e Sauerwein (2022) relacionam a persistência dessas dificuldades, entre outros fatores, a práticas que privilegiam a aplicação de fórmulas e a resolução padronizada de exercícios. Nessas condições, o estudante pode operar matematicamente com as grandezas elétricas sem construir um modelo capaz de explicar por que uma alteração em determinado componente modifica o comportamento do circuito. Essa distinção é central para o presente estudo, pois o desempenho procedimental não constitui, isoladamente, evidência de compreensão conceitual.

Um dos desafios do ensino de eletricidade consiste, assim, em criar condições para que os estudantes confrontem suas interpretações com o comportamento dos circuitos, formulem hipóteses e revisem explicações diante dos resultados observados. A articulação entre diferentes formas de representação e interação torna-se relevante quando permite estabelecer relações entre o que se observa, os modelos

utilizados para explicar o fenômeno e as consequências produzidas por diferentes configurações do sistema

2.2 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA NO ENSINO DE FÍSICA

A Teoria da Aprendizagem Significativa, proposta por Ausubel, Novak e Hanesian (1980), parte do princípio de que novas informações são aprendidas de forma significativa quando se relacionam, de maneira substantiva e não arbitrária, a conhecimentos relevantes presentes na estrutura cognitiva do estudante. Esses conhecimentos prévios, denominados subsunçores, funcionam como pontos de ancoragem para a incorporação e a reorganização de novos significados. Quando tais relações não são estabelecidas, a aprendizagem tende a assumir caráter predominantemente mecânico, baseado na retenção de informações e procedimentos pouco articulados.

Essa distinção é particularmente relevante no ensino de Física. Um estudante pode memorizar expressões matemáticas ou executar procedimentos sem dispor de um modelo conceitual que lhe permita explicar o fenômeno estudado. No caso dos circuitos elétricos, a construção de significados envolve relacionar conhecimentos prévios e novas informações a diferentes situações, como interpretar uma montagem, prever o efeito de uma alteração no circuito e revisar uma explicação diante de um resultado inesperado. A compreensão conceitual, portanto, não se reduz à reprodução de definições, mas envolve relações entre conceitos, representações e fenômenos (Tavares, 2004).

Sob essa perspectiva, a participação ativa não constitui, por si só, evidência de aprendizagem significativa. A manipulação de materiais, a experimentação e o uso de tecnologias tornam-se pedagogicamente relevantes quando permitem explicitar conhecimentos prévios, confrontar previsões com resultados e reorganizar explicações. Como argumenta Silva (2020), situações investigativas podem favorecer a construção conceitual quando a ação do estudante é acompanhada de problematização, interpretação e reflexão sobre os fenômenos observados.

Neste estudo, esse referencial orienta a interpretação de episódios nos quais os estudantes formularam ou revisaram hipóteses, mobilizaram conhecimentos em novas situações e estabeleceram relações entre diferentes representações dos circuitos elétricos. Tais movimentos são tratados como indícios de construção e

reorganização conceitual, e não como comprovação definitiva de aprendizagem significativa.

2.3 EDUCAÇÃO INCLUSIVA, TDAH E DESENHO UNIVERSAL PARA APRENDIZAGEM

A educação inclusiva pressupõe que a heterogeneidade dos modos de aprender seja considerada na organização do ensino, e não apenas por meio de adaptações posteriores dirigidas a determinados estudantes. Essa perspectiva desloca o foco das limitações individuais para as barreiras pedagógicas que podem restringir o acesso, a participação e a aprendizagem. No ensino de Física, essa questão adquire particular relevância diante de conteúdos abstratos e de práticas frequentemente centradas na exposição verbal, na formalização matemática e na manutenção prolongada da atenção.

Entre os estudantes que podem encontrar barreiras nessas condições estão aqueles com Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH). Segundo a American Psychiatric Association (2014), o transtorno envolve padrões persistentes de desatenção e/ou hiperatividade e impulsividade que interferem no funcionamento ou no desenvolvimento. No contexto educacional, suas manifestações podem repercutir de maneiras distintas na organização da tarefa, na manutenção da atenção e no controle das ações, razão pela qual o TDAH não deve ser compreendido como um perfil homogêneo de aprendizagem.

Pesquisas educacionais indicam que atividades organizadas em etapas claras, com objetivos definidos, participação ativa e feedback próximo à ação, podem ampliar as condições de engajamento e permanência na tarefa (Moreira *et al.*, 2025). Essas características não constituem estratégias exclusivas para estudantes com TDAH; podem reduzir barreiras para grupos heterogêneos e evitar que a inclusão seja reduzida à criação de atividades paralelas ou simplificadas.

A autorregulação da aprendizagem constitui, nesse contexto, um constructo relevante para a interpretação de parte dos processos investigados. Zimmerman (2002) a compreende como um processo pelo qual o estudante orienta, monitora e ajusta pensamentos, comportamentos e estratégias em função de objetivos. Essa capacidade pode ser apoiada pelas condições da atividade e pela mediação pedagógica. Ciclos de ação e feedback, por exemplo, podem criar oportunidades para

identificar resultados, revisar estratégias e ajustar procedimentos (Zimmerman, 2002; Woodcock *et al.*, 2022).

Entretanto, a permanência na tarefa ou a mudança de estratégia após um feedback não comprovam, isoladamente, o desenvolvimento da autorregulação. Nesta pesquisa, esses comportamentos são analisados como indícios de processos iniciais de monitoramento e ajuste da ação, interpretados em conjunto com as demais fontes de dados.

No plano do planejamento pedagógico, o Desenho Universal para Aprendizagem (DUA) propõe reduzir barreiras por meio da diversificação das formas de engajamento, representação e ação (CAST, 2018; Meyer, Rose e Gordon, 2014). Em vez de pressupor um estudante médio e realizar adaptações posteriores, o DUA orienta a concepção de experiências que ofereçam diferentes possibilidades de acesso e participação desde o início.

O modelo se organiza em torno de três princípios complementares, fundamentados em estudos sobre o funcionamento das redes neurais envolvidas na aprendizagem (Meyer, Rose; Gordon, 2014). O primeiro, múltiplos meios de representação, corresponde ao “o quê” da aprendizagem: propõe apresentar um mesmo conteúdo por mais de uma via perceptiva (visual, textual, sonora ou manipulável) de modo que a compreensão não dependa de um único canal de acesso. O segundo, múltiplos meios de ação e expressão, corresponde ao “como” da aprendizagem: refere-se a oferecer diferentes formas de o estudante agir sobre o conteúdo e demonstrar o que compreendeu, considerando que nem todos os alunos planejam, executam ou comunicam suas respostas da mesma maneira. O terceiro, múltiplos meios de engajamento, corresponde ao “por quê” da aprendizagem: trata do interesse, da persistência e da autorregulação diante da tarefa, reconhecendo que fatores motivacionais variam entre os estudantes e que não existe uma única estratégia capaz de engajar toda a turma (CAST, 2018).

Nesta pesquisa, esses três princípios oferecem uma chave de leitura para a sequência didática investigada: a simulação no PhET, a montagem física com massinha condutiva e o jogo do Labirinto Elétrico com Arduino não constituem apenas recursos tecnológicos distintos, mas formas complementares de representar o mesmo conceito físico, de permitir que o estudante aja sobre esse conceito de maneiras

diferentes e de sustentar o engajamento por meio de tarefas com objetivo claro e retorno perceptível à ação.

A perspectiva inclusiva adotada neste estudo, portanto, não se baseia na atribuição de efeitos específicos da sequência aos participantes com TDAH nem na comparação entre estudantes com e sem diagnóstico. O interesse recai sobre as barreiras e as possibilidades de participação produzidas pela organização didática em uma turma cognitivamente heterogênea

2.4 ABORDAGENS MULTISSENSORIAIS E TECNOLOGIAS NO ENSINO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS

A integração de tecnologias digitais, materiais manipuláveis e dispositivos interativos amplia as formas de representação e interação com os fenômenos físicos. No ensino de circuitos elétricos, esses recursos podem desempenhar funções distintas: tornar visíveis relações abstratas, permitir a manipulação física de componentes e produzir respostas perceptíveis às ações dos estudantes. Seu potencial pedagógico, contudo, depende das relações conceituais estabelecidas entre essas experiências.

Recursos inovadores e atividades de exploração não produzem aprendizagem automaticamente. Kirschner, Sweller e Clark (2006) argumentam que situações com orientação mínima podem impor demandas cognitivas excessivas a estudantes que ainda não dispõem de conhecimentos suficientemente organizados para conduzir a exploração de forma autônoma. No ensino de circuitos elétricos, portanto, a ação sobre os recursos requer objetivos explícitos, tarefas progressivas e intervenções docentes que auxiliem na identificação das relações conceituais relevantes (Kirschner, Sweller e Clark, 2006; Seabra *et al.*, 2023).

Os simuladores digitais permitem visualizar e manipular relações que não são diretamente observáveis em circuitos reais. Ferramentas como o PhET Interactive Simulations possibilitam modificar componentes, testar configurações e acompanhar os efeitos das alterações realizadas, favorecendo a formulação e a revisão de hipóteses (De Medeiros Jr. *et al.*, 2024; Souza de Oliveira *et al.*, 2025). Seu valor pedagógico depende, entretanto, da interpretação das representações observadas e de sua relação com os modelos físicos em estudo.

A experiência virtual não reproduz todas as condições próprias da montagem de um circuito físico (Ochugboju e Díez-Palomar, 2025). Materiais manipuláveis podem complementar essa experiência ao introduzir aspectos como contato, separação, continuidade e falhas de conexão. A massinha condutiva, por exemplo, permite construir e modificar circuitos fisicamente configuráveis e observar as consequências das escolhas de montagem (Johnson e Thomas, 2010). Nessas situações, o erro pode fornecer informações para a interpretação e a revisão dos procedimentos.

Dispositivos baseados em Arduino acrescentam a possibilidade de associar o comportamento do circuito às ações do estudante por meio de respostas visuais ou sonoras. Em atividades gamificadas, desafios, objetivos e feedback imediato podem estabelecer ciclos de ação, resultado e ajuste da estratégia (Kotseva, 2019; Schons e Straub, 2023; Tai, Ajjawi e Umarova, 2024). Esses elementos não constituem aprendizagem em si, mas podem criar situações nas quais conceitos físicos sejam mobilizados para interpretar o funcionamento do dispositivo.

A pertinência de uma abordagem multissensorial não reside, portanto, na acumulação de recursos ou estímulos, mas na complementaridade entre as experiências propostas. Nesta pesquisa, essa complementaridade fundamenta a organização de um percurso no qual diferentes formas de representação e ação incidem sobre o mesmo objeto conceitual. A mediação docente articula esse percurso ao orientar observações, solicitar justificativas e estabelecer relações entre as experiências realizadas.

2.5 SÍNTESE TEÓRICA E IMPLICAÇÕES PARA A PESQUISA

A revisão desenvolvida neste capítulo permite estabelecer que a diversificação de recursos não constitui, por si só, condição suficiente para a aprendizagem. A hipótese pedagógica que orienta a investigação reside na possibilidade de que diferentes formas de representação e ação assumam funções complementares quando organizadas progressivamente em torno do mesmo objeto conceitual e articuladas pela mediação docente.

Desse quadro teórico derivam três dimensões analíticas. A primeira refere-se à compreensão conceitual, examinada por meio da formulação e da revisão de hipóteses, das relações estabelecidas entre diferentes representações e da

mobilização de conceitos para interpretar o funcionamento dos circuitos. A segunda compreende o engajamento e os processos iniciais de autorregulação, observados em comportamentos de permanência na tarefa, monitoramento de resultados e ajuste das ações diante de erros e feedbacks. A terceira corresponde à mediação pedagógica e à acessibilidade, considerando como a estruturação das atividades, as intervenções docentes e a diversificação das formas de interação ampliaram ou restringiram as possibilidades de participação.

Essas dimensões não são tratadas como efeitos independentes nem como indicadores de eficácia em sentido experimental. Constituem eixos interpretativos para examinar, em um contexto escolar situado, os indícios relacionados à construção conceitual, ao envolvimento com as tarefas e às possibilidades de participação. O capítulo seguinte apresenta o percurso metodológico adotado para a produção e a análise desses dados.

3 METODOLOGIA

3.1 NATUREZA E ABORDAGEM DA PESQUISA

Este estudo caracteriza-se como uma investigação de natureza aplicada, abordagem qualitativa e delineamento exploratório-descritivo. Seu propósito consiste em analisar, em contexto escolar, indícios de compreensão conceitual, engajamento, monitoramento das ações e participação produzidos durante uma sequência didática sobre circuitos elétricos no Ensino Médio.

A natureza aplicada decorre do interesse em investigar uma problemática concreta do ensino de Física: a organização de estratégias didáticas que favoreçam a compreensão de conceitos abstratos em turmas cognitivamente heterogêneas. O delineamento exploratório-descritivo mostra-se adequado por permitir examinar uma experiência pedagógica situada, sem pretensão de testar relações causais ou mensurar a eficácia da intervenção.

A abordagem qualitativa foi adotada por possibilitar a interpretação das explicações, ações, interações e formas de participação construídas durante as atividades. A produção dos dados envolveu observação participante, diário de campo, questionário reflexivo e registros fotográficos, utilizados de maneira complementar.

Essa caracterização segue a distinção entre pesquisas de natureza básica e aplicada, e entre abordagens quantitativas e qualitativas discutida por Gil (2019), bem como os critérios de delineamento exploratório-descritivo apresentados por Creswell e Creswell (2021).

3.2 CONTEXTO DA PESQUISA

A pesquisa foi desenvolvida em uma escola pública da rede estadual de ensino, em contexto regular de escolarização. A escolha desse espaço relacionou-se ao interesse de investigar a sequência nas condições concretas da Educação Básica, caracterizadas pela heterogeneidade dos estudantes e pela disponibilidade limitada de recursos laboratoriais.

A intervenção ocorreu em 12 de junho de 2025, em dois momentos correspondentes aos turnos da manhã e da tarde. A proposta integrou atividades de ensino e extensão universitária, com finalidade educativa e formativa. Não se tratou,

portanto, de uma situação experimental controlada, mas de uma prática pedagógica realizada no ambiente escolar.

A intervenção foi realizada com uma turma do Ensino Médio, dividida entre os turnos da manhã e da tarde, aos quais correspondiam subgrupos distintos de estudantes participantes.

As atividades foram desenvolvidas em duplas e pequenos grupos, configuração adotada para possibilitar a manipulação dos materiais, a discussão de hipóteses e a resolução compartilhada dos problemas apresentados.

3.3 PARTICIPANTES DA PESQUISA

Participaram da investigação oito estudantes do Ensino Médio, distribuídos entre os dois momentos da intervenção. A seleção foi intencional e vinculada à possibilidade de acompanhar uma experiência pedagógica inclusiva em contexto escolar real.

Os participantes constituíram um grupo situado, e não uma amostra representativa em sentido estatístico. A pesquisa não buscou generalizar os resultados para uma população, mas compreender como os estudantes interagiram com a sequência didática e que indícios emergiram em relação aos objetivos investigados.

O grupo apresentava diversidade de ritmos, modos de atenção e formas de participação. Entre os oito estudantes, quatro possuíam diagnóstico formal de Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH), segundo informações constantes nos registros pedagógicos e comunicadas pela gestão escolar à equipe responsável pela intervenção. Não foram consultados laudos clínicos nem coletadas informações diagnósticas individualizadas.

A presença desses participantes não foi tratada como variável de comparação. Não foram formados subgrupos de estudantes com e sem TDAH, nem atribuídos efeitos específicos da sequência com base no diagnóstico. O TDAH foi considerado uma das características do contexto cognitivamente heterogêneo em que a intervenção ocorreu.

3.4 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS

Os dados foram produzidos por meio de observação participante, diário de campo, questionário reflexivo e registros fotográficos. A articulação desses instrumentos possibilitou confrontar informações provenientes das ações observadas, dos registros produzidos durante a intervenção e das percepções expressas pelos estudantes.,

A observação participante, o diário de campo e os registros fotográficos foram utilizados de forma contínua nos três momentos da sequência didática (simulação com PhET, construção com massinha condutiva e jogo do Labirinto Elétrico). Já o questionário reflexivo foi aplicado uma única vez, ao final da intervenção, contemplando de forma integrada as três etapas realizadas.

A observação participante permitiu acompanhar as formas de interação com os recursos, os colegas e as orientações docentes. Foram observados episódios de formulação e revisão de hipóteses, identificação de problemas nas montagens, persistência diante de resultados inesperados, cooperação entre pares e ajuste das ações após os feedbacks fornecidos pelas atividades.

O diário de campo foi empregado para sistematizar as observações realizadas em cada etapa. Os registros contemplaram as explicações apresentadas pelos estudantes, as modificações realizadas nos circuitos, as interações entre os participantes, as intervenções docentes e os episódios relacionados à permanência e à participação nas tarefas. O instrumento também auxiliou na reconstrução do percurso da intervenção durante a análise.

Ao final das atividades, aplicou-se um questionário reflexivo composto por quatro questões fechadas e três abertas. As questões fechadas investigaram as percepções dos participantes sobre a contribuição de cada recurso para a compreensão dos circuitos, o interesse pelas atividades e sua permanência nas tarefas. As questões abertas solicitaram explicações e comentários sobre as experiências realizadas, permitindo identificar relações estabelecidas pelos estudantes entre as etapas.

As respostas fechadas foram utilizadas como indicadores descritivos das percepções do grupo e não como medidas objetivas de aprendizagem, atenção ou motivação. Em razão do número reduzido de participantes, os percentuais foram interpretados em conjunto com as frequências absolutas e com os dados qualitativos.

Os registros fotográficos documentaram as configurações dos circuitos, a disposição dos materiais e momentos de interação durante as atividades, sem identificação dos participantes. Esses registros desempenharam função predominantemente documental e auxiliaram na descrição do percurso realizado, não constituindo isoladamente evidência de aprendizagem

3.5 DESCRIÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A sequência foi estruturada em três etapas articuladas, nas quais os circuitos elétricos foram explorados por meio de diferentes formas de representação e ação. A primeira envolveu a manipulação de circuitos virtuais; a segunda introduziu as condições materiais de uma montagem física; e a terceira relacionou as ações dos estudantes ao funcionamento de um dispositivo interativo.

A organização buscou possibilitar que conceitos como continuidade, conexão, corrente elétrica e fechamento do circuito fossem retomados sob condições distintas. Os recursos utilizados foram selecionados considerando sua adequação aos objetivos didáticos, a segurança da aplicação e sua viabilidade nas condições da escola investigada.

3.5.1 Etapa 1 – Simulação digital com PhET

Na primeira etapa, os estudantes construíram e testaram circuitos virtuais por meio do simulador *Circuit Construction Kit*, da plataforma PhET Interactive Simulations. A atividade ocupou duas aulas de aproximadamente 50 minutos e articulou uma retomada conceitual inicial à exploração do ambiente virtual.

Inicialmente, foram retomados conceitos relacionados à corrente elétrica, à resistência, à diferença de potencial e às associações de componentes. Em seguida, os estudantes, organizados em duplas, construíram circuitos simples e realizaram alterações progressivas nas configurações. Também utilizaram instrumentos virtuais, como voltímetro e amperímetro, para observar as grandezas envolvidas.

A etapa teve como finalidade criar situações de formulação e testagem de hipóteses, permitindo observar as consequências das alterações realizadas nas representações dos circuitos.

3.5.2 Etapa 2 – Construção de circuitos com massinha condutiva

A segunda etapa consistiu na construção de circuitos físicos com massinha condutiva, LEDs, resistores, fios e baterias de 9 V. A atividade foi realizada em uma aula de aproximadamente 50 minutos, após a experiência com o simulador.

Organizados em duplas e trios, os estudantes construíram circuitos em série e em paralelo sobre superfícies isolantes. Durante as montagens, verificaram o posicionamento dos componentes, a continuidade das conexões, a polaridade dos LEDs e as condições associadas ao funcionamento ou não do circuito.

A atividade foi planejada para permitir que relações anteriormente exploradas em ambiente virtual fossem confrontadas com aspectos próprios de uma montagem física, como contato entre materiais, separação dos condutores e falhas de conexão.

Cabe destacar que a massinha condutiva não se comporta como um condutor ideal: possui resistência elétrica distribuída ao longo de seu volume, de modo que suas dimensões físicas afetam diretamente a passagem de corrente. Segundo a Segunda Lei de Ohm, a resistência elétrica R de um condutor homogêneo é dada por $R = \rho \cdot L/A$, em que ρ é a resistividade do material, L o comprimento e A a área da seção transversal (Halliday, Resnick; Walker, 2000). Como a massinha é maleável, esticá-la reduz a área e aumenta o comprimento (o que eleva sua resistência), enquanto achatá-la produz o efeito inverso. Essa propriedade não foi explorada nesta pesquisa, mas constitui uma oportunidade pedagógica adicional para relacionar o brilho do LED às variações físicas da própria massa.

3.5.3 Etapa 3 – Jogo “Labirinto Elétrico” com Arduino

Na terceira etapa, utilizou-se o jogo “Labirinto Elétrico”, construído com Arduino Uno, buzzer, LEDs, fios metálicos e material isolante. O dispositivo apresentava um percurso metálico pelo qual o participante deveria conduzir um arame sem tocar em suas laterais. Quando ocorria o contato, o circuito era fechado e sinais sonoro e luminoso eram acionados.

Os estudantes participaram alternadamente da execução do desafio e da observação das tentativas dos colegas. Durante a atividade, foram incentivados a interpretar a relação entre contato, fechamento do circuito e acionamento dos componentes.

A etapa teve como finalidade mobilizar conceitos anteriormente trabalhados em uma situação na qual a ação do estudante interferia diretamente no estado do circuito e produzia feedback imediato. Ao final, realizou-se uma discussão coletiva sobre o funcionamento do dispositivo e as relações entre sua configuração e os sinais emitidos.

Do ponto de vista técnico, a haste metálica e o trilho do labirinto funcionam como um chaveador de contato: enquanto não há toque, o pino digital do Arduino é mantido em nível lógico alto (HIGH) por meio do resistor de pull-up interno, configurado pela instrução `INPUT_PULLUP`; ao encostar, o circuito é fechado ao terra (GND) e o pino passa a ler nível lógico baixo (LOW), sinal interpretado pelo microcontrolador para acionar o LED e o buzzer (Kotseva, 2019). Essa leitura digital do estado do contato conecta o conceito de circuito elétrico, já explorado nas etapas anteriores, ao de automação e sensoriamento.

3.6 PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE DOS DADOS

A análise ocorreu em duas frentes complementares. As respostas às questões fechadas do questionário foram organizadas em frequências absolutas e percentuais, com finalidade descritiva. As respostas abertas, os registros do diário de campo e as informações provenientes da observação participante foram examinados qualitativamente.

O procedimento qualitativo seguiu os princípios da análise de conteúdo propostos por Bardin (2021), envolvendo leitura integral do material, identificação de unidades de sentido, codificação dos episódios relevantes e agrupamento interpretativo dos dados.

O procedimento qualitativo envolveu leitura integral do material, identificação de unidades de sentido relacionadas aos objetivos da pesquisa, codificação dos episódios relevantes e agrupamento interpretativo dos dados. A análise foi orientada por três eixos definidos a partir do referencial teórico:

1. Compreensão conceitual: formulação e revisão de hipóteses, utilização de conceitos para interpretar os circuitos e estabelecimento de relações entre diferentes etapas ou representações;

2. Engajamento e processos iniciais de monitoramento e ajuste: participação nas atividades, permanência na tarefa, observação dos resultados e modificação das ações diante de erros e feedbacks;
3. Mediação pedagógica e acessibilidade: intervenções docentes, estruturação das tarefas, interação entre pares e diversificação das formas de representação, ação e participação.

Os eixos funcionaram como categorias analíticas a priori, sem que cada comportamento observado fosse automaticamente interpretado como evidência de aprendizagem ou autorregulação. A correção de uma montagem, por exemplo, somente foi considerada indício conceitual quando acompanhada de explicação ou de ação coerente com uma relação física identificável.

A triangulação consistiu no confronto entre episódios registrados na observação, anotações do diário de campo e respostas do questionário. Os registros fotográficos foram utilizados como apoio documental. A codificação foi realizada pela pesquisadora e discutida com o orientador, buscando coerência entre os dados, os objetivos e o referencial teórico. Essa estratégia segue a lógica de triangulação de fontes e instrumentos discutida por Denzin (2017) para ampliar a consistência interpretativa dos dados qualitativos.

3.7 CONSIDERAÇÕES ÉTICAS DA PESQUISA

A intervenção foi desenvolvida no âmbito de atividades de ensino e extensão universitária, mediante autorização da gestão escolar. Foram adotados procedimentos para preservar a dignidade, a privacidade e a identidade dos participantes.

Os dados foram utilizados exclusivamente para fins acadêmicos. Não foram divulgados nomes, imagens identificáveis, documentos clínicos, diagnósticos individualizados ou informações que possibilitassem a identificação dos estudantes. Os registros fotográficos empregados no trabalho foram selecionados e apresentados de modo a preservar o anonimato.

A condução da investigação considerou os princípios éticos aplicáveis às pesquisas em Ciências Humanas e Sociais e as orientações das Resoluções nº 466/2012 e nº 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 RESULTADOS DA ETAPA DE SIMULAÇÃO COM PHET

A primeira etapa da sequência didática utilizou o *Circuit Construction Kit*, da plataforma PhET Interactive Simulations, para explorar relações entre corrente elétrica, resistência, diferença de potencial e configuração dos circuitos. Após uma retomada conceitual conduzida pelo professor, os estudantes, organizados em duplas, construíram circuitos virtuais, modificaram componentes, utilizaram instrumentos de medição e compararam associações em série e em paralelo.

A análise concentrou-se em dois aspectos observados durante essa etapa: os indícios de compreensão conceitual produzidos na formulação e na revisão de hipóteses e as formas de engajamento e participação mobilizadas pela exploração do ambiente virtual. Os dados foram interpretados a partir da articulação entre observação participante, diário de campo e questionário reflexivo.

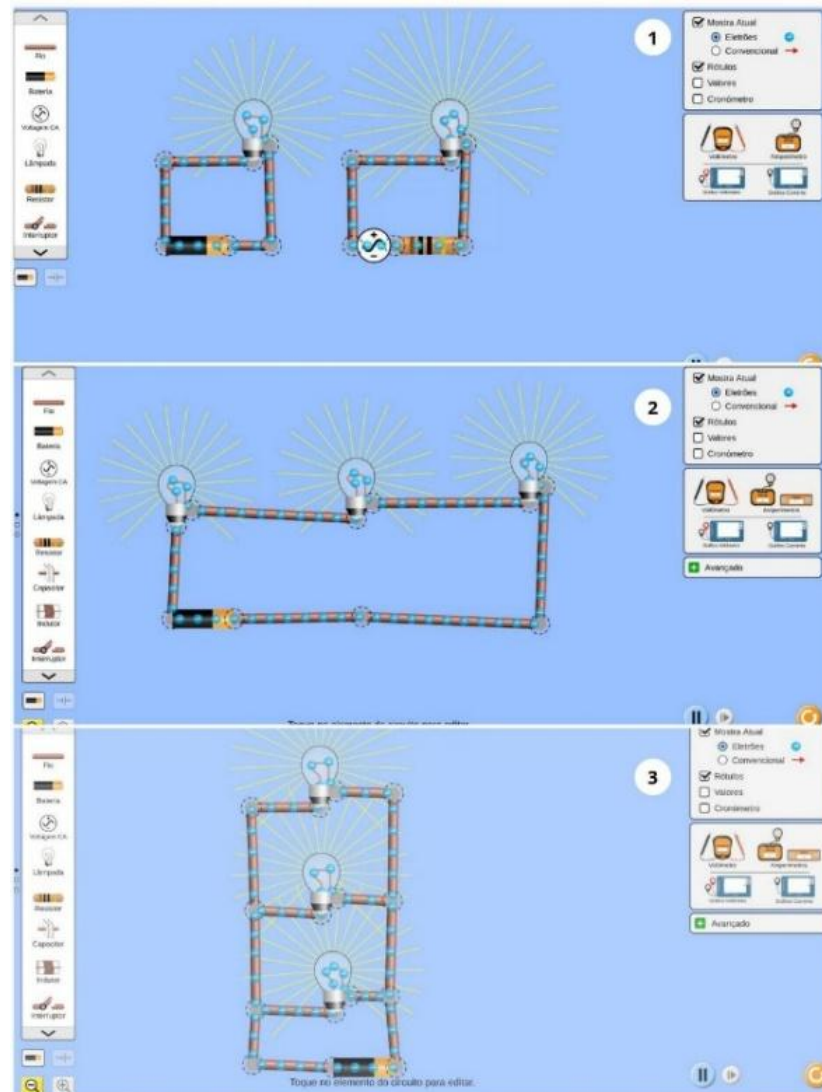
4.1.1 Compreensão conceitual mediada por simulações

A interação com o simulador tornou perceptíveis relações que, no estudo dos circuitos elétricos, não são diretamente observáveis. Ao modificar uma conexão ou substituir um componente, os estudantes visualizavam imediatamente as consequências da alteração realizada e podiam comparar o resultado obtido com suas previsões iniciais. Essa dinâmica criou situações recorrentes de formulação, testagem e revisão de hipóteses.

Um episódio registrado no diário de campo ilustra esse processo. Diante de uma lâmpada que não acendia, um estudante afirmou que “o caminho da corrente estava interrompido” e, sem intervenção direta do professor, reorganizou a ligação. A relevância analítica do episódio não está apenas na correção da montagem, mas na explicação utilizada para orientar a ação: o estudante relacionou o não funcionamento da lâmpada à descontinuidade do circuito e utilizou essa interpretação para modificar a configuração construída.

A Figura 1 apresenta exemplos de circuitos explorados durante a atividade no simulador, incluindo corrente contínua e alternada, além de associações em série e paralelo.

Figura 1 - Simulações no PhET



Arquivo dos autores (2025)

Os dados do questionário reflexivo são convergentes com os registros observacionais. Conforme apresentado na Tabela 1, sete dos oito estudantes (87,5%) consideraram que o simulador contribuiu completamente para a compreensão de corrente elétrica, resistência e diferença de potencial, enquanto um participante (12,5%) indicou contribuição parcial. Na comparação com a explicação convencional, seis estudantes (75%) assinalaram contribuição completa do ambiente virtual e dois (25%), contribuição parcial.

Tabela 1 – Síntese das respostas dos estudantes sobre o uso do simulador PhET.

Aspectos avaliados	Sim, completamente	Em parte	Não	Comentários qualitativos
O simulador ajudou na compreensão de corrente, resistência e ddp	87,5%	12,5%	0%	“Deu pra ver o que acontece quando muda a ligação.”
O ambiente virtual facilitou a aprendizagem em comparação à explicação tradicional	75%	25%	0%	“Ficou mais fácil entender o que é série e paralelo.”
O uso do PhET manteve a atenção durante a atividade	62,5%	37,5%	0%	“A gente ficou curioso pra ver o que ia acender.”
A atividade poderia ser aplicada novamente em outras turmas	100%	0%	0%	“Gostei porque dá pra testar e errar sem medo.”

Fonte: Questionário aplicado aos estudantes (2025).

Devido ao número reduzido de participantes, esses percentuais são apresentados como indicadores descritivos do grupo investigado, e não como medidas de eficácia do recurso. Sua relevância decorre da convergência com outros dados: a fala “deu pra ver o que acontece quando muda a ligação”, por exemplo, corresponde aos episódios observados durante a exploração, nos quais os estudantes modificavam os circuitos e interpretavam os efeitos produzidos.

Os resultados dialogam com estudos que atribuem às simulações digitais potencial para apoiar a investigação de fenômenos físicos por meio da manipulação de variáveis e da visualização de relações conceituais (De Medeiros Jr. *et al.*, 2024; Lubis *et al.*, 2025). No contexto analisado, o aspecto mais relevante não foi a

visualização isolada dos circuitos, mas a possibilidade de agir sobre a representação, observar as consequências e revisar a interpretação inicial.

À luz da Teoria da Aprendizagem Significativa, esses episódios podem ser interpretados como indícios de reorganização conceitual, pois os estudantes recorreram a conhecimentos sobre continuidade, conexão e circulação de corrente para explicar resultados e orientar novas ações. Os instrumentos utilizados, contudo, não permitem verificar a estabilidade dessas relações ao longo do tempo. Por essa razão, os dados sustentam a identificação de processos de revisão de hipóteses e construção de relações conceituais durante a atividade, sem comprovar aprendizagem significativa em sentido pleno.

4.1.2 Engajamento e participação dos estudantes

Os registros do diário de campo indicaram envolvimento contínuo dos estudantes na exploração dos circuitos virtuais. As duplas alternavam entre construção das montagens, observação dos resultados, discussão de possíveis causas para o funcionamento ou não dos circuitos e realização de novas tentativas.

A possibilidade de modificar rapidamente as configurações parece ter contribuído para a continuidade da interação com a tarefa. Quando uma montagem não produzia o resultado esperado, os estudantes podiam alterá-la sem necessidade de reconstruir todo o sistema. A fala “dá pra testar e errar sem medo” sintetiza essa percepção e encontra correspondência nos episódios em que uma tentativa malsucedida era seguida de discussão e nova configuração.

Os dados do questionário oferecem um indicador complementar dessa participação. Cinco estudantes (62,5%) afirmaram que o PhET manteve completamente sua atenção durante a atividade, enquanto três (37,5%) indicaram que isso ocorreu parcialmente. Todos consideraram que a proposta poderia ser realizada novamente em outras turmas. Esses resultados expressam a percepção dos participantes e, portanto, não constituem medidas objetivas de atenção; analisados em conjunto com o diário de campo, porém, são compatíveis com a permanência na tarefa observada durante a exploração.

A participação também ocorreu por meio da interação entre pares. Os estudantes discutiam possibilidades de conexão, comparavam resultados e sugeriam alterações nas montagens dos colegas. Em alguns momentos, participantes que

havia concluído determinada configuração auxiliaram outros grupos, fazendo circular explicações e estratégias para além das duplas inicialmente formadas.

Esses dados permitem delimitar com maior precisão a contribuição dessa etapa. O PhET não eliminou a necessidade de orientação docente nem assegurou, por si só, compreensão conceitual ou engajamento. Seu papel esteve em oferecer um ambiente no qual os estudantes puderam agir sobre representações do circuito, observar rapidamente as consequências de suas escolhas e compartilhar estratégias durante a resolução dos problemas propostos. Em uma turma cognitivamente heterogênea, essa combinação ampliou as possibilidades de interação com a tarefa sem exigir percursos distintos para diferentes estudantes

4.2 RESULTADOS DA EXPERIMENTAÇÃO COM MASSINHA CONDUTIVA

Na segunda etapa da sequência didática, os estudantes construíram circuitos elétricos com massinha condutiva, LEDs, resistores, fios e baterias de 9 V. Organizada em duplas e trios, a atividade introduziu condições próprias da montagem física, como contato entre materiais, separação dos condutores, posicionamento dos componentes e ocorrência de falhas nas conexões.

A análise concentrou-se em dois aspectos: os indícios de compreensão conceitual produzidos durante a construção e a revisão das montagens e as formas de cooperação observadas na resolução dos problemas experimentais. Diferentemente da etapa virtual, na qual as alterações eram realizadas sobre representações do circuito, os estudantes passaram a lidar diretamente com as consequências materiais de suas escolhas de montagem

4.2.1 Manipulação concreta e aprendizagem conceitual

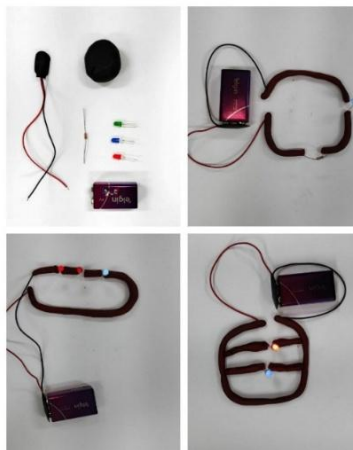
A experimentação com massinha condutiva introduziu problemas que exigiam dos estudantes não apenas reconhecer a configuração esperada de um circuito, mas construí-la fisicamente. O funcionamento das montagens dependia da disposição adequada dos componentes, da continuidade das conexões e da separação entre as porções de material condutivo. Dessa forma, relações anteriormente exploradas no ambiente virtual passaram a ser confrontadas com as condições concretas de funcionamento do circuito.

Um episódio registrado no diário de campo ilustra essa mudança. Diante de um LED que não acendia, um grupo examinou a montagem e identificou que duas porções de massinha condutiva estavam em contato direto. Após discutir possíveis causas, os estudantes separaram os materiais e restabeleceram o funcionamento do circuito.

Ao migrar da simulação para a montagem física, os estudantes confrontaram-se com condições que o ambiente virtual não reproduz, como a exigência de atenção à polaridade dos componentes. Diferentemente do que se poderia esperar, esse contato não gerou frustração: por se tratar da primeira experiência de montagem física para a maioria dos participantes, a atividade foi recebida com entusiasmo e curiosidade.

Nos casos em que ocorreram erros (como a inversão da polaridade do LED em relação à bateria, impedindo o acendimento), os estudantes não desistiram nem solicitaram intervenção imediata; em vez disso, retomaram a montagem, investigaram as possíveis causas e identificaram por conta própria a origem da falha. Esse comportamento sugere que o erro, nesse contexto, funcionou menos como obstáculo motivacional e mais como estímulo à investigação, sustentando o engajamento dos estudantes na tarefa mesmo diante de resultados inicialmente inesperados.

Figura 2 - Montagem de circuitos com massinha condutiva em grupos colaborativos



Arquivo dos autores (2025).

A relevância desse episódio reside no percurso realizado pelo grupo. O não funcionamento do LED levou os estudantes a examinar a configuração construída, identificar uma condição incompatível com o funcionamento esperado e modificar a montagem. Nesse caso, o resultado experimental forneceu informações para a revisão do procedimento e da explicação formulada pelo grupo.

É importante, contudo, distinguir a correção operacional da compreensão conceitual. Separar as porções de massinha e fazer o LED acender não constitui, isoladamente, evidência de compreensão do curto-circuito. O indício conceitual decorre da articulação entre a identificação do contato indevido, a modificação intencional da montagem e a interpretação de sua relação com o funcionamento do circuito. Essa distinção evita atribuir significado conceitual a qualquer procedimento bem-sucedido.

Os dados do questionário reflexivo são compatíveis com os registros observacionais. Conforme apresentado na Tabela 2, seis dos oito estudantes (75%) consideraram que a atividade contribuiu completamente para a compreensão do funcionamento dos circuitos, enquanto dois (25%) indicaram contribuição parcial. Além disso, cinco participantes (62,5%) afirmaram que a prática contribuiu completamente para recordar os conceitos explorados anteriormente no PhET, e três (37,5%) indicaram contribuição parcial.

Tabela 2 – Respostas dos estudantes sobre a construção de circuitos com massinha.

Aspectos avaliados	Sim, completamente	Em parte	Não	Comentários qualitativos
A atividade ajudou a entender o funcionamento dos circuitos	75%	25%	0%	“Ficou mais fácil entender fazendo com as mãos.”
O uso da massinha tornou a aula mais interessante	87,5%	12,5%	0%	“Gostei porque a gente faz e vê o LED acender.”
A prática ajudou a lembrar dos conceitos da aula anterior (PhET)	62,5%	37,5%	0%	“É igual o que vimos no simulador, só que de verdade.”
Foi fácil montar o circuito com ajuda do grupo	100%	0%	0%	“Todo mundo ajudou, foi mais divertido.”

Fonte: Questionário aplicado aos estudantes (2025).

A fala “é igual o que vimos no simulador, só que de verdade” merece atenção por indicar que o próprio estudante reconheceu uma relação entre as duas experiências. O comentário não comprova transferência conceitual, mas sugere que a montagem física não foi percebida como atividade inteiramente desvinculada da exploração anterior. Essa relação será retomada na análise integrada da sequência.

Os resultados dialogam com estudos que destacam o potencial de materiais manipuláveis para tornar observáveis relações funcionais em conteúdos abstratos (Johnson e Thomas, 2010; Battistel, Holz e Sauerwein, 2022). No contexto investigado, a contribuição específica da massinha condutiva esteve na introdução de condições materiais que precisavam ser consideradas pelos estudantes para que o circuito funcionasse.

À luz da Teoria da Aprendizagem Significativa, os episódios observados podem ser interpretados como indícios de ampliação das relações conceituais mobilizadas pelos estudantes, uma vez que conhecimentos anteriormente explorados foram retomados diante de problemas produzidos por uma montagem física. Os dados disponíveis, entretanto, permitem identificar esse movimento durante a intervenção, mas não avaliar sua estabilidade após o término da sequência.

4.2.2 Cooperação e construção coletiva do conhecimento

A organização em duplas e trios tornou a interação entre os estudantes parte do processo de construção e revisão dos circuitos. Os registros do diário de campo mostram que os participantes discutiam possibilidades de montagem, verificavam conexões e avaliavam conjuntamente as causas do funcionamento ou não dos LEDs.

Em vários grupos, houve distribuição espontânea de tarefas. Enquanto alguns estudantes posicionavam os componentes, outros verificavam as conexões ou observavam os efeitos das alterações realizadas. Essa divisão não permaneceu fixa: as funções eram alternadas conforme os problemas surgiam, permitindo diferentes formas de participação na atividade.

A cooperação tornou-se mais evidente diante das montagens que não funcionavam. Nessas situações, os estudantes comparavam interpretações e propunham alterações antes de realizar novas tentativas. Em alguns episódios, grupos que haviam concluído suas montagens auxiliaram colegas, indicando pontos de contato ou demonstrando outras possibilidades de conexão.

Esses comportamentos mostram que a resolução dos problemas experimentais não ocorreu apenas pela interação individual com os materiais. As hipóteses e os procedimentos também foram construídos e modificados por meio da circulação de explicações entre os participantes. O dado do questionário segundo o qual os oito estudantes consideraram que o auxílio do grupo facilitou completamente a montagem é compatível com essa dinâmica observada.

Entretanto, a presença de trabalho em grupo não deve ser tomada, por si só, como evidência de construção coletiva do conhecimento. O aspecto analiticamente relevante foi a ocorrência de episódios nos quais a contribuição dos pares interferiu efetivamente na interpretação do problema ou na decisão sobre como modificar a montagem. Nesses casos, a cooperação integrou o processo de resolução da tarefa, em vez de se limitar à divisão operacional dos materiais.

Os resultados desta etapa permitem, portanto, identificar duas contribuições específicas da experimentação com massinha condutiva. A primeira foi confrontar os estudantes com as condições materiais necessárias ao funcionamento dos circuitos. A segunda foi transformar parte desses problemas em objetos de discussão entre os pares. Assim, a atividade criou situações nas quais construir o circuito exigiu simultaneamente manipular componentes, interpretar resultados e negociar possíveis soluções.

4.3 RESULTADOS DA ATIVIDADE GAMIFICADA COM ARDUINO

Na terceira etapa da sequência didática, os estudantes participaram do jogo “Labirinto Elétrico”, desenvolvido com Arduino Uno, buzzer, LEDs e fios metálicos. O desafio consistia em conduzir um arame ao longo de um percurso sem tocar em suas laterais. Quando ocorria o contato entre as partes metálicas, o circuito era fechado e os sinais luminoso e sonoro eram acionados.

A atividade introduziu uma forma de interação distinta das etapas anteriores. No simulador, os estudantes modificavam representações virtuais; na experimentação com massinha condutiva, construíam fisicamente os circuitos; no jogo, suas próprias ações interferiam diretamente no estado do circuito e produziam respostas perceptíveis. A análise concentrou-se nos processos de monitoramento e ajuste das ações, bem como nas formas de engajamento e participação observadas durante a atividade

4.3.1 Feedback imediato e autorregulação da aprendizagem

O feedback imediato constituiu o principal elemento da dinâmica do jogo. Cada contato entre o arame e as laterais metálicas acionava simultaneamente o buzzer e os LEDs, tornando imediatamente perceptível o resultado da ação realizada. Os estudantes não precisavam aguardar uma correção externa para reconhecer o contato: a própria resposta do dispositivo fornecia essa informação.

Os registros do diário de campo mostram que, após sucessivos acionamentos, os participantes modificavam a forma de executar a tarefa. Entre os ajustes observados estavam a redução da velocidade, a alteração da posição das mãos e a adoção de movimentos mais controlados em trechos considerados difíceis. Expressões como “tem que ir mais devagar” e “não pode encostar aqui” acompanharam parte dessas mudanças.

Do ponto de vista da acessibilidade cognitiva, o circuito com Arduino pode ser interpretado como um extensor metacognitivo da atividade: o sinal sonoro do buzzer ofereceu uma resposta perceptiva imediata à ação do estudante, sem depender de julgamento verbal ou avaliativo por parte do professor. Esse aspecto é especialmente relevante para estudantes com TDAH, cujas dificuldades de memória de trabalho podem tornar instruções verbais longas ou feedbacks tardios menos eficazes para orientar o ajuste da ação (American Psychiatric Association, 2014). Um retorno sensorial simples e imediato, como o som do buzzer, reduz a carga cognitiva necessária para relacionar ação e consequência, favorecendo o monitoramento em tempo real do próprio desempenho.

Figura 3 - Atividade gamificada com Arduino (“Labirinto Elétrico”).



Arquivo dos autores (2025).

Esses comportamentos indicam monitoramento do resultado e ajuste da ação, mas exigem cautela interpretativa. Modificar um movimento após o acionamento do buzzer não constitui, isoladamente, evidência de autorregulação da aprendizagem. A relevância analítica está nos episódios em que os estudantes identificaram a relação entre suas ações e os resultados produzidos, formularam uma estratégia e a modificaram diante de novas tentativas. Nesses casos, observam-se elementos compatíveis com processos iniciais de monitoramento e ajuste discutidos por Zimmerman (2002).

Também é necessário distinguir a dimensão motora da dimensão conceitual. As falas “tem que ir mais devagar” e “não pode encostar aqui” referem-se predominantemente à execução do desafio. Já a afirmação “agora entendi por que fechou o circuito” mobiliza uma explicação sobre o funcionamento do dispositivo. Somente nesse segundo tipo de episódio há evidência de que o feedback foi relacionado ao conceito físico investigado.

Essa distinção é central para evitar que o desempenho no jogo seja tomado automaticamente como indicador de aprendizagem conceitual. O interesse pedagógico do dispositivo esteve na possibilidade de articular dois processos: o ajuste da ação diante do feedback e, mediante problematização, a interpretação do fechamento do circuito responsável pelo acionamento dos sinais.

Os dados do questionário reflexivo são compatíveis com essa análise. Sete dos oito estudantes (87,5%) consideraram que o jogo contribuiu completamente para a compreensão do funcionamento dos circuitos, enquanto um (12,5%) indicou contribuição parcial. Seis participantes (75%) afirmaram que os sinais luminosos e sonoros ajudaram completamente a identificar os erros, e dois (25%) indicaram contribuição parcial.

Tabela 3 – Percepções dos estudantes sobre o jogo “Labirinto Elétrico”

Aspectos avaliados	Sim, completamente	Em parte	Não	Comentários qualitativos
O jogo ajudou a compreender o funcionamento dos circuitos	87,5%	12,5%	0%	“Quando encostava, dava pra entender que fechava o circuito.”

Os sinais sonoros e luminosos ajudaram a identificar erros	75%	25%	0%	“O barulho avisava na hora que algo estava errado.”
A atividade favoreceu atenção e concentração	75%	25%	0%	“Precisava prestar atenção o tempo todo.”
O jogo tornou a aula mais interessante e motivadora	100%	0%	0%	“Aprender assim ficou mais divertido.”

Fonte: Questionário aplicado aos estudantes (2025).

A fala “quando encostava, dava pra entender que fechava o circuito” é particularmente relevante porque estabelece uma relação entre a ação realizada, a alteração no estado do circuito e a resposta do dispositivo. Trata-se de um indício mais consistente de mobilização conceitual do que a simples identificação de que houve um erro no percurso.

Os resultados dialogam com estudos que discutem o papel de ciclos de ação e feedback nos processos de monitoramento e ajuste das estratégias (Zimmerman, 2002; Woodcock *et al.*, 2022). No contexto investigado, contudo, os instrumentos utilizados não permitem afirmar desenvolvimento da autorregulação nem mensurar mudanças comportamentais ou atencionais. Os dados sustentam uma conclusão mais delimitada: durante a atividade, foram observados episódios nos quais o feedback imediato levou os estudantes a monitorar resultados, modificar ações e, em alguns casos, relacionar a resposta do dispositivo ao funcionamento do circuito elétrico.

4.3.2 Engajamento e motivação dos estudantes

Os registros observacionais indicaram participação contínua durante a atividade. O envolvimento não se restringiu aos estudantes que manipulavam o dispositivo: aqueles que aguardavam sua vez acompanhavam as tentativas, comentavam os trechos do percurso e sugeriam estratégias aos colegas.

Essa dinâmica ampliou as formas de participação na tarefa. Em diferentes momentos, a observação da tentativa de um colega foi seguida de comentários como “vai mais devagar” ou de indicações sobre os pontos do percurso considerados mais difíceis. Desse modo, o desafio produziu interação entre execução, observação e orientação entre pares.

Os dados do questionário são convergentes com esses registros. Os oito estudantes consideraram que o jogo tornou a aula mais interessante e motivadora, enquanto seis (75%) afirmaram que a atividade favoreceu completamente sua atenção e concentração e dois (25%) indicaram contribuição parcial. Como nas etapas anteriores, essas respostas expressam percepções dos participantes e não constituem medidas objetivas de atenção ou motivação.

A fala “aprender assim ficou mais divertido” evidencia a valorização do caráter lúdico da atividade, mas a observação do processo sugere que o envolvimento não pode ser atribuído apenas à presença do jogo. A tarefa combinava um objetivo claramente identificável, resultado imediato das ações, possibilidade de novas tentativas e acompanhamento dos colegas. Foram esses elementos, articulados, que estruturaram a dinâmica de participação observada.

Esse resultado é coerente com estudos que indicam que atividades gamificadas podem favorecer o envolvimento quando o desafio e o feedback estão vinculados a objetivos pedagógicos definidos (Kotseva, 2019; Tai, Ajjawji e Umarova, 2024). No caso investigado, a contribuição da atividade não esteve simplesmente em tornar a aula mais divertida, mas em criar uma situação na qual participar do desafio exigia observar resultados, ajustar ações e interpretar o comportamento do dispositivo.

A etapa com Arduino apresentou, portanto, uma contribuição específica para a sequência: as ações dos estudantes passaram a integrar o próprio funcionamento do circuito. O contato entre as partes metálicas modificava o estado do sistema e produzia uma resposta imediata, criando oportunidades tanto para o ajuste da execução quanto para a interpretação conceitual do fenômeno. Os dados não permitem atribuir à atividade efeitos sobre a atenção ou afirmar o desenvolvimento da autorregulação, mas evidenciam episódios de monitoramento, reformulação de estratégias e mobilização do conceito de fechamento do circuito durante a realização do desafio.

4.4 ANÁLISE INTEGRADA DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A análise conjunta das três etapas permite identificar um aspecto que não emerge da consideração isolada de cada recurso: a mudança progressiva na forma como os estudantes interagiram com o mesmo objeto conceitual. A sequência

deslocou-se da ação sobre representações virtuais para a ação sobre montagens físicas e, posteriormente, para uma situação em que a própria ação do estudante interferia no estado do circuito.

Essa progressão constitui o principal resultado integrador da investigação. Seu interesse não está na variedade dos recursos empregados, mas na possibilidade de retomar relações como continuidade, conexão e fechamento do circuito sob diferentes condições de interação. A análise a seguir discute as implicações dessa organização para a articulação entre as etapas, a construção conceitual e as possibilidades de participação.

4.4.1 Articulação entre simulação, experimentação e jogo

A complementaridade entre as etapas decorreu das diferentes ações exigidas dos estudantes. No PhET, eles modificaram representações e observaram os efeitos produzidos no circuito virtual. Na atividade com massinha condutiva, precisaram transformar relações anteriormente exploradas em uma montagem sujeita a condições materiais de funcionamento. No Labirinto Elétrico, suas próprias ações passaram a modificar o estado do circuito e a produzir respostas imediatas.

Desse modo, a progressão pode ser sintetizada em três movimentos: ação sobre a representação, ação sobre a montagem e ação integrada ao funcionamento do circuito. Essa formulação não significa que as etapas tenham constituído níveis hierárquicos de aprendizagem nem que uma forma de interação seja superior às demais. Cada atividade tornou acessíveis aspectos distintos do mesmo objeto conceitual.

Os dados indicam que essa progressão não permaneceu apenas no planejamento da sequência. Em episódios analisados nas seções anteriores, os estudantes retomaram relações exploradas em uma atividade para interpretar situações posteriores. A fala “é igual o que vimos no simulador, só que de verdade”, registrada durante a experimentação, constitui um indício explícito dessa aproximação. De modo semelhante, a relação entre contato, continuidade e fechamento do circuito reapareceu no Labirinto Elétrico sob outra condição de interação.

O resultado integrador, portanto, não consiste em afirmar que três recursos produziram mais aprendizagem do que um recurso isolado, comparação que o

delineamento da pesquisa não permite realizar. O que os dados sustentam é que a sequência criou oportunidades para que algumas relações conceituais fossem revisitadas em contextos distintos. Essa recorrência permitiu aos estudantes confrontar representações virtuais, condições materiais de montagem e respostas funcionais do circuito.

Essa interpretação dialoga com Tavares (2004) e Battistel, Holz e Sauerwein (2022), ao destacar a importância da articulação entre diferentes representações na construção do conhecimento físico. Também é coerente com Kirschner, Sweller e Clark (2006), uma vez que a exploração não ocorreu de forma inteiramente autônoma: as atividades foram organizadas progressivamente e acompanhadas por intervenções docentes destinadas a orientar a observação e explicitar relações entre as experiências.

Assim, a principal contribuição da articulação não esteve na acumulação de estímulos ou tecnologias, mas na recorrência do mesmo objeto conceitual sob diferentes formas de ação. Essa interpretação desloca o foco dos recursos individualmente considerados para as relações estabelecidas ao longo do percurso didático.

4.4.2 Contribuições para a aprendizagem significativa

À luz da Teoria da Aprendizagem Significativa, os dados permitem identificar indícios de construção e reorganização conceitual em três movimentos observados ao longo da intervenção: a revisão de hipóteses diante de resultados inesperados, a utilização de conceitos para orientar novas ações e a retomada de relações anteriormente exploradas em situações posteriores.

Esses movimentos são mais relevantes para a análise do que a execução correta das tarefas. Fazer uma lâmpada acender, construir uma montagem funcional ou completar o percurso do jogo não constitui, isoladamente, evidência de aprendizagem conceitual. Os indícios mais consistentes ocorreram quando os estudantes utilizaram relações como continuidade, conexão e fechamento do circuito para interpretar resultados e decidir como agir diante dos problemas encontrados.

A análise integrada acrescenta uma dimensão importante a esses episódios. Os conceitos não apareceram apenas uma vez nem sob uma única forma de representação. A continuidade do circuito, por exemplo, foi explorada na configuração

virtual, confrontada com as condições materiais da montagem e retomada na interpretação do acionamento do Labirinto Elétrico. Essa recorrência sob diferentes condições pode ter ampliado as possibilidades de estabelecimento de relações entre as experiências realizadas.

Tal movimento é compatível com os processos de diferenciação progressiva e reconciliação integradora discutidos por Ausubel, Novak e Hanesian (1980). Entretanto, essa aproximação teórica deve ser formulada com cautela. A pesquisa não avaliou conhecimentos prévios por meio de instrumento específico, não acompanhou a retenção ao longo do tempo e não utilizou medidas capazes de demonstrar mudanças na estrutura cognitiva dos participantes. Portanto, os resultados não comprovam a ocorrência de aprendizagem significativa em sentido pleno.

O que os dados permitem sustentar é uma conclusão mais delimitada: ao longo da intervenção, foram observados episódios de revisão de explicações, mobilização de conceitos diante de problemas e estabelecimento de relações entre experiências realizadas em diferentes etapas. Esses processos constituem indícios compatíveis com a construção de significados e oferecem sustentação empírica para interpretar o potencial da progressão didática investigada.

A mediação docente integrou esse processo. A continuidade conceitual entre as etapas não decorreu automaticamente da presença dos recursos, mas das intervenções que orientaram observações, solicitaram justificativas e retomaram relações anteriormente discutidas. Assim, os resultados reforçam que o potencial formativo da sequência esteve na articulação entre ação dos estudantes, recorrência conceitual e mediação pedagógica.

4.4.3 Implicações para a educação inclusiva no ensino de Física

A principal implicação inclusiva identificada na pesquisa não está na atribuição de efeitos específicos da sequência aos estudantes com TDAH, mas na organização de um percurso conceitual comum com diferentes possibilidades de interação e participação. Os estudantes não foram separados por diagnóstico nem receberam atividades paralelas com menor exigência conceitual.

Ao longo da sequência, a participação pôde ocorrer por diferentes vias: manipulação de representações virtuais, construção física dos circuitos, observação

dos resultados, discussão entre pares e interação com feedbacks visuais e sonoros. Os registros indicaram variações nas formas de envolvimento dos participantes entre as atividades, sem que uma única modalidade de interação fosse pressuposta como adequada a todos.

Essa organização é coerente com os princípios do Desenho Universal para Aprendizagem, especialmente com a diversificação dos meios de representação, ação e engajamento (CAST, 2018; Meyer, Rose e Gordon, 2014). No contexto investigado, entretanto, a contribuição do DUA não deve ser atribuída simplesmente à presença de estímulos visuais, auditivos e manipulativos. Seu aspecto mais relevante esteve na oferta de diferentes possibilidades de participação em torno dos mesmos conceitos e objetivos de aprendizagem.

Os registros de permanência na tarefa e ajuste das ações durante atividades com feedback imediato também merecem interpretação cautelosa. Embora quatro participantes apresentassem diagnóstico formal de TDAH, a pesquisa não realizou comparação entre estudantes com e sem diagnóstico nem utilizou instrumentos específicos de avaliação atencional ou autorregulatória. Por essa razão, não é possível atribuir à sequência efeitos específicos sobre o TDAH ou afirmar melhora da atenção.

Os dados sustentam uma conclusão mais restrita: no grupo investigado, tarefas organizadas com objetivos identificáveis, resultados perceptíveis e possibilidades de nova tentativa produziram episódios de permanência na atividade, monitoramento dos resultados e ajuste das ações. Esses achados são compatíveis com a literatura sobre estruturação das tarefas e feedback em contextos cognitivamente heterogêneos (Zimmerman, 2002; Moreira *et al.*, 2025), mas permanecem circunscritos às condições da intervenção realizada.

Desse modo, a contribuição inclusiva da sequência reside menos em adaptar recursos a um diagnóstico específico e mais em reduzir a dependência de uma única forma de acesso e participação. No contexto estudado, a combinação entre progressão das atividades, mediação docente e diversificação das formas de interação ampliou as oportunidades de envolvimento em um percurso conceitual compartilhado. Essa interpretação oferece uma contribuição para o planejamento inclusivo no ensino de Física sem pressupor que um recurso seja universalmente eficaz ou que a diversificação, por si só, assegure aprendizagem.

Para sintetizar os resultados discutidos ao longo deste capítulo, o Quadro 1 apresenta, para cada etapa da sequência didática, os instrumentos de coleta utilizados, a forma de análise empregada e uma síntese dos principais resultados observados.

Quadro 1 – Síntese dos instrumentos, procedimentos de análise e resultados por etapa da sequência didática

Etapa/Atividade	Instrumentos de coleta	Forma de análise	Principais resultados (síntese)
Etapa 1 — Simulação digital (PhET)	Observação participante; diário de campo; registros fotográficos	Análise de conteúdo (Bardin, 2021), categorização a priori nos três eixos analíticos	Indícios de formulação e revisão de hipóteses ao manipular variáveis do circuito virtual; engajamento sustentado pela retomada conceitual inicial
Etapa 2 — Massinha condutiva	Observação participante; diário de campo; registros fotográficos	Análise de conteúdo (Bardin, 2021); triangulação entre observação e diário	Confronto entre o circuito ideal (simulado) e as condições materiais reais; cooperação espontânea na resolução de problemas de montagem
Etapa 3 — Labirinto Elétrico (Arduino)	Observação participante; diário de campo; registros fotográficos	Análise de conteúdo (qualitativa)	Feedback sonoro/luminoso imediato favoreceu monitoramento e ajuste da ação
Ao final das três etapas	Questionário reflexivo (4 questões fechadas, 3 abertas) — único, cobrindo as três atividades	Frequências absolutas e percentuais (questões fechadas) + análise de conteúdo (questões abertas)	87,5% relataram compreensão completa do funcionamento dos circuitos por meio do conjunto da sequência

Fonte: autoria (2025).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa analisou o potencial de uma sequência didática multissensorial, organizada pela integração progressiva entre simulação digital, experimentação concreta e atividade gamificada, para a aprendizagem conceitual, o engajamento e a participação no ensino de circuitos elétricos em um contexto educacional inclusivo.

Os resultados indicam que a principal contribuição da proposta não esteve no uso isolado do PhET, da massinha condutiva ou do Labirinto Elétrico, mas na complementaridade entre as formas de interação proporcionadas por esses recursos. Ao longo da sequência, os estudantes passaram da ação sobre representações virtuais para a ação sobre montagens físicas e, posteriormente, para uma situação em que suas próprias ações interferiam no estado do circuito. Essa progressão permitiu retomar conceitos como continuidade, conexão e fechamento do circuito sob diferentes condições.

A triangulação entre observação participante, diário de campo e questionário reflexivo revelou episódios de formulação e revisão de hipóteses, identificação de falhas e mobilização de conhecimentos explorados em etapas anteriores para interpretar novas situações. Esses episódios constituem indícios de construção e reorganização conceitual compatíveis com o referencial da Aprendizagem Significativa. Entretanto, os instrumentos utilizados não permitem comprovar mudanças na estrutura cognitiva dos participantes nem a estabilidade das aprendizagens ao longo do tempo.

Também foram observados episódios de cooperação, permanência na tarefa e ajuste das ações diante de erros e feedbacks. Tais comportamentos foram interpretados como indícios de processos iniciais de monitoramento e ajuste da ação, e não como comprovação do desenvolvimento da autorregulação. Da mesma forma, não é possível atribuir efeitos específicos da sequência aos participantes com TDAH, pois a pesquisa não comparou grupos nem utilizou instrumentos específicos de avaliação atencional ou autorregulatória.

Do ponto de vista inclusivo, a sequência ofereceu diferentes possibilidades de representação, ação e engajamento em um percurso conceitual comum, sem separar os estudantes por diagnóstico ou reduzir as exigências das atividades. Nesse aspecto, os resultados mostram-se coerentes com os princípios do Desenho Universal para

Aprendizagem e reforçam a importância de considerar a diversidade das formas de participação desde o planejamento pedagógico.

A contribuição do estudo para o Ensino de Física reside, portanto, na análise da complementaridade funcional entre recursos organizados em torno do mesmo objeto conceitual. No contexto investigado, a simulação favoreceu a exploração de representações e relações; a experimentação introduziu as condições materiais da montagem; e a atividade gamificada associou a ação dos estudantes ao funcionamento do circuito. A mediação docente contribuiu para estabelecer relações entre essas experiências e evitar que fossem percebidas como atividades independentes.

Entre as limitações da pesquisa, destacam-se o número reduzido de participantes, a realização de uma única intervenção e a ausência de instrumentos específicos para avaliar retenção conceitual, atenção e autorregulação. Os resultados devem, portanto, ser compreendidos como evidências qualitativas situadas. Estudos futuros poderão investigar sequências semelhantes em intervenções mais longas e com outros grupos, incorporando avaliações em diferentes momentos e examinando com maior profundidade como conhecimentos mobilizados em uma etapa são retomados e transformados nas seguintes.

Conclui-se que, nas condições investigadas, a organização progressiva da sequência ampliou as oportunidades para formular hipóteses, interpretar resultados, revisar ações e participar das atividades. Sua principal contribuição está na recorrência dos mesmos conceitos em diferentes formas de interação, articuladas pela mediação docente. Essa perspectiva desloca o foco da simples variedade de recursos para a organização das relações conceituais ao longo do percurso didático, oferecendo elementos para o planejamento e a investigação de propostas inclusivas no ensino de Física.

Como desdobramento futuro, a sequência didática investigada poderia incorporar ferramentas de inteligência artificial generativa ao planejamento pedagógico inclusivo. Pesquisas recentes indicam potencial dessas ferramentas para apoiar a personalização de atividades, a produção de materiais didáticos e a elaboração de narrativas gamificadas adaptadas a diferentes perfis de estudantes (Maia *et al.*, 2024). No contexto desta pesquisa, tal apoio poderia se materializar na criação de variações narrativas para o jogo do Labirinto Elétrico ou no suporte à

codificação em plataformas como Tinkercad e Arduino, ampliando o acesso de licenciandos em formação inicial a esse tipo de recurso.

REFERÊNCIAS

AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION. *Manual diagnóstico e estatístico de transtornos mentais: DSM-5*. Tradução de M. I. C. Nascimento *et al.*; revisão técnica de A. V. Cordioli *et al.* 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2014.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. *Psicologia educacional*. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. *Educational psychology: a cognitive view*. 2. ed. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1978.

BARDIN, L. *Análise de conteúdo*. São Paulo: Edições 70, 2021.

BATTISTEL, O. L.; HOLZ, S. M.; SAUERWEIN, I. Motivação e eficiência em estratégias de ensino de física no nível médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 44, e20210278, 2022. DOI: 10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0278. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0278>. Acesso em: 30 jul. 2026.

BRASIL. Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015. Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência). *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 7 jul. 2015. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm. Acesso em: 30 jul. 2026.

BRASIL. Lei nº 14.254, de 30 de novembro de 2021. Dispõe sobre o acompanhamento integral para educandos com dislexia ou Transtorno do Deficit de Atenção com Hiperatividade (TDAH) ou outro transtorno de aprendizagem. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 2021. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14254.htm. Acesso em: 30 jul. 2026.

BRASIL. Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular: educação é a base*. Brasília, DF: MEC, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br>. Acesso em: 30 jul. 2026.

CAST. *Universal Design for Learning guidelines version 2.2*. Wakefield, MA: CAST, 2018. Disponível em: <https://udlguidelines.cast.org>. Acesso em: 30 jul. 2026.

CONSELHO NACIONAL DE SAÚDE (Brasil). Resolução nº 466, de 12 de dezembro de 2012. Aprova diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 2013. Disponível em: <https://conselho.saude.gov.br/resolucoes/2012/Reso466.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2026.

HARYADI, R.; PUJIASTUTI, H. Learning electric circuits using the STEM approach to improve scientific thinking skills and practice. *International Journal of STEM Education for Sustainability*, v. 3, n. 2, p. 286-296, 2023. DOI: 10.53889/ijses.v3i2.223. Disponível em: <https://doi.org/10.53889/ijses.v3i2.223>. Acesso em: 30 jul. 2026.

JOHNSON, S.; THOMAS, G. Squishy circuits: a tangible medium for electronics education. In: SIGCHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, 2010, Atlanta. *Anais [...]*. New York: ACM, 2010. p. 409-412. DOI:

10.1145/1753846.1754109. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/1753846.1754109>. Acesso em: 30 jul. 2026.

KIRSCHNER, P. A.; SWELLER, J.; CLARK, R. E. Why minimal guidance during instruction does not work. *Educational Psychologist*, v. 41, n. 2, p. 75-86, 2006. DOI: 10.1207/s15326985ep4102_1. Disponível em: https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_1. Acesso em: 30 jul. 2026.

KOTSEVA, I. Physics experiments and demonstrations based on Arduino. *AIP Conference Proceedings*, v. 2075, 020001, 2019. DOI: 10.1063/1.5091417. Disponível em: <https://doi.org/10.1063/1.5091417>. Acesso em: 30 jul. 2026.

LUBIS, P. H. M.; LEFUDIN, L.; KHAOKHAJORN, W.; EMILIANNUR, E.; WINARNO, N.; HAKIM, L. Enhancing students' conceptual understanding and motivation in electricity through web-based problem-solving with PhET simulations. *Jurnal Pendidikan MIPA*, v. 26, n. 2, p. 1107-1128, 2025. DOI: 10.23960/jpmipa.v26i2.pp1107-1128. Disponível em: <https://doi.org/10.23960/jpmipa.v26i2.pp1107-1128>. Acesso em: 30 jul. 2026.

MAIA, J. R. et al. A Inteligência Artificial Generativa no Ensino de Física: potencialidades, desafios e implicações pedagógicas. *Com a Palavra, o Professor*, v. 9, n. 25, p. 213-237, 2024. Disponível em: <http://revista.geem.mat.br/index.php/CPP/article/view/1082>. Acesso em: 30 jul. 2026.

MEDEIROS JÚNIOR, R. N. de; NAIA, M. D.; LOPES, J. B. Simulações interativas do PhET nas práticas de ensino da Física: uma meta-análise. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 46, e20240186, 2024. DOI: 10.1590/1806-9126-RBEF-2024-0186. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2024-0186>. Acesso em: 30 jul. 2026.

MEYER, A.; ROSE, D. H.; GORDON, D. *Universal Design for Learning: theory and practice*. Wakefield, MA: CAST, 2014.

MORAIS, E. C. de; MATTOS, G. dos S. C.; REIS, D. A. dos; MOYSES, F. B. S.; SILVA, M. M. da. Educação inclusiva: práticas e desafios para uma escola mais acolhedora. *Aracê*, v. 7, n. 6, p. 31732-31748, 2025. DOI: 10.56238/arev7n6-149. Disponível em: <https://doi.org/10.56238/arev7n6-149>. Acesso em: 30 jul. 2026.

MOREIRA, L. de S.; SANTOS, M. L. dos; COSTA, J.; VIÇOSI, N. N.; SILVA, R. I. P. da. Práticas pedagógicas inclusivas no ensino básico: experiências e resultados. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, v. 11, n. 11, p. 553-564, 2025. DOI: 10.51891/rease.v11i11.21919. Disponível em: <https://doi.org/10.51891/rease.v11i11.21919>. Acesso em: 30 jul. 2026.

NARCISS, S.; ALEMDAG, E. Learning from errors and failure in educational contexts: new insights and future directions for research and practice. *British Journal of Educational Psychology*, v. 95, p. 197-218, 2025. DOI: 10.1111/bjep.12716. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/bjep.12716>. Acesso em: 30 jul. 2026.

OCHUGBOJU, A. O.; DÍEZ-PALOMAR, J. Systematic review on the use of virtual and physical manipulatives by primary school teachers. *Social Sciences & Humanities*

Open, v. 5, art. 102188, 2025. DOI: 10.1016/j.ssaho.2025.102188. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2025.102188>. Acesso em: 30 jul. 2026.

PAPPAS, M. A.; PAPOUTSI, C.; DRIGAS, A. S. Policies, practices, and attitudes toward inclusive education: the case of Greece. *Social Sciences*, v. 7, n. 6, art. 90, 2018. DOI: 10.3390/socsci7060090. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/socsci7060090>. Acesso em: 30 jul. 2026.

SCHONS, J. C. S.; STRAUB, S. L. W. Gamificação no ensino fundamental: metodologia ativa na perspectiva da educação inclusiva e da valorização das potencialidades de todos os estudantes. *Eventos Pedagógicos*, v. 14, n. 2, p. 424-442, 2023. DOI: 10.30681/rep.v14i2.10580. Disponível em: <https://doi.org/10.30681/rep.v14i2.10580>. Acesso em: 30 jul. 2026.

SEABRA, A. D.; COSTA, V. O.; BITTENCOURT, E. S.; GONÇALVES, T. V. O.; BENTO-TORRES, J.; BENTO-TORRES, N. V. O. Metodologias ativas como instrumento de formação acadêmica e científica no ensino em ciências do movimento. *Educação e Pesquisa*, v. 49, e255299, 2023. DOI: 10.1590/s1678-4634202349255299. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-4634202349255299>. Acesso em: 30 jul. 2026.

SILVA, E. J. da; DANTAS, T. C.; GONÇALVES, E. A.; CARTAXO, C. A.; BARBOSA, M. E.; MONTENEGRO, R. K. A. TDAH e aprendizagem escolar: desafios, estratégias pedagógicas e inclusão educacional. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, v. 11, n. 5, p. 4504-4522, 2025. DOI: 10.51891/rease.v11i5.19309. Disponível em: <https://doi.org/10.51891/rease.v11i5.19309>. Acesso em: 30 jul. 2026.

SILVA, J. B. da. David Ausubel's theory of meaningful learning: an analysis of the necessary conditions. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 4, e09932803, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i4.2803. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i4.2803>. Acesso em: 30 jul. 2026.

SOUZA DE OLIVEIRA, K.; SILVA SANTOS, G. da; OLIVEIRA RIBEIRO, J.; CASTRO SANTOS, L. W. de; MARQUES PEREIRA, A. As tecnologias digitais e o ensino de Física. *Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro*, v. 2, n. 1, p. 1-12, 2025. DOI: 10.61164/rmnm.v2i01.3459. Disponível em: <https://doi.org/10.61164/rmnm.v2i01.3459>. Acesso em: 30 jul. 2026.

SOUZA, J. R. da T.; SANTOS, H. G. Utilização de metodologias ativas para o processo de educação inclusiva em aulas de Ciências da Natureza. *Fórum e Metodologias Ativas*, v. 3, n. 1, p. 479-487, 2021. Disponível em: <https://publicacoescesu.cps.sp.gov.br/fma/article/view/62>. Acesso em: 30 jul. 2026.

STANLEY, S. D.; ROBERTSON, W. B. Qualitative research in science education: a literature review of current publications. *European Journal of Science and Mathematics Education*, v. 12, n. 2, p. 175-199, 2024. DOI: 10.30935/scimath/14293. Disponível em: <https://doi.org/10.30935/scimath/14293>. Acesso em: 30 jul. 2026.

TAI, J.; AJJAWI, R.; UMAROVA, A. How do students experience inclusive assessment? A critical review of contemporary literature. *International Journal of Inclusive Education*, v. 28, n. 9, p. 1936-1953, 2024. DOI:

10.1080/13603116.2021.2011441. Disponível em:
<https://doi.org/10.1080/13603116.2021.2011441>. Acesso em: 30 jul. 2026.

TAVARES, R. *Aprendizagem significativa: fundamentos e aplicações*. São Paulo: Cortez, 2004.

VILELA, J. L. L.; ARAÚJO, M. S. T. de. Análise das tendências da educação inclusiva no ensino de Física baseada no mapeamento de teses e dissertações. *Revista Dynamis*, v. 28, n. 1, p. 24-45, 2022. DOI: 10.7867/1982-4866.2022v28n1p24-45. Disponível em: <https://doi.org/10.7867/1982-4866.2022v28n1p24-45>. Acesso em: 30 jul. 2026.

WOODCOCK, S.; SHARMA, U.; SUBBAN, P.; HITCHES, E. Teacher self-efficacy and inclusive education practices: rethinking teachers' engagement with inclusive practices. *Teaching and Teacher Education*, v. 110, art. 103802, 2022. DOI: 10.1016/j.tate.2022.103802. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tate.2022.103802>. Acesso em: 30 jul. 2026.

ZHANG, F. Effects of game-based learning on academic outcomes: a study of technology acceptance and self-regulation in college students. *Heliyon*, v. 10, n. 16, e36249, 2024. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e36249. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36249>. Acesso em: 30 jul. 2026.

ZIMMERMAN, B. J. Becoming a self-regulated learner. *Theory Into Practice*, v. 41, n. 2, p. 64-70, 2002. DOI: 10.1207/s15430421tip4102_2. Disponível em: https://doi.org/10.1207/s15430421tip4102_2. Acesso em: 30 jul. 2026.

APÊNDICE A – Plano de aula e código do labirinto elétrico

Professor(a):

Disciplina:

Escola:

Data:

Turma:

Tema: Eletricidade

Habilidades:

EM13CNT107 - Realizar previsões qualitativas e quantitativas sobre o funcionamento de geradores, motores elétricos e seus componentes, bobinas, transformadores, pilhas, baterias e dispositivos eletrônicos, com base na análise dos processos de transformação e condução de energia envolvidos - com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais -, para propor ações que visem a sustentabilidade.

EM13CNT205 - Interpretar resultados e realizar previsões sobre atividades experimentais, fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas noções de probabilidade e incerteza, reconhecendo os limites explicativos das ciências.

EM13CNT301 - Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.

EM13CNT308 - Investigar e analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos e sistemas de automação para compreender as tecnologias contemporâneas e avaliar seus impactos sociais, culturais e ambientais.

Objetivos:

Compreender o conceito de corrente elétrica e circuitos elétricos;

Desenvolver habilidades práticas por meio de experimentos;

Utilizar a plataforma Phet para simulações interativas;

Relacionar os conceitos estudados com situações do cotidiano.

Conteúdo:

Corrente elétrica;

Circuitos Elétricos.

Duração: 3 aulas de 45 minutos.

Recursos didáticos:

- Notebook ou Data show;
- Simulador phet;
- Quadro branco;
- Pilotos e apagador;
- Massinha de modelar;
- Leds e resistor de 1k;
- Bateria 9v e conectores;
- 2 resistores de 220 ohm;

- Arduino uno;
- Protoboard;
- Pushbutton;
- 1 resistores de 330 ohm;
- Fios jumper;
- Material metálico (arame).

Metodologia:

A aula será dividida em três etapas: A primeira será dedicada à simulação e explicação de circuitos elétricos com a plataforma Phet. Esse simulador está disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/circuit-construction-kit-ac

Figura A. 1 -Controles de aplicação

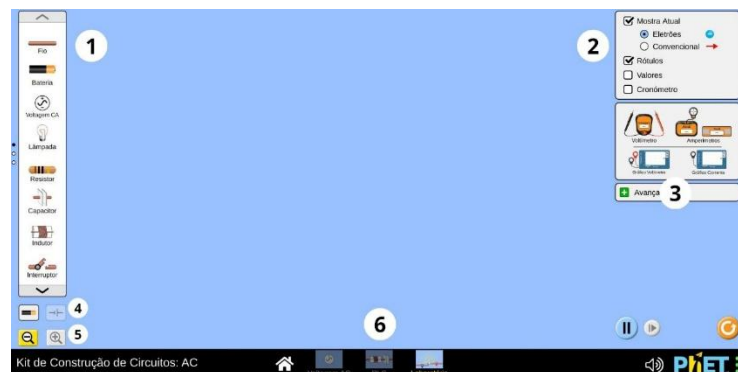


Figura A1: Controles de aplicação: (1) componentes para a construção do circuito elétrico, (2) aparecer e esconder o sentido do fluxo da corrente elétrica, (3) utilizar um voltímetro e/ou um amperímetro, (4) alternar entre visualizar os componentes em figuras ou em símbolos, (5) ampliar/diminuir o circuito e (6) alterar entre o simulador básico e o de laboratório.

Figura A. 2- Controles de aplicação

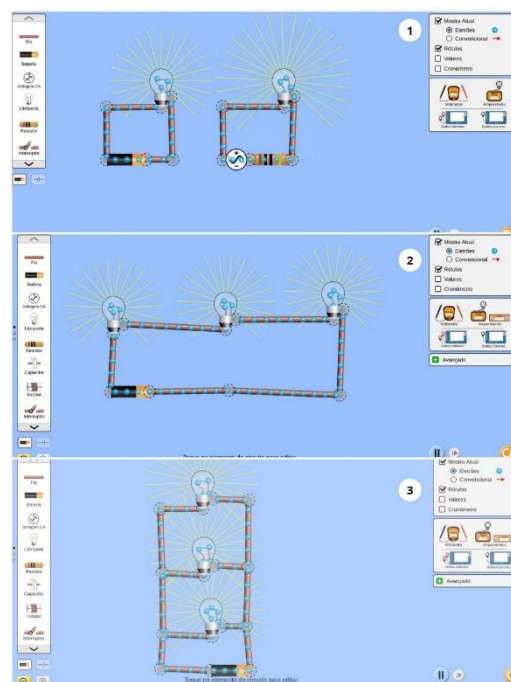
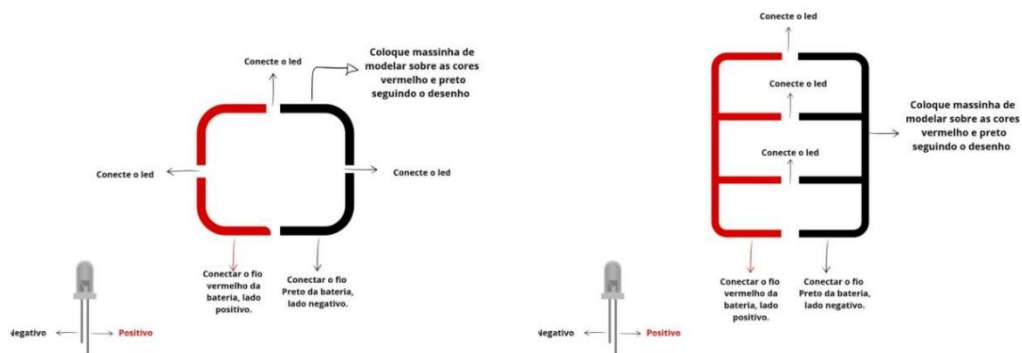


Figura A2: (1) simulação para explicar corrente contínua e alternada, (2) simulação de circuito em série e (3) simulação de circuito em paralelo.

Na segunda etapa, os alunos irão fazer a construção dos circuitos com massinha de modelar para colocar em prática o que foi aprendido na etapa 01.

Observação para o professor: ao utilizar a massinha condutiva, atentar para a resistência distribuída do material que varia conforme a espessura e o comprimento da porção utilizada, segundo a relação $R = \rho \cdot L/A$ e para a polaridade dos LEDs, cuja inversão dos terminais impede o acendimento. Esses dois aspectos podem ser explorados como situações-problema para discutir, respectivamente, a Segunda Lei de Ohm e o funcionamento de componentes semicondutores.

Figura A. 3- Diagrama de montagem dos circuitos.



Na terceira etapa, será a exploração de um labirinto elétrico utilizando Arduino, para apresentar aos alunos um exemplo prático do dia a dia que tem circuito elétrico.

O jogo de labirinto elétrico é uma forma divertida de aplicação de circuitos elétricos que desafia os alunos a demonstrar habilidades e concentração. Baseado em uma estrutura metálica, o objetivo é percorrer o caminho sem encostar em suas paredes condutoras. Os erros serão sinalizados por LEDs e sons emitidos por um buzzer. Este jogo cria uma experiência interativa que testa os reflexos e a previsão dos alunos.

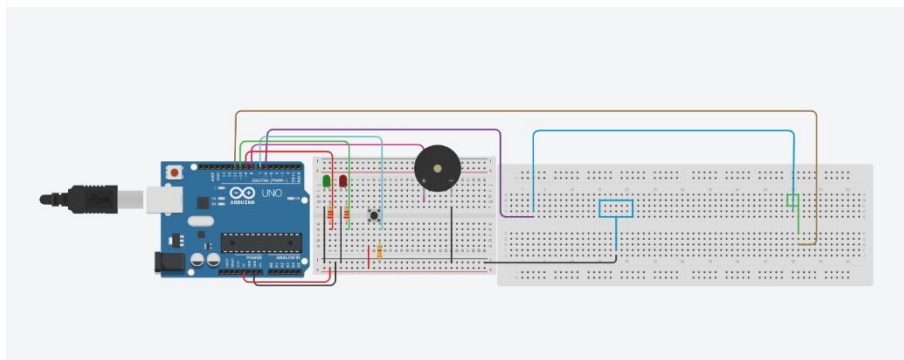
Para que o jogo fique ainda mais divertido, pode-se utilizar algum tipo de recompensa, como um bombom de chocolate, brindes educativos ou até mesmo um quadro dos campeões com os melhores tempos ou menor número de erros. Esse tipo de incentivo irá estimular a participação, aumentar o engajamento e irá promover um ambiente de aprendizagem mais leve e motivador.

Figura A. 4 - Labirinto elétrico



Esquema de montagem:

Figura A. 5 - Esquema de montagem feito por meio da plataforma Tinkercad.



Avaliação:

A avaliação será realizada por meio de duas abordagens complementares: escrita e observacional.

A avaliação escrita ocorrerá por meio de um formulário de avaliação individual, no qual os alunos avaliarão a atividade proposta. Paralelamente, durante a execução do projeto, será observada a participação ativa dos alunos, sua cooperação em grupo, o envolvimento com as atividades propostas, a capacidade de resolução de problemas, o raciocínio aplicado às situações práticas e a demonstração de habilidades e conhecimentos adquiridos ao longo do processo. Essa observação permitirá uma avaliação mais completa e qualitativa, considerando atitudes, competências e desempenho prático, mesmo quando não expressos por meio da escrita.

Referências:

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de Física – Eletromagnetismo (Volume 3). 9. Ed. Rio de Janeiro: Grupo Gen – LTC, 2000. 389 p. ISBN 978-8521621393.

Tinkercad. Aplicativo Web para projetos 3D, eletrônica e codificação. Disponível em: <https://www.tinkercad.com/dashboard>, Acesso em: maio de 2025.

Phet colorado Aplicativo web de simuladores em ciências e matemática. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-ac/latest/circuit-construction-kit-ac_pt_BR. Acesso em: junho de 2025.

Código do jogo labirinto elétrico

```
#define fio1 6

#define bot 7

#define ledVermelho 9

#define ledVerde 10

#define buzzer 8

#define fioFinal 11

void setup() {

  pinMode(fio1, INPUT_PULLUP);

  pinMode(bot, INPUT_PULLUP);

  pinMode(fioFinal, INPUT_PULLUP);

  pinMode(ledVermelho, OUTPUT);

  pinMode(ledVerde, OUTPUT);

  pinMode(buzzer, OUTPUT);

  delay(2000); // pequena pausa antes de iniciar
}

void loop() {

  bool fio = 0, encostou = HIGH;

  bool fimDeJogo = HIGH;
```

```

// Loop principal do jogo (enquanto o jogador não encostar no fio o jogo continua)
while (digitalRead(fioFinal) == HIGH) {

    fio = digitalRead(fio1);

    if (fio == LOW && encostou == HIGH) {

        digitalWrite(ledVermelho, HIGH);

        digitalWrite(ledVerde, LOW);

        digitalWrite(buzzer, HIGH);

    } else if (fio == HIGH) {

        digitalWrite(ledVermelho, LOW);

        digitalWrite(ledVerde, HIGH);

        digitalWrite(buzzer, LOW);

    }

    encostou = fio;

    delay(100);

}

// Quando o jogador toca no fio final
for (int i = 0; i < 5; i++) {

    digitalWrite(ledVermelho, HIGH);

    digitalWrite(buzzer, HIGH);

    delay(300);

    digitalWrite(ledVermelho, LOW);

    digitalWrite(ledVerde, HIGH);

    digitalWrite(buzzer, LOW);

    delay(300);

    digitalWrite(ledVerde, LOW);

}

```

```
// Desliga tudo

digitalWrite(ledVermelho, LOW);

digitalWrite(ledVerde, LOW);

digitalWrite(buzzer, LOW);

// Espera apertar botão para reiniciar
while (digitalRead(bot) == HIGH) {

    // Aguarda botão ser pressionado

    delay(50);

}

delay(500);

}
```

APÊNDICE B – Questionário de avaliação e resposta dos alunos

Nome: _____

1. Como você avaliaria a atividade de hoje?

☐ Excelente

☐ Boa

☐ Regular

☐ Ruim

2. Qual parte da atividade você mais gostou? Por quê?

3. Você sentiu que conseguiu entender os conceitos de circuitos elétricos?

☐ Sim, completamente

☐ Em parte

☐ Não

4. O uso da plataforma PhET ajudou na sua aprendizagem? Explique.

5. O jogo do labirinto elétrico foi útil para aplicar o que você aprendeu?

☐ Sim

☐ Mais ou menos

☐ Não

6. Quais dificuldades você encontrou durante a atividade?

7. O que você sugere para melhorar esta atividade no futuro?

Nome: Helena de Edirécia dos Santos Borges

1. Como você avaliaria a atividade de hoje?

- ☒ Excelente
☐ Boa
☐ Regular
☐ Ruim

2. Qual parte da atividade você mais gostou? Por quê?

A do labirinto e a parte de montar o circuito.
 É a ligação dos eletrônicos

3. Você sentiu que conseguiu entender os conceitos de circuitos elétricos?

- ☒ Sim, completamente
☐ Em parte
☐ Não

4. O uso da plataforma PhET ajudou na sua aprendizagem? Explique.

Sim, vou aderir e ele mesmo estudar.

5. O jogo do labirinto elétrico foi útil para aplicar o que você aprendeu?

- ☒ Sim
☐ Mais ou menos
☐ Não

6. Quais dificuldades você encontrou durante a atividade?

Só para fazer a atividade do comutador

7. O que você sugere para melhorar esta atividade no futuro?

A metodologia dela é muito boa, certeza que vai ser uma ótima professora

Nome: Grazilly

1. Como você avaliaria a atividade de hoje?

- ☒ Excelente
☐ Boa
☐ Regular
☐ Ruim

2. Qual parte da atividade você mais gostou? Por quê?

Labirinto elétrico

3. Você sentiu que conseguiu entender os conceitos de circuitos elétricos?

- ☒ Sim, completamente
☐ Em parte
☐ Não

4. O uso da plataforma PhET ajudou na sua aprendizagem? Explique.

Sim muito legal, pois conseguiu visualizar sobre o conceito de circuito.

5. O jogo do labirinto elétrico foi útil para aplicar o que você aprendeu?

- ☒ Sim
☐ Mais ou menos
☐ Não

6. Quais dificuldades você encontrou durante a atividade?

Sim, pois continha muitos detalhes

7. O que você sugere para melhorar esta atividade no futuro?

Não tem.

Nome: Vilma Juliana de Souza Araújo

1. Como você avaliaria a atividade de hoje?

- ☒ Excelente
☐ Boa
☐ Regular
☐ Ruim

2. Qual parte da atividade você mais gostou? Por quê?

a parte que eu nunca gostei de o labirinto elétrico
 é muito legal e divertida

3. Você sentiu que conseguiu entender os conceitos de circuitos elétricos?

- ☒ Sim, completamente
☐ Em parte
☐ Não

4. O uso da plataforma PhET ajudou na sua aprendizagem? Explique.

Ajudou bastante, com a explicação da professora
 esclarecendo cada parte da explicação dela
 ajudou bastante para o meu entendimento.

5. O jogo do labirinto elétrico foi útil para aplicar o que você aprendeu?

- ☒ Sim
☐ Mais ou menos
☐ Não

6. Quais dificuldades você encontrou durante a atividade?

Nenhuma.

7. O que você sugere para melhorar esta atividade no futuro?

não sugiro nada porque
 tudo está perfeito.

Nome: Raquel Cristina Mota

1. Como você avaliaria a atividade de hoje?

- ☒ Excelente
☐ Boa
☐ Regular
☐ Ruim

2. Qual parte da atividade você mais gostou? Por quê?

a parte do labirinto elétrico.

3. Você sentiu que conseguiu entender os conceitos de circuitos elétricos?

- ☒ Sim, completamente
☐ Em parte
☐ Não

4. O uso da plataforma PhET ajudou na sua aprendizagem? Explique.

Sim, ajudou porque eu aprendi mais.

5. O jogo do labirinto elétrico foi útil para aplicar o que você aprendeu?

- ☒ Sim
☐ Mais ou menos
☐ Não

6. Quais dificuldades você encontrou durante a atividade?

Nenhuma.

7. O que você sugere para melhorar esta atividade no futuro?

mais exemplos práticos.

Nome: pedro italo

1. Como você avaliaria a atividade de hoje?

☒ Excelente

☐ Boa

☐ Regular

☐ Ruim

2. Qual parte da atividade você mais gostou? Por quê?

foi quando descobrimos como guiar a ligação das eletrificadas

3. Você sentiu que conseguiu entender os conceitos de circuitos elétricos?

☒ Sim, completamente

☐ Em parte

☐ Não

4. O uso da plataforma PhET ajudou na sua aprendizagem? Explique.

Sim, nos entendemos melhor como funcionar realmente.

5. O jogo do labirinto elétrico foi útil para aplicar o que você aprendeu?

☒ Sim

☐ Mais ou menos

☐ Não

6. Quais dificuldades você encontrou durante a atividade?

no labirinto

7. O que você sugere para melhorar esta atividade no futuro?

não, estou satisfeito esta ótima



Nome: Henrique Paulo

1. Como você avaliaria a atividade de hoje?

☒ Excelente

☐ Boa

☐ Regular

☐ Ruim

2. Qual parte da atividade você mais gostou? Por quê?

A de jogar o circuito elétrico

3. Você sentiu que conseguiu entender os conceitos de circuitos elétricos?

☒ Sim, completamente

☐ Em parte

☐ Não

4. O uso da plataforma PhET ajudou na sua aprendizagem? Explique.

ajudou muito para entender sobre os circuitos

5. O jogo do labirinto elétrico foi útil para aplicar o que você aprendeu?

☒ Sim

☐ Mais ou menos

☐ Não

6. Quais dificuldades você encontrou durante a atividade?

nao conseguiu ganhar o jogo

7. O que você sugere para melhorar esta atividade no futuro?

colocar mais sobre os jogos que tem no computador
depois o jogo do computador

Nome: gabriel stuart daniel

1. Como você avaliaria a atividade de hoje?

☒ Excelente

☐ Boa

☐ Regular

☐ Ruim

2. Qual parte da atividade você mais gostou? Por quê?

a parte do labirinto, pois foi um desafio legal

3. Você sentiu que conseguiu entender os conceitos de circuitos elétricos?

☒ Sim, completamente

☐ Em parte

☐ Não

4. O uso da plataforma PhET ajudou na sua aprendizagem? Explique.

Sim, porque foi possível ver como que funciona um circuito.

5. O jogo do labirinto elétrico foi útil para aplicar o que você aprendeu?

☒ Sim

☐ Mais ou menos

☐ Não

6. Quais dificuldades você encontrou durante a atividade?

mais ou menos, foi na hora de utilizar o PhET no computador

7. O que você sugere para melhorar esta atividade no futuro?

com outros estudos bastante

Nome: Wany Vitória Damasceno Silva

1. Como você avaliaria a atividade de hoje?

☒ Excelente

☐ Boa

☐ Regular

☐ Ruim

2. Qual parte da atividade você mais gostou? Por quê?

Atividade de montar o PhET do labirinto elétrico

3. Você sentiu que conseguiu entender os conceitos de circuitos elétricos?

☒ Sim, completamente

☐ Em parte

☐ Não

4. O uso da plataforma PhET ajudou na sua aprendizagem? Explique.

Sim, ajudou muito, por que obtive o conhecimento de algo que gostei.

5. O jogo do labirinto elétrico foi útil para aplicar o que você aprendeu?

☒ Sim

☐ Mais ou menos

☐ Não

6. Quais dificuldades você encontrou durante a atividade?

de passar no labirinto elétrico

7. O que você sugere para melhorar esta atividade no futuro?

mais exemplos de circuitos