


O USO DO PHET COLORADO COMO RECURSO PEDAGÓGICO PARA O ENSINO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS NO ENSINO MÉDIO

 <https://doi.org/10.56238/arev6n3-333>

Data de submissão: 26/10/2024

Data de publicação: 26/11/2024

Silvio Luiz Rutz da Silva

Doutor em Ciência dos Materiais – UFRGS – RS; 2001
Departamento de Física; Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física – Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física – Polo 35; Universidade Estadual de Ponta Grossa
E-mail: rutz@urpg.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1859-9018>
LATTES: <http://lattes.cnpq.br/2928452720980161>

Ivo Patel

Licenciado em Ensino de Física – UNOESTE – SP; 1999
Secretaria de Estado da Educação – PR
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física – Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física – Polo 35; Universidade Estadual de Ponta Grossa
E-mail: ivopatel@hotmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5431-6598>
LATTES: <http://lattes.cnpq.br/1896565793762178>

RESUMO

O estudo aborda a questão central de como superar as limitações do ensino tradicional de circuitos elétricos no Ensino Médio, especialmente em contextos com recursos laboratoriais limitados. O objetivo é investigar a eficácia do simulador PhET Colorado como ferramenta pedagógica para facilitar a compreensão dos conceitos de circuitos elétricos, promovendo uma abordagem interativa que combina teoria e prática. A pesquisa foi aplicada em uma turma de terceiro ano do Ensino Médio, onde os alunos puderam manipular variáveis como resistência e tensão em simulações de circuitos, favorecendo o entendimento de conceitos complexos como a Lei de Ohm. Os principais resultados indicam que o PhET Colorado não só facilita a compreensão dos conteúdos, mas também estimula o protagonismo e o pensamento crítico dos estudantes, engajando-os ativamente no processo de aprendizado. A simulação interativa mostrou-se eficaz para o desenvolvimento de habilidades cognitivas e uma maior retenção dos conteúdos, superando as limitações das metodologias expositivas tradicionais. Conclui-se que o PhET é uma ferramenta acessível e inclusiva, que democratiza o ensino de Física ao proporcionar uma experiência prática e significativa, alinhada às demandas da educação contemporânea. Como perspectivas futuras, o estudo sugere a exploração do PhET em outras áreas da Física e a integração com metodologias colaborativas, como a aprendizagem baseada em problemas, para enriquecer ainda mais o ensino científico e incentivar a troca de conhecimentos entre os alunos em um ambiente interativo e de reflexão crítica.

Palavras-chave: Aprendizagem Interativa. Ensino Experimental. Simulação Virtual. Metodologias Ativas. Engajamento Estudantil.

1 INTRODUÇÃO

A proposta de inovação metodológica no ensino de Física é uma demanda emergente para o ambiente educacional contemporâneo, que enfrenta desafios na efetiva compreensão e aplicação dos conteúdos científicos pelos alunos. No Brasil, as metodologias tradicionais de ensino têm apresentado limitações em acompanhar o ritmo de transformação social e tecnológica, limitando a capacidade dos estudantes de perceber a relevância da Física em seu cotidiano (Gomes et al., 2020).

O estudo de circuitos elétricos é um tema essencial da Física. Devido à sua complexidade teórica, esse tópico frequentemente desafia a compreensão dos alunos. Esse contexto exige novas abordagens que combinem teoria e prática, promovendo um conhecimento mais sólido e aplicável (Rosenthal e Henderson, 2006; Zacharia, 2007; Akdemir, 2015).

Dentro deste cenário, a utilização de metodologias ativas, que envolvem o estudante como protagonista de seu aprendizado, surge como uma estratégia eficiente para promover a aprendizagem significativa. Segundo Vygotsky (1991, 2000, 2002), o conhecimento é construído em interação com o meio e com o outro, o que reforça a relevância das metodologias que priorizam a experimentação e a participação ativa dos alunos (Karpov, 1995; Jaramillo, 1996; Newman e Latifi, 2020).

O uso de recursos digitais, como os simuladores, permite a aplicação dessas metodologias de forma ainda mais eficaz, ampliando as possibilidades de interação e imersão dos alunos no conteúdo abordado. A prática com tecnologias como o PhET Colorado, uma plataforma de simulação interativa para o estudo de circuitos elétricos, contribui para tornar o processo de ensino mais envolvente e acessível (Vick, 2010; Masruroh et al., 2020). Esse recurso permite que os alunos experimentem, de maneira segura e dinâmica, conceitos fundamentais da Física, desenvolvendo habilidades cognitivas de análise e resolução de problemas (Coelho, 2002).

O principal objetivo do estudo do uso do PhET Colorado no ensino de circuitos elétricos é verificar como essa tecnologia pode facilitar o processo de aprendizagem para estudantes do Ensino Médio. O PhET, desenvolvido pela Universidade do Colorado, oferece uma vasta gama de simulações interativas que abrange diversas áreas das ciências, como Física, Biologia e Química, sendo uma ferramenta inovadora e acessível (Wieman, 2007).

No ensino de circuitos elétricos, o PhET permite a criação de ambientes simulados onde os alunos podem manipular variáveis, observar comportamentos de circuitos em diferentes configurações e construir uma compreensão mais profunda sobre conceitos como corrente elétrica, resistência e tensão (Lee et al., 2015; Masruroh et al., 2020; Bantolo e Mistades, 2021; Anisa e Astriani, 2022).

Dessa forma, o uso do PhET Colorado proporciona uma aprendizagem que vai além da memorização de fórmulas e conceitos abstratos, facilitando a aplicação dos conteúdos em situações

práticas e cotidianas, alinhando-se aos objetivos de uma educação moderna e interativa. Eles facilitam a aplicação prática dos conteúdos, aumentam o interesse e a motivação dos alunos, e desenvolvem competências científicas e do século XXI. Além disso, são ferramentas flexíveis e acessíveis, eficazes tanto no ensino presencial quanto remoto, contribuindo significativamente para a melhoria do desempenho acadêmico dos alunos. (Perkins et al., 2006; Wieman, 2007; Petrova, 2020).

A justificativa para a adoção do PhET Colorado no ensino de circuitos elétricos é ancorada na necessidade de estratégias que combinem teoria e prática em um mesmo contexto educativo, promovendo a formação de habilidades científicas fundamentais. As simulações interativas melhoram a compreensão conceitual, são acessíveis e fáceis de usar, podem substituir laboratórios reais e resultam em um desempenho acadêmico superior. Portanto, a integração do PhET nas aulas de Física é uma estratégia eficaz para promover uma educação científica de qualidade. (Vick, 2010; Najib et al., 2022; Fuada et al., 2023; Wirda et al., 2023).

Além disso, as simulações interativas do PhET atraem e mantêm o interesse dos estudantes, oferecendo uma experiência de aprendizado que estimula a autonomia e o pensamento crítico. Essa metodologia atende às demandas da educação atual, valorizando a preparação dos estudantes para enfrentar problemas reais de maneira criativa e analítica (Wieman et al., 2008; Khaeruddin e Bancong, 2022; Rayan, et al., 2023).

As metodologias ativas, fundamentadas em abordagens como a aprendizagem por descoberta, têm se mostrado eficazes no desenvolvimento de habilidades cognitivas e na retenção do conhecimento. Bruner (1961) afirma que o aprendizado significativo ocorre quando o aluno é incentivado a descobrir conceitos por si próprio, o que gera maior engajamento e entendimento.

A utilização do PhET Colorado segue esse princípio ao permitir que os alunos explorem fenômenos físicos de maneira interativa, experimentando diferentes configurações e resultados. Essa metodologia transforma o aluno de um receptor passivo para um agente ativo do processo de aprendizagem, incentivando a participação e a formulação de hipóteses (Prince, 2004). Assim, ao combinar a prática com a teoria, o PhET Colorado se apresenta como uma ferramenta essencial para consolidar o entendimento sobre circuitos elétricos e outros temas complexos da Física (Vick, 2010; Fuada et al., 2023).

No contexto da aprendizagem de circuitos elétricos, a interatividade proporcionada pelo PhET Colorado possibilita aos alunos a experimentação em um ambiente seguro, permitindo que manipulem variáveis como tensão, corrente e resistência (Vick, 2010; Fuada et al., 2023). Segundo Wieman et al. (2008), o uso de simuladores na educação de ciências melhora o desempenho e a compreensão dos

alunos, visto que as simulações contribuem para a fixação dos conteúdos através de experiências repetitivas e ajustáveis.

No PhET Colorado, os estudantes podem, por exemplo, criar circuitos em série ou em paralelo, testar o impacto da adição de novos elementos e observar como o comportamento do circuito é alterado. Essa prática proporciona uma visualização clara dos fenômenos físicos, fortalecendo o entendimento de princípios fundamentais, como a Lei de Ohm, que são essenciais para o estudo de circuitos elétricos (Vick, 2010; Fuada et al., 2023).

Outro aspecto relevante do PhET Colorado é sua capacidade de tornar o aprendizado mais inclusivo e acessível, especialmente em contextos de desigualdade estrutural. Muitas escolas enfrentam dificuldades em proporcionar recursos suficientes para atividades práticas, e o uso de simuladores digitais é uma solução eficiente e econômica para essa situação (Perkins et al., 2006; Moore et al. 2014).

Wieman (2007) destaca que o uso de simuladores no ensino de ciências torna o conteúdo mais acessível para estudantes de diferentes contextos e habilidades, promovendo uma democratização do conhecimento científico. O PhET Colorado é uma ferramenta gratuita que pode ser utilizada tanto em sala de aula quanto em ambientes virtuais, ampliando o alcance das atividades educativas e permitindo que o ensino de Física esteja ao alcance de mais alunos (Perkins et al., 2006; Sotiriou et al., 2010; Saudelli et al., 2021).

A capacidade do PhET Colorado de se adaptar ao ritmo e às necessidades individuais de cada aluno é outro fator que reforça sua utilidade como ferramenta pedagógica. Com o simulador, os estudantes podem explorar conceitos conforme sua própria velocidade de aprendizagem, revisitando conteúdos e experimentando novas configurações de circuito quantas vezes forem necessárias para consolidar o conhecimento (Salunke e Vijayalakshmi, 2016; Alsadoon et al., 2017; Dhang e Kumar, 2023).

Essa flexibilidade estimula a autonomia e a responsabilidade dos alunos no próprio processo de aprendizagem, o que, segundo Bruner (1961), é fundamental para a formação de um pensamento científico sólido. Em um mundo cada vez mais voltado para o conhecimento e a inovação, essa metodologia contribui para o desenvolvimento de habilidades essenciais ao contexto atual (Laar et al., 2017).

Em síntese, o uso do PhET Colorado no ensino de circuitos elétricos representa uma alternativa eficaz para superar as limitações das abordagens tradicionais, promovendo um ensino de Física mais dinâmico, interativo e inclusivo (Vick, 2010; Masruroh et al., 2020; Bantolo e Mistades, 2021; Burde et al., 2022).

A metodologia aplicada através do PhET integra os princípios das metodologias ativas e da aprendizagem por descoberta, proporcionando uma experiência educativa que vai além da simples exposição teórica. O envolvimento dos alunos na experimentação e manipulação dos conceitos em um ambiente simulado permite que eles construam conhecimento com base na prática, consolidando o aprendizado e preparando-os para a aplicação desses conceitos em contextos reais (Coelho, 2002).

Conclui-se, então, que a utilização de ferramentas tecnológicas como o PhET Colorado no ensino de Física não apenas facilita a compreensão dos conteúdos como também desperta o interesse e engajamento dos alunos no processo de aprendizagem (Perkins et al., 2006; Wieman et al., 2008; Pranata, 2023).

A questão central que esta pesquisa busca responder está relacionada aos desafios enfrentados no ensino de circuitos elétricos em física para estudantes do ensino médio. Tradicionalmente, o ensino de física no Brasil tem se baseado em métodos expositivos e práticas mecânicas de memorização que, muitas vezes, limitam a capacidade dos alunos de relacionarem os conteúdos teóricos com o mundo ao seu redor (Bezerra et al., 2011).

A dificuldade dos estudantes em compreender circuitos elétricos, por exemplo, é amplificada pela ausência de abordagens que promovam a experimentação prática e interativa, dificultando o entendimento de conceitos fundamentais como tensão, corrente e resistência. Além disso, muitos contextos escolares não dispõem de laboratórios ou recursos físicos adequados para a realização de experimentos práticos, o que restringe as oportunidades de aprendizagem prática e interativa (Lowe et al., 2013; Daba et al., 2016; Nawaz, 2022).

Diante dessas dificuldades, surge a necessidade de investigar se o uso de recursos tecnológicos, como o simulador PhET Colorado, pode contribuir para superar as limitações impostas pela falta de infraestrutura, ao mesmo tempo em que proporciona uma experiência de ensino mais dinâmica e acessível. Dessa forma, a questão que orienta este estudo é: "De que maneira o PhET Colorado pode ser integrado ao ensino de circuitos elétricos para promover uma aprendizagem mais significativa e interativa, superando as limitações estruturais e metodológicas presentes nas escolas?"

O objetivo desta pesquisa é investigar o potencial do simulador PhET Colorado como ferramenta pedagógica para facilitar o ensino e a aprendizagem de circuitos elétricos no ensino médio, promovendo uma abordagem que una teoria e prática em um ambiente de interação e experimentação virtual.

Especificamente, a pesquisa visa elaborar e aplicar uma unidade didática baseada no uso do PhET Colorado, observando o desenvolvimento cognitivo dos alunos no tema de circuitos elétricos e

analisando como a simulação pode influenciar na compreensão de conceitos como corrente, resistência e tensão.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A utilização de simulações e metodologias ativas no ensino tem ganhado relevância, especialmente nas disciplinas que demandam experimentação prática, como a física. No contexto educacional atual, a busca por alternativas que proporcionem uma aprendizagem mais interativa e contextualizada tem se intensificado (Rutten et al., 2015; Ceberio et al., 2016; Kumar e Tiwari, 2018; Ogegbo e Ramnarain, 2022).

Simulações digitais e metodologias que envolvem o estudante como protagonista do processo de aprendizagem representam uma adaptação necessária às transformações do cenário educativo (Wieman et al., 2008; Chernikova et al., 2020).

Esses métodos baseiam-se na construção ativa do conhecimento, onde o aluno não é apenas um receptor, mas um agente que investiga e interpreta fenômenos. Segundo Gomes et al.(2020), o uso de tecnologias interativas em sala de aula permite que os estudantes explorem situações simuladas, desenvolvendo habilidades cognitivas que vão além da memorização.

As simulações fornecem uma alternativa prática para a experimentação física, que muitas vezes não é viável em ambientes escolares devido a restrições de infraestrutura. Ao criar ambientes de aprendizagem que combinam teoria e prática, as simulações digitais contribuem para uma formação mais completa e adaptada às demandas contemporâneas (Rutten et al., 2012; Psocka, 2013.).

Um dos principais fundamentos teóricos para o uso de simulações interativas na educação é a teoria sociointeracionista de Vygotsky (1991, 2000, 2002), que propõe que o aprendizado ocorre de forma mais eficaz em contextos sociais.

De acordo com Vygotsky (1991, 2000, 2002), a aprendizagem é um processo mediado pela interação social e pelo contexto cultural em que o indivíduo está inserido. Através dessa mediação, o estudante é capaz de internalizar conhecimentos de maneira mais significativa, construindo habilidades cognitivas que vão ao encontro das demandas do ambiente em que vive (Poehner e Infante, 2017; Guo, 2020).

No ensino de física, essa teoria fundamenta a importância de metodologias que permitam a interação entre o aluno e o conhecimento, de modo que ele possa experimentar, questionar e construir significados em relação aos conteúdos estudados (Candido et al., 2022; Ogegbo e Ramnarain, 2022).

A simulação digital é uma ferramenta que, ao criar um ambiente controlado e interativo, permite que o aluno interaja com o conhecimento de forma semelhante à interação social proposta por Vygotsky

(1991, 2000, 2002), favorecendo a aprendizagem ativa e o desenvolvimento de habilidades de resolução de problemas (Oliveira et al., 2022).

A teoria de Vygotsky (1991, 2000, 2002) introduz o conceito de zona de desenvolvimento proximal (ZDP), que representa a distância entre o que um aluno pode fazer sozinho e o que ele pode realizar com auxílio. Essa zona é essencial para entender como o uso de simulações pode ampliar a capacidade de aprendizado dos alunos.

Nas simulações interativas, o aluno tem a oportunidade de explorar o conteúdo de maneira prática, enfrentando desafios que se situam nessa zona, o que possibilita uma aprendizagem mais efetiva (Vygotsky, 1991, 2000, 2002). Ao manipular variáveis e observar os efeitos de suas escolhas, o estudante constrói conhecimento de forma progressiva, movendo-se da dependência de instrução direta para a autonomia.

Esse processo é intensificado nas simulações de física, onde o estudante pode experimentar de forma segura conceitos complexos como tensão e corrente elétrica, superando, assim, as limitações do aprendizado passivo e promovendo a construção de habilidades científicas aplicáveis (Başer, 2006; Moya, A., 2018).

As metodologias ativas, que são complementares à teoria de Vygotsky (1991, 2000, 2002), têm ganhado espaço no ensino de ciências como práticas que permitem ao aluno atuar como protagonista de sua aprendizagem. No ensino de física, essas metodologias transformam a abordagem expositiva, comum nas aulas tradicionais, em um processo investigativo onde o aluno explora conceitos e resolve problemas de forma prática (Obioma, 1986; Etkina et al., 2020).

Segundo Prince (2004), a aprendizagem ativa é uma estratégia que envolve o estudante em atividades que exigem reflexão, experimentação e tomada de decisão, promovendo um engajamento maior com o conteúdo. No contexto dos circuitos elétricos, por exemplo, ao invés de apenas ouvir uma explicação sobre a Lei de Ohm, o aluno é incentivado a aplicá-la em uma simulação, onde ele pode manipular as variáveis de tensão e resistência para observar os efeitos diretos sobre a corrente. Essa prática facilita a compreensão de conceitos abstratos, tornando o aprendizado mais intuitivo e alinhado com as demandas cognitivas dos alunos (Đorić et al., 2019; Varganova e Kolomiiets, 2023).

O uso de simulações no ensino de física permite que o estudante tenha uma experiência de aprendizagem semelhante à de um laboratório físico, mas com a vantagem da interatividade e da segurança oferecidas pelo ambiente virtual (Snir et al., 1993; Wirda et al., 2023). Estudos como o de Wieman et al. (2008) destacam que simulações digitais são eficazes para aumentar o engajamento dos alunos, proporcionando um entendimento mais profundo dos conceitos de ciências.

No ensino de circuitos elétricos, as simulações permitem que os alunos vejam, em tempo real, como diferentes configurações de circuito influenciam a distribuição de corrente e tensão, o que amplia sua compreensão do conteúdo (Manunure et al., 2019; Burde et al., 2022).

Além disso, as simulações fornecem ao estudante a oportunidade de explorar diferentes hipóteses, manipulando variáveis e observando as consequências de suas escolhas. Essa liberdade para experimentar promove o desenvolvimento do pensamento crítico e científico, aspectos essenciais para a formação de um conhecimento sólido e aplicável (Rivers e Vockell, 1987; O'Flaherty e Costabile, 2020; Khaeruddin e Bancong, 2022).

O PhET Colorado é um dos simuladores mais utilizados para o ensino de ciências e está especialmente bem adaptado para o ensino de circuitos elétricos. Desenvolvido pela Universidade do Colorado, o PhET oferece uma série de simulações interativas que abrangem conteúdos como física, química e biologia, com uma interface intuitiva e acessível (Wieman et al., 2008; Sotiriou et al., 2010; Vick, M., 2010; Fuada et al., 2023).

Segundo Wieman (2007), o objetivo do PhET é transformar o ensino de ciências, proporcionando um ambiente de aprendizagem que seja dinâmico e envolvente para os estudantes. No caso do ensino de circuitos elétricos, o PhET permite que os alunos montem circuitos em série e paralelo, testem diferentes configurações e observem o impacto das mudanças de forma imediata. Essa abordagem proporciona uma compreensão prática dos conceitos, facilitando a retenção e a aplicação dos conteúdos aprendidos em situações cotidianas (Masruroh et al., 2020; Dantic e Fluraon, 2022).

As funcionalidades do PhET Colorado são especialmente úteis para estudantes que não possuem acesso a laboratórios de física bem-equipados. Ao utilizar o simulador, os alunos podem realizar experimentos virtuais que replicam as condições de um laboratório físico, mas sem as limitações e os riscos associados a esse ambiente (Vick, 2010; Lutfiani et al., 2023; Wirda et al., 2023).

Gomes et al.(2020) observam que o uso de simuladores como o PhET representa uma alternativa viável para escolas com infraestrutura limitada, oferecendo uma solução econômica e eficiente para a experimentação prática. No PhET, o aluno pode explorar circuitos com diferentes tipos de componentes, manipulando elementos como resistores, baterias e fios condutores, o que permite uma visualização clara dos fenômenos e facilita a compreensão de conceitos fundamentais, como o fluxo de corrente e a resistência (Engelhardt e Beichner, 2003; Lee et al., 2015).

Outra vantagem do PhET Colorado é sua acessibilidade e facilidade de uso, características que ampliam o alcance dessa ferramenta para diferentes contextos educacionais. O simulador é gratuito e disponível em várias línguas, incluindo o português, o que torna seu uso viável em escolas públicas e privadas (Perkins et al., 2006; Sotiriou et al., 2010; Perkins et al., 2015; Perkins e Moore, 2018).

Além disso, o PhET é projetado para ser intuitivo, o que possibilita que alunos de diversas idades e níveis de conhecimento o utilizem sem dificuldades. Wieman (2007) ressalta que a simplicidade da interface do PhET facilita a inclusão de estudantes que, de outra forma, poderiam encontrar barreiras na compreensão dos conteúdos de física (Hasibuan e Abidin, 2019; Uwamahoro et al., 2021; Susilawati et al., 2022).

Assim, o PhET não apenas promove o aprendizado dos conceitos, mas também contribui para uma educação mais equitativa, onde todos os alunos têm a oportunidade de interagir com o conhecimento de maneira prática e significativa (Wieman et al., 2008; Pranata, 2023; Rayan et al., 2023).

Em síntese, a integração de simulações interativas e metodologias ativas no ensino de física, fundamentadas na teoria de Vygotsky (1991, 2000, 2002) e aprimoradas pelo uso de tecnologias como o PhET Colorado, representa uma abordagem inovadora para a educação científica. Ao combinar interação social, prática ativa e experimentação virtual, essa metodologia promove uma aprendizagem completa e adaptada às necessidades dos estudantes contemporâneos (Perkins et al., 2006; Wieman et al., 2008; Petrova, 2020; Najib et al., 2022).

Os benefícios observados no uso do PhET Colorado no ensino de circuitos elétricos demonstram que essa ferramenta pode proporcionar uma experiência de aprendizagem acessível, inclusiva e eficaz, que potencializa o desenvolvimento de habilidades cognitivas e prepara os alunos para enfrentar os desafios científicos de maneira crítica e analítica (Vick, 2010; Bantolo et al., 2021; Fuada et al., 2023; Wirda et al., 2023).

3 METODOLOGIA

A metodologia descrita na dissertação sobre o uso do PhET Colorado para o ensino de circuitos elétricos no ensino médio foi planejada para avaliar a eficácia do simulador como ferramenta pedagógica, seguindo uma abordagem experimental em um contexto de sala de aula.

A pesquisa foi conduzida junto a dez alunos da turma de terceiro ano do Ensino Médio do Colégio Estadual do Campo João Paulo I – EFM, localizado no Núcleo Regional de Educação de Pato Branco, no Município de Chopinzinho. Essa escolha se deu pela conveniência da proximidade da instituição com os pesquisadores e pela disponibilidade da turma para participar da pesquisa.

Essa escolha permitiu observar o impacto do simulador em alunos com diferentes perfis de aprendizado, avaliando tanto os benefícios cognitivos quanto os desafios enfrentados no uso de uma metodologia baseada em simulação.

O desenvolvimento da metodologia incluiu a estruturação de uma sequência didática composta por aulas teóricas e práticas, nas quais os alunos utilizaram o simulador PhET Colorado para explorar os princípios dos circuitos elétricos. Inicialmente, foi realizada uma introdução teórica sobre circuitos, com uma explicação sobre os conceitos fundamentais e as leis que regem o funcionamento dos circuitos elétricos, como a Lei de Ohm.

A primeira aula introduz o projeto, seus objetivos e o cronograma, enfatizando o engajamento dos alunos. Em seguida, a segunda aula lança um desafio para estimular o pensamento crítico. As aulas seguintes exploram circuitos em série e paralelo, com atividades práticas e o uso do PhET Colorado, permitindo que os alunos construam conhecimento ativamente, de acordo com a Teoria Construtivista. A última aula utiliza a plataforma Quizizz para avaliar o aprendizado, promovendo feedback colaborativo.

Esse planejamento evidencia como o PhET Colorado, aliado a metodologias ativas, facilita a compreensão de circuitos elétricos em um ambiente interativo e participativo. Essa etapa inicial foi essencial para fornecer aos alunos o embasamento teórico necessário para que pudessem interagir com o simulador de forma autônoma e assertiva.

O quadro 1, descreve a sequência didática voltada ao ensino de circuitos elétricos utilizando o simulador PhET Colorado como ferramenta central para integrar teoria e prática.

Quadro 1 - Sequência Didática para o Ensino de Circuitos Elétricos com o Uso do Simulador PhET Colorado.

Aula	Descrição	Objetivo de ensino
Aula 01	Introdução ao projeto: o professor apresentou a finalidade do projeto, metodologia, cronograma das atividades e resultados esperados. Enfatizou a importância do engajamento de todos. Explicou a relevância da interação social no desenvolvimento cognitivo, incentivando o envolvimento ativo dos estudantes.	Destacar a importância da interação social para o desenvolvimento cognitivo.
Aula 02	Início com um desafio para estimular o pensamento crítico e a resolução de problemas. Discussão sobre como conectar novos conhecimentos às estruturas cognitivas já existentes dos alunos, tornando a aprendizagem mais significativa e ligada às experiências prévias.	Promover a ligação entre novos conhecimentos e a estrutura cognitiva dos alunos
Aula 03	Continuação do estudo da associação em série. Os alunos realizaram experimentos práticos com materiais alternativos para explorar esse tipo de circuito. O professor introduziu o software PhET Colorado, demonstrando suas funcionalidades, e os alunos construíram modelos de circuitos em série. A aula foi concluída com um quiz para consolidar a compreensão do conceito.	Realçar a construção ativa do conhecimento pelo aluno através da experimentação e exploração
Aula 04	Foco na associação de resistores em paralelo. Os alunos construíram um circuito em paralelo com materiais alternativos, explorando suas características e propriedades. Após a construção física, aplicaram os conceitos no PhET Colorado para modelagem virtual. A aula promoveu a construção de conhecimento por meio da prática e discussão.	Incentivar a construção ativa do conhecimento pela experimentação prática e reflexão.
Aula 05	Apresentação de imagens de associações em paralelo e série para consolidar o conceito. Introdução ao circuito misto,	Promover o aprendizado como processo de construção de

	integrando ambos os tipos anteriores. Os alunos construíram circuitos mistos no PhET Colorado para aplicar e consolidar os conceitos abordados.	significados através da interação com o meio.
Aula 06	Avaliação dos resultados e considerações finais. Usando a plataforma Quizizz, os alunos participaram de uma avaliação, e os resultados foram discutidos em sala. Essa avaliação contínua reforçou o aprendizado e a participação ativa dos estudantes na construção colaborativa do conhecimento.	Promover aprendizado colaborativo.

Fonte: Os Autores

A coleta de dados baseou-se em questionários aplicados antes e após as atividades com o PhET, com o objetivo de mensurar a evolução na compreensão dos alunos sobre o tema. Adicionalmente, foram realizadas observações diretas durante as atividades práticas, onde o professor registrou as interações dos estudantes com o simulador, suas reações e dificuldades.

Esses dados permitiram uma do impacto do PhET Colorado na aprendizagem, destacando tanto o desenvolvimento de habilidades cognitivas quanto o aumento do engajamento dos alunos.

As atividades práticas foram divididas em etapas progressivas, onde os alunos foram inicialmente introduzidos a circuitos simples em série e, posteriormente, a circuitos em paralelo e circuitos mistos. Durante as simulações, os alunos puderam manipular variáveis como a resistência e a tensão, observando em tempo real as mudanças na corrente elétrica.

Esse processo possibilitou uma experimentação segura e controlada, onde os estudantes podiam testar hipóteses, verificar previsões e compreender as relações entre as variáveis. Essa abordagem prática visava estimular o protagonismo dos alunos e promover uma aprendizagem ativa, incentivando-os a construir seu conhecimento por meio da experimentação e da análise crítica.

Ao final das atividades, uma discussão em grupo foi realizada para que os alunos pudessem compartilhar suas observações e conclusões, promovendo uma reflexão coletiva sobre os conceitos trabalhados. Esse momento foi importante para consolidar o aprendizado, permitindo que os alunos articulassem suas compreensões e revisassem eventuais dificuldades com o suporte do professor e dos colegas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos dados coletados revelou um impacto positivo na aprendizagem dos alunos, destacando a eficácia do uso do PhET Colorado no ensino de circuitos elétricos. A manipulação direta de variáveis em ambientes de simulação favorece uma compreensão mais profunda dos conceitos teóricos de eletricidade. Simulações virtuais e aumentadas, especialmente quando integradas em abordagens de aprendizagem ativa e centradas no aluno, demonstram ser ferramentas eficazes para melhorar a compreensão conceitual e o engajamento dos alunos. Essas ferramentas podem substituir

com eficácia os laboratórios tradicionais, proporcionando uma alternativa viável e eficiente para o ensino de circuitos elétricos (Başer e Durmuş, 2010; Álvarez-Marín et al., 2021; Bantolo e Mistades, 2021.).

Os questionários aplicados antes e depois das atividades evidenciaram um avanço significativo na assimilação dos conteúdos por parte dos estudantes. Ao contrário da abordagem teórica tradicional, o PhET permitiu que os alunos visualizassem e experimentassem os efeitos de suas ações, favorecendo uma aprendizagem ativa e conectada à realidade dos fenômenos físicos.

Essa experiência prática permitiu que os alunos internalizassem conhecimentos complexos, como as relações expressas pela Lei de Ohm, de forma mais intuitiva.

O desenvolvimento de habilidades cognitivas também foi evidente nas observações realizadas durante o uso do simulador. Os alunos foram estimulados a formular hipóteses, testar configurações e analisar os resultados de suas ações. Ao explorar circuitos em série e paralelo, por exemplo, os estudantes foram incentivados a raciocinar sobre como a disposição dos resistores afeta a resistência total e a corrente elétrica.

Os simuladores são ferramentas valiosas no desenvolvimento de habilidades cognitivas, permitindo que os alunos formulem hipóteses, testem configurações e analisem os resultados de suas ações. A modulação adequada da complexidade das tarefas e a integração de simulações com práticas tradicionais são cruciais para maximizar os benefícios educacionais. Embora os simuladores melhorem significativamente as habilidades cognitivas, seu impacto na confiança dos alunos pode variar (Abbasy, 2012; Secomb et al., 2012).

Esse processo promoveu o exercício do raciocínio lógico e da resolução de problemas, pois os alunos precisavam identificar padrões e relacionar conceitos teóricos com os comportamentos observados nos circuitos simulados. Segundo Wieman et al. (2008), a prática em simulações interativas facilita o desenvolvimento dessas habilidades, pois permite uma experimentação controlada e visual.

As simulações interativas são ferramentas poderosas para o desenvolvimento de habilidades pois permitem uma experimentação controlada e visual, que facilita a aprendizagem e a retenção de competências complexas. Estudos mostram que essas simulações melhoram significativamente o desempenho em contextos diversos, destacando sua relevância e eficácia como métodos de ensino de física (Wieman et al., 2008; Ceberio et al., 2016; Candido et al., 2022; Ogegbo e Ramnarain, 2022).

A capacidade de síntese foi outra habilidade cognitiva aprimorada, especialmente nas atividades que exigiam a integração dos conhecimentos adquiridos. Ao final das atividades, os alunos foram incentivados a relatar suas conclusões e descrever como as variáveis se relacionavam dentro dos

circuitos elétricos. Esse exercício de síntese promoveu uma revisão crítica do que foi aprendido, facilitando a consolidação dos conceitos trabalhados (Jones et al., 1963; Kopplin et al., 1963).

Além disso, a tarefa de organizar e explicar as ideias também contribuiu para o desenvolvimento da comunicação científica entre os alunos, que precisaram apresentar suas interpretações de maneira clara e objetiva, o que fortaleceu sua capacidade de argumentação científica (Coelho, 2002).

O PhET Colorado também teve um papel importante no fortalecimento do protagonismo dos alunos no processo de aprendizagem. A natureza interativa das simulações permitiu que os estudantes assumissem o controle de suas ações, tomando decisões sobre como configurar os circuitos e que variáveis explorar (Perkins et al., 2006; Wieman et al., 2008; Moore et al., 2013).

Esse protagonismo foi essencial para o engajamento dos alunos, pois ao se tornarem agentes de suas próprias descobertas, eles demonstraram maior motivação e interesse pelo conteúdo. Segundo Wieman (2007), o uso de simulações estimula a participação ativa dos alunos, promovendo uma aprendizagem mais envolvente e personalizada, já que cada aluno pode explorar o conteúdo no seu próprio ritmo (Wieman, 2007).

Observou-se que o engajamento dos alunos nas atividades com o PhET Colorado foi superior ao registrado em aulas expositivas convencionais. Durante as atividades de simulação, os alunos mostraram-se curiosos e dispostos a testar diferentes combinações e hipóteses, o que favoreceu um ambiente de aprendizado dinâmico. Esse aumento no engajamento é particularmente importante para o ensino de física, uma disciplina que frequentemente enfrenta desafios em manter o interesse dos estudantes (Wieman et al., 2008; Petrova, 2020; Najib ET AL., 2022).

Ao permitir que os alunos experimentassem na prática os conceitos de circuitos elétricos, o PhET Colorado contribuiu para tornar o aprendizado mais atrativo e acessível, superando as limitações das abordagens tradicionais baseadas na transmissão de conhecimento (Bezerra et al., 2011).

A interação social também desempenhou um papel relevante nas atividades, uma vez que os alunos frequentemente discutiam entre si sobre as melhores formas de configurar os circuitos e solucionar os problemas propostos. Esse aspecto colaborativo reforça a teoria sociointeracionista de Vygotsky (1991, 2000, 2002), que valoriza a aprendizagem por meio da interação social e cultural.

Durante as atividades, os alunos trocavam ideias e corrigiam uns aos outros, promovendo um aprendizado coletivo onde cada participante contribuía com sua perspectiva. Essa interação foi essencial para o desenvolvimento das habilidades de cooperação e comunicação, que são cada vez mais valorizadas na educação contemporânea. A interação entre alunos durante atividades

educacionais, onde eles trocam ideias e corrigem uns aos outros, é essencial para o desenvolvimento de habilidades de cooperação e comunicação.

A aprendizagem cooperativa não só melhora essas habilidades, mas também aumenta a motivação, o engajamento e promove relações interpessoais positivas. Esses benefícios são observados em todos os níveis de ensino e em diversas disciplinas, tornando a aprendizagem cooperativa uma abordagem pedagógica valiosa na educação contemporânea (Bossert, 1988; Gillies, 2016).

Por fim, o impacto geral do uso do PhET Colorado no ensino de circuitos elétricos evidencia a importância de integrar tecnologia e metodologias ativas no processo educativo. O simulador não apenas facilitou o entendimento dos conceitos, mas também incentivou o desenvolvimento de uma postura investigativa nos alunos, promovendo uma experiência de aprendizagem completa. A integração de tecnologia e metodologias ativas, como o PhET, é essencial para uma experiência de aprendizagem mais completa e eficaz (Vick, 2010; Fuada et al., 2023).

Ao permitir que os estudantes testem suas hipóteses e visualizem fenômenos elétricos em tempo real, essas simulações promovem um aprendizado mais engajado, motivador e eficaz. Estudantes que utilizam PhET demonstram uma melhor compreensão conceitual, maior desempenho acadêmico e uma capacidade aprimorada de aplicar conhecimentos teóricos em situações práticas. (Wieman, 2007; Vick, 2010; Anisa e Astriani, 2022; Mahyuny et al., 2022).

Os resultados sugerem que o uso de simulações interativas como as do PhET Colorado é uma solução viável para melhorar o ensino de física em ambientes com infraestrutura limitada. Essas ferramentas não só atendem às necessidades pedagógicas de uma educação voltada para o protagonismo e a interação dos alunos, mas também aumentam o engajamento, melhoram o desempenho acadêmico e desenvolvem competências essenciais. A flexibilidade de uso das simulações PhET em diferentes contextos educacionais reforça ainda mais sua aplicabilidade e eficácia (Perkins et al., 2006; Wieman et al., 2008; Sotiriou et al., 2010).

A metodologia empregada com o PhET Colorado destaca-se como uma prática eficaz para promover a compreensão, o engajamento e o desenvolvimento de habilidades cognitivas. As simulações interativas do PhET não apenas melhoram os resultados de aprendizagem e a resolução de problemas, mas também aumentam a motivação e o engajamento dos alunos. Além disso, facilitam uma compreensão mais profunda dos conceitos científicos e promovem o desenvolvimento de habilidades cognitivas e científicas, preparando os alunos para enfrentar desafios acadêmicos e científicos futuros (Wieman et al., 2008; Mahyuny et al., 2022; Rayan et al., 2023).

5 CONCLUSÃO

A análise dos resultados obtidos com a utilização do PhET Colorado no ensino de circuitos elétricos demonstrou que o simulador é uma ferramenta viável e eficaz para o aprendizado de conceitos complexos em física. O uso das simulações possibilitou que os alunos experimentassem de maneira prática e controlada conceitos teóricos, como tensão, corrente e resistência, promovendo uma compreensão mais profunda e intuitiva do conteúdo (Vick, 2010; Masrurroh et al., 2020; Fuada et al., 2023).

A experiência interativa oferecida pelo PhET permitiu que os estudantes visualizassem os fenômenos elétricos e manipulassem variáveis, facilitando a assimilação de conhecimentos que, em abordagens tradicionais, poderiam ser considerados abstratos e distantes (Gomes et al., 2020). Assim, o PhET Colorado se destacou como um recurso que alia teoria e prática, contribuindo para uma aprendizagem mais completa e conectada à realidade dos alunos.

Entre as principais contribuições deste estudo para o ensino de física, destaca-se o incentivo ao protagonismo e à autonomia dos estudantes. A simulação permitiu que os alunos explorassem os circuitos elétricos de forma independente, construindo e testando suas hipóteses. Esse processo promoveu um engajamento maior com a disciplina, visto que os alunos puderam atuar como agentes de sua própria aprendizagem, em vez de apenas receptores de informações).

Segundo Wieman (2007), metodologias que incentivam a experimentação e a tomada de decisões tendem a fomentar um aprendizado mais profundo e duradouro, o que reforça o valor do PhET como ferramenta pedagógica que estimula o pensamento crítico e a resolução de problemas.

A utilização do PhET Colorado também contribuiu para uma abordagem de ensino inclusiva e adaptável, uma vez que o simulador é acessível a todos os alunos e não requer uma infraestrutura física complexa. Em escolas onde os laboratórios de física são limitados ou inexistentes, o PhET representa uma alternativa prática para proporcionar uma experiência de aprendizagem experimental, essencial para o entendimento de fenômenos físicos (Doz, 2020; Petrova, 2020; Wirda et al., 2023).

Essa acessibilidade é particularmente relevante no contexto educacional brasileiro, onde as disparidades de infraestrutura entre escolas são comuns (Bezerra et al., 2011). Dessa forma, o PhET Colorado pode atuar como uma ferramenta de democratização do ensino de física, ampliando o acesso a uma educação de qualidade.

Para aprimorar o uso do PhET Colorado e enriquecer ainda mais o ensino de circuitos elétricos, estudos futuros poderiam explorar a integração do simulador com outras metodologias ativas, como a aprendizagem baseada em problemas e o trabalho em equipe. Essas estratégias poderiam potencializar a eficácia do PhET ao promover um ambiente colaborativo, onde os alunos não apenas experimentam

individualmente, mas também discutem e trocam conhecimentos entre si, fortalecendo o aprendizado coletivo (Rahmadita et al., 2021; Mahyuny et al., 2022; Widiarta et al., 2023).

Além disso, investigar o impacto do uso do PhET em outras áreas da física, como mecânica e termodinâmica, pode expandir as possibilidades de aplicação do simulador, tornando-o um recurso ainda mais versátil no ensino de ciências (Coelho, 2002).

Em síntese, o uso do PhET Colorado no ensino de circuitos elétricos mostra-se promissor, oferecendo uma alternativa eficaz para superar as limitações das abordagens tradicionais e promover uma aprendizagem prática e interativa.

A experiência acumulada neste estudo evidencia que o PhET é mais do que uma simples ferramenta tecnológica; ele representa uma mudança na forma de ensinar física, onde o aluno é incentivado a explorar, questionar e construir seu próprio conhecimento (Perkins et al., 2006; Ganasen e Shamuganathan, 2017; Najib et al., 2022; Pranata, 2023; Wirda et al., 2023).

A continuidade das pesquisas sobre o uso de simuladores como o PhET no ensino de física pode contribuir para o desenvolvimento de metodologias pedagógicas cada vez mais adaptadas às necessidades e ao contexto atual, consolidando uma educação em ciências mais engajadora e acessível.

AGRADECIMENTOS

À Sociedade Brasileira de Física - SBF e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – código de financiamento 001, que reconheceram e apoiaram este projeto. Ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo 35. À Universidade Estadual de Ponta Grossa.

REFERÊNCIAS

- ABBASY, M. Influence of simulation and real implementation Skills on the cognitive learning aspects. In: 2012 IEEE 3rd International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom). Anais [...] IEEE, 2012. p. 719-724. DOI: <https://doi.org/10.1109/COGINFOCOM.2012.6421946>.
- AKDEMIR, O. Using interactive course modules to improve students' understanding of electric circuits. *International Journal of Engineering Education*, vol. 31, No. 4, pp. 1117–1125, 2015. Disponível em: http://www.ijee.ie/latestissues/Vol31-4/18_ijee3066ns.pdf
- ALSADOON, A.; PRASAD, P.; BEG, A. Using software simulators to enhance the learning of digital logic design for the information technology students. *European Journal of Engineering Education*, v. 42, p. 533-546, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/03043797.2016.1196344>.
- ÁLVAREZ-MARÍN, A.; VELÁZQUEZ-ITURBIDE, J.; CAMPOS-VILLARROEL, R. Interactive AR App for Real-Time Analysis of Resistive Circuits. *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, v. 16, p. 187-193, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1109/RITA.2021.3089917>.
- ANISA, V.; ASTRIANI, D. Implementation of PhET simulation with discovery learning model to improve understanding of dynamic electricity concepts. *Jurnal Pijar Mipa*, 17(3), p. 292–301 May 2022. DOI: <https://doi.org/10.29303/jpm.v17i3.3438>.
- BANTOLO, J.; MISTADES, D. Grade 8 Students' Level of Conceptual Understanding of Electric Circuits Using Virtual Manipulative. In: *Proceedings of International Conference on Teaching, Education and Learning Conference*, Vol. 1, 2021, p. 46-62. 2021. DOI: <https://doi.org/10.32789/tel.2021.1004>.
- BAŞER, M.; DURMUŞ, S. The Effectiveness of Computer Supported versus Real Laboratory Inquiry Learning Environments on the Understanding of Direct Current Electricity among Pre-Service Elementary School Teachers. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, v. 6, p. 47-61, 2010. DOI: <https://doi.org/10.12973/EJMSTE/75227>.
- BAŞER, M. Promoting conceptual change through active learning using open-source software for physics simulations. *Australasian Journal of Educational Technology*, v. 22, p. 336-354, 2006. DOI: <https://doi.org/10.14742/AJET.1290>.
- BEZERRA, D. P.; GOMES, E. C. S.; MELO, E. S. N.; SOUZA, T. C. A evolução do ensino da física – perspectiva docente. *Scientia Plena*, v. 5, n. 9, 2011. Disponível em: <https://www.scientiaplenu.org.br/sp/article/view/672>.
- BOSSERT, S. Cooperative Activities in the Classroom. *Review of Research in Education*, v. 15, p. 225, 1988. DOI: <https://doi.org/10.2307/1167365>.
- BRUNER, J. S. The Act of Discovery. *Harvard Educational Review*, 31(1), p. 21-32, 1961.
- BURDE, J.; WEATHERBY, T.; WILHELM, T. Putting Potential at the Core of Teaching Electric Circuits. *The Physics Teacher*, 60(5), p. 340–343, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1119/5.0046298>.

CANDIDO, K.; GILLESANIA, K.; MERCADO, J.; REALES, J. Interactive Simulation on Modern Physics: A Systematic Review. *International Journal of Multidisciplinary: Applied Business and Education Research*, 3(8), p. 1452-1462, 2022. DOI: <https://doi.org/10.11594/ijmaber.03.08.08>.

CEBERIO, M.; ALMUDÍ, J.; FRANCO, Á. Design and Application of Interactive Simulations in Problem-Solving in University-Level Physics Education. *Journal of Science Education and Technology*, v. 25, p. 590-609, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/S10956-016-9615-7>.

CHERNIKOVA, O.; HEITZMANN, N.; STADLER, M.; HOLZBERGER, D.; SEIDEL, T.; FISCHER, F. Simulation-Based Learning in Higher Education: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, v. 90, p. 499-541, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3102/0034654320933544>.

COELHO, R. O. O uso da informática no ensino de física de nível médio. 2002. 101 f. Dissertação (Mestrado em Educação) - Faculdade de Educação da Universidade Federal de Pelotas, UFPel, Pelotas, 2002.

DABA, T.; ANBASSA, B.; ODA, B.; DEGEFA, I. Status of Biology Laboratory and Practical Activities in Some Selected Secondary and Preparatory Schools of Borena Zone, South Ethiopia. *Educational Research Review*, v. 11, p. 1709-1718, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5897/ERR2016.2946>.

DANTIC, M.; FLURAON, A. PhET interactive simulation approach in teaching electricity and magnetism among science teacher education students. *Journal of Science and Education (JSE)*, 2(2), p. 88-98, 2022. DOI: <https://doi.org/10.56003/jse.v2i2.101>.

DHANG, S.; KUMAR, C. Efficient web-based simulation on analog electronics circuits laboratory. *Computer Applications in Engineering Education*, v. 31, p. 777-788, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/cae.22623>.

DORIĆ, B.; LAMBIĆ, D.; JOVANOVIĆ, Ž. The Use of Different Simulations and Different Types of Feedback and Students' Academic Performance in Physics. *Research in Science Education*, v. 51, p. 1437-1457, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/S11165-019-9858-4>.

DOZ, D. L'insegnamento della conservazione dell'energia meccanica tramite le simulazioni online PhET. *Journal on Educational Technology*, v. 28, p. 91-98, 2020. DOI: <https://doi.org/10.17471/2499-4324/1131>.

ENGELHARDT, P.; BEICHNER, R. Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. *American Journal of Physics*, v. 72, p. 98-115, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1119/1.1614813>.

ETKINA, E.; BROOKES, D.; PLANINŠIČ, G. Investigative Science Learning Environment: Learn Physics by Practicing Science. In: Mintzes, J.J., Walter, E.M. (eds) *Active Learning in College Science*. Springer, Cham, p. 359-383, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-33600-4_23.

FUADA, S.; DANUARTEU, M.; AGUSTIN, S.; CARMELYA, A.; FADHILAH, I.; HEONG, Y.; KAEWPUKDEE, A. Can PhET simulate basic electronics circuits for undergraduate students? *Jurnal Infotel*, vol. 15, no. 1, pp. 97-110, Feb. 2023. DOI: <https://doi.org/10.20895/infotel.v15i1.861>.

GANASEN, S.; SHAMUGANATHAN, S. The Effectiveness of Physics Education Technology (PhET) Interactive Simulations in Enhancing Matriculation Students' Understanding of Chemical Equilibrium and Remediating Their Misconceptions. In: Karpudewan, M., Md Zain, A., Chandrasegaran, A. (eds) *Overcoming Students' Misconceptions in Science*. Springer, Singapore., p. 157-178, 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-10-3437-4_9.

GILLIES, R. Cooperative Learning: Review of Research and Practice. *Australian Journal of Teacher Education*, v. 41, p. 39-54, 2016. DOI: <https://doi.org/10.14221/AJTE.2016V41N3.3>.

GOMES, É. C.; FRANCO, X. L. S. O.; ROCHA, A. S. *Uso de simuladores para potencializar a aprendizagem no ensino da física*. Araguaína, TO: EDUFT, 2020.

GUO, L. Teachers' mediation in students' development of cognition and metacognition. *Asia-Pacific Journal of Teacher Education*, v. 50, p. 458-473, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/1359866X.2020.1846158>.

HASIBUAN, F.; ABIDIN, J. Efforts to increase understanding of student physical concepts through PhET simulation learning media. *Jurnal Pendidikan Fisika*, v. 8, p. 102-108, 2019. DOI: <https://doi.org/10.22611/JPF.V8I2.14454>.

JARAMILLO, J. Vygotsky's Sociocultural Theory and Contributions to the Development of Constructivist Curricula. *Education*, 117(1), p. 133-140, 1996. Disponível em: https://met512.weebly.com/uploads/4/2/2/5/42253875/anas_article_re-_vygotsky___constructivism.pdf

JONES, E.; KOPPLIN, J.; ERNST, E. Applications of Programmed Experimental Teaching Exercises. *IEEE Transactions on Education*, v. 6, p. 75-78, 1963. DOI: <https://doi.org/10.1109/TE.1963.4321811>.

KARPOV, Y. L.S. Vygotsky as the Founder of a New Approach to Instruction. *School Psychology International*, v. 16, p. 131-142, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1177/0143034395162004>.

KHAERUDDIN, K.; BANCONG, H. STEM education through PhET simulations: An effort to enhance students' critical thinking skills. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 11(1), p. 35-45, 2022. DOI: <https://doi.org/10.24042/jipfalbiruni.v11i1.10998>.

KOPPLIN, J.; ERNST, E.; JONES, E. Programmed Experimental Teaching Exercises. *IEEE Transactions on Education*, v. 6, p. 71-75, 1963. DOI: <https://doi.org/10.1109/TE.1963.4321810>.

KUMAR, M.; TIWARI, B. Physics Teaching with Simulation Techniques. *Advanced Journal of Social Science*, 4(1), p. 8-10, 2018. DOI: <https://doi.org/10.21467/AJSS.4.1.8-10>.

LAAR, E.; DEURSEN, A.; DIJK, J.; HAAN, J. The relation between 21st-century skills and digital skills: A systematic literature review. *Computers in Human Behavior*, v. 72, p. 577-588, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.03.010>.

LEE, J.; SHIN, E.; KIM, J. Conceptual Change via Instruction based on PhET Simulation Visualizing Flow of Electric Charge for Science Gifted Students in Elementary School. *Korean Journal of Elementary Science Education*, v. 34, p. 357-371, 2015. DOI: <https://doi.org/10.15267/KESES.2015.34.4.357>.

LOWE, D.; NEWCOMBE, P.; STUMPERS, B. Evaluation of the Use of Remote Laboratories for Secondary School Science Education. *Research in Science Education*, v. 43, p. 1197-1219, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/S11165-012-9304-3>.

LUTFIANI, S.; TAKIAH, I.; HERDHIYATMA, S.; MAHMUDAH, I. Analysis of PhET Virtual Laboratory in Nuclear Physics Course at Physics Education. *Konstan - Jurnal Fisika Dan Pendidikan Fisika*, 8(1), 2023. DOI: <https://doi.org/10.20414/konstan.v8i01.186>.

MAHYUNY, H. M.; WUYUNG, W. W. B.; ROMA, S. The effect of PhET-Colorado assisted problem-based learning model on learning outcomes and problem solving dynamic electrical materials in junior high schools. *ISER (Indonesian Science Education Research)*, v. 4, n. 1, 2022. DOI: <https://doi.org/10.24114/iser.v4i1.36559>.

MANUNURE, K.; DELSERIEYS, A.; CASTÉRA, J. The effects of combining simulations and laboratory experiments on Zimbabwean students' conceptual understanding of electric circuits. *Research in Science & Technological Education*, v. 38, p. 289-307, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/02635143.2019.1629407>.

MASRUROH, N.; VIVIANI, A.; ANGGRAENI, P.; WAROH, S.; WAKHIDAH, N. Application of PhET simulation to electrical circuits material in online learning. *Insecta - Integrative Science Education and Teaching Activity Journal*, 1(2), p. 130-142, 2020. DOI: <https://doi.org/10.21154/insecta.v1i2.2312>.

MOORE, E.; CHAMBERLAIN, J.; PARSON, R.; PERKINS, K. PhET Interactive Simulations: Transformative Tools for Teaching Chemistry. *Journal of Chemical Education*, v. 91, p. 1191-1197, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1021/ED4005084>.

MOORE, E.; HERZOG, T.; PERKINS, K. Interactive simulations as implicit support for guided inquiry. *Chemistry Education Research and Practice*, v. 14, p. 257-268, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1039/C3RP20157K>.

MOYA, A. Basic guidelines to introduce electric circuit simulation software in a general physics course. *Physics Education*, v. 53, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aaa57f>.

NAJIB, M.; MD-ALI, R.; YAACOB, A. Effects of PhET Interactive Simulation Activities on Secondary School Students' Physics Achievement. *South Asian Journal of Social Science and Humanities*, 3(2), p. 73–78, 2022. DOI: <https://doi.org/10.48165/sajssh.2022.3204>.

NAWAZ, H. Perception of secondary schools' students about Physics practical work: Intended and enacted curriculum perspective. *Journal of Social Sciences Advancement*, 3(3), p. 144–150, 2022. DOI: <https://doi.org/10.52223/jssa22-030306-42>.

NEWMAN, S.; LATIFI, A. Vygotsky, education, and teacher education. *Journal of Education for Teaching*, v. 47, p. 4-17, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/02607476.2020.1831375>.

OBIOMA, G. Expository and guided discovery methods of presenting secondary school physics tasks. *International Journal of Science Education*, v. 8, p. 51-56, 1986. DOI: <https://doi.org/10.1080/0140528860080106>.

O'FLAHERTY, J.; COSTABILE, M. Using a science simulation-based learning tool to develop students' active learning, self-confidence and critical thinking in academic writing. *Nurse Education in Practice*, v. 47, p. 102839, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nepr.2020.102839>.

OGEGBO, A.; RAMNARAIN, U. Teaching and learning Physics using interactive simulation: A guided inquiry practice. *South African Journal of Education*, 42(1), 2022. DOI: <https://doi.org/10.15700/saje.v42n1a1997>.

OLIVEIRA, V.; MIRANDA, S.; CARVALHO, P.; PORTO, M.; SANTOS, J. Perspectiva sociointeracionista no ensino de física - jogos, simulações e gamificação. *Brazilian Journal of Development*, 8(3), p. 19065–19084, 2022. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv8n3-242>.

PERKINS, K.; MOORE, E. Increasing the accessibility of PhET Simulations for students with disabilities: Progress, challenges, and potential. *Physics Education Research Conference 2017*. Cincinnati, OH: 2017. p. 296-299, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1119/perc.2017.pr.069>.

PERKINS, K.; ADAMS, W.; DUBSON, M.; FINKELSTEIN, N.; REID, S.; WIEMAN, C.; LEMASTER, R. PhET: Interactive Simulations for Teaching and Learning Physics. *The Physics Teacher*, v. 44, p. 18-23, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1119/1.2150754>.

PERKINS, K.; MOORE, E.; CHASTEEN, S. Examining the Use of PhET Interactive Simulations in US College and High School Classrooms. *Physics Education Research Conference 2014*, Minneapolis, MN, July 30-31, 2014. p. 207-210, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1119/PERC.2014.PR.048>.

PETROVA, H. Modeling using PhET simulations in teaching physics at secondary school. *Edu&Tech – Education and Technologies*, 11(1), p. 199-203, 2020. DOI: <https://doi.org/10.26883/2010.201.2270>.

POEHNER, M.; INFANTE, P. Mediated Development: A Vygotskian Approach to Transforming Second Language Learner Abilities. *TESOL Quarterly*, v. 51, p. 332-357, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/TESQ.308>.

PRANATA, O. Physics Education Technology (PhET) as Confirmatory Tools in Learning Physics. *Jurnal Riset Fisika Edukasi dan Sains*, 10(1), p. 29-35, 2023. DOI: <https://doi.org/10.22202/jrfes.2023.v10i1.6815>.

PRINCE, M. Does Active Learning Work? A Review of the Research. *Journal of Engineering Education*, v. 93, p. 223-231, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/j.2168-9830.2004.tb00809.x>.

PSOTKA, J. Modeling, simulations and education. *Interactive Learning Environments*, v. 21, p. 319-320, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1080/10494820.2013.808880>.

RAHMADITA, N.; MUBAROK, H.; PRAHANI, B. Profile of Problem-based Learning (PBL) Model Assisted by PhET to Improve Critical Thinking Skills of High School Students in Dynamic Electrical Materials. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 7(4), p. 617–624, 2021. DOI: <https://doi.org/10.29303/jppipa.v7i4.799>.

RAYAN, B.; DAHER, W.; DIAB, H.; ISSA, N. Integrating PhET Simulations into Elementary Science Education: A Qualitative Analysis. *Education Sciences*, 13(9), 884, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/educsci13090884>.

RIVERS, R.; VOCKELL, E. Computer simulations to stimulate scientific problem solving. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 24, p. 403-415, 1987. DOI: <https://doi.org/10.1002/TEA.3660240504>.

ROSENTHAL, A.; HENDERSON, C. Teaching about circuits at the introductory level: An emphasis on potential difference. *American Journal of Physics*, v. 74, p. 324-328, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1119/1.2173271>.

RUTTEN, N.; JOOLINGEN, W.; VEEN, J. The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education*, v. 58, p. 136-153, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017>.

RUTTEN, N.; VEEN, J.; JOOLINGEN, W. Inquiry-Based Whole-Class Teaching with Computer Simulations in Physics. *International Journal of Science Education*, v. 37, p. 1225-1245, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1029033>.

SALUNKE, M.; VIJAYALAKSHMI M. Enhancing Teaching and Learning for Basic Electrical Engineering Course Using Simulation as a Tool. *Journal of Engineering Education Transformations*, v. 29, 2016. DOI: <https://dx.doi.org/10.16920/jeet/2016/v0i0/85532>.

SAUDELLI, M.; KLEIV, R.; DAVIES, J.; JUNGMARK, M.; MUELLER, R. PhET Simulations in Undergraduate Physics. *Brock Education Journal*, 13(1), p.52-68, 2021. DOI: <https://doi.org/10.26522/brocked.v31i1.899>.

SECOMB, J.; MCKENNA, L.; SMITH, C. The effectiveness of simulation activities on the cognitive abilities of undergraduate third-year nursing students: a randomised control trial. *Journal of Clinical Nursing*, v. 21, n. 23-24, p. 3475-3484, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2702.2012.04257.x>.

SNIR, J.; SMITH, C.; GROSSLIGHT, L. Conceptually enhanced simulations: A computer tool for science teaching. *Journal of Science Education and Technology*, v. 2, p. 373-388, 1993. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00694526>.

SOTIRIOU, S.; ANASTOPOULOU, S.; ROSENFELD, S.; AHARONI, O.; HOFSTEIN, A.; BOGNER, F.; STURM, H.; HOEKSEMA, K. Teaching Physics Using PhET Simulations. *The Physics Teacher*, v. 48, p. 225-227, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1119/1.3361987>.

SUSILAWATI, A.; DOYAN, A.; WAHYUDI, S.; AYUB, S.; ARDHUHA, J. Concept understanding of students through core physics learning tools based on guided inquiry assisted by PhET virtual media. *Journal of Physics: Conference Series*, v. 2165, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2165/1/012045>.

UWAMAHORO, J.; NDIHOKUBWAYO, K.; RALPH, M.; NDAYAMBAJE, I. Physics Students' Conceptual Understanding of Geometric Optics: Revisited Analysis. *Journal of Science Education and Technology*, v. 30, p. 706-718, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10956-021-09913-4>.

VARGANOVA, D.; KOLOMIETS, R. Features of the organization of laboratory works in the study of physics of electrical phenomena using software simulators. *Collection of Scientific Papers of Uman State Pedagogical University*, (3), p. 22-31, 2023. DOI: <https://doi.org/10.31499/2307-4906.3.2023.289873>.

VICK, M. A Virtual Circuits Lab: Building Students' Understanding of Series, Parallel, and Complex Circuits. *The Science Teacher*, v. 77, p. 28, 2010.

VYGOTSKY, L. S. *A Formação Social da Mente*. 4. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1991.

VYGOTSKY, L. S. *A Construção do Pensamento e da Linguagem*. São Paulo: Martins Fontes, 2000.

VYGOTSKY, L. S. *Pensamento e Linguagem*. Ed. eletrônica. São Paulo: Ridendo Castigat Mores, 2002.

WIDIARTA, I.; ANTARA, I.; DEWANTARA, K. Problem-Based Learning Model Assisted by PhET Interactive Simulation Improves Critical Thinking Skills of Elementary School Students. *Thinking Skills and Creativity Journal*, 6(1), p. 1–8, 2023. DOI: <https://doi.org/10.23887/tscj.v6i1.61945>.

WIEMAN, C. Why Not Try a Scientific Approach to Science Education? *Change: The Magazine of Higher Learning*, v. 39, n. 5, p. 9-15, 2007. DOI: <https://doi.org/10.3200/CHNG.39.5.9-15>.

WIEMAN, C.; ADAMS, W.; PERKINS, K. PhET: Simulations That Enhance Learning. *Science*, v. 322, p. 682-683, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1161948>.

WIRDA, W.; MAUVIZAR, E.; LUBIS, S.; MUZANA, S. Utilization of PhET Simulations in Replacing Real Laboratories for Physics Learning. *Radiasi: Jurnal Berkala Pendidikan Fisika*, v. 16, n. 2, 2023. DOI: <https://doi.org/10.37729/radiasi.v16i2.3539>.

ZACHARIA, Z. Comparing and combining real and virtual experimentation: an effort to enhance students' conceptual understanding of electric circuits. *Journal of Computer Assisted Learning*, v. 23, p. 120-132, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2006.00215.x>.