



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS TERESINA CENTRAL
CURSO LICENCIATURA PLENA EM FÍSICA

GABRIEL COUTINHO HOLANDA BRANDÃO

**O USO DE SIMULADOR VIRTUAL PHET COMO METODOLOGIA DE
APRENDIZAGEM NO ENSINO DA LEI DE COULOMB NO ENSINO MÉDIO**

TERESINA

2026

GABRIEL COUTINHO HOLANDA BRANDÃO

O USO DE SIMULADOR VIRTUAL PHET COMO METODOLOGIA DE
APRENDIZAGEM NO ENSINO LEI DE COULOMB NO ENSINO MÉDIO

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo Científico) apresentado como exigência parcial para obtenção do diploma do Curso de Licenciatura em Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Central.

Orientadora: Prof^ª. Ms. Leia Soares da Silva.
Coorientador: Prof. Dr. Rodolpho Carvalho Leite.

TERESINA

2026

O USO DE SIMULADOR VIRTUAL PHET COMO METODOLOGIA DE APRENDIZAGEM NO ENSINO LEI DE COULOMB NO ENSINO MÉDIO

Gabriel Coutinho Holanda¹

Leia Soares da Silva²

Rodolpho Carvalho Leite.³

RESUMO

O ensino de Física, em especial da Eletrostática e da Lei de Coulomb, apresenta um grau de abstração, gerando barreiras de compreensão na Educação Básica. A inserção de Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDICs), especificamente os laboratórios virtuais, surge como uma alternativa viável para minimizar essa problemática e suprir a carência de infraestrutura física nas escolas. Diante desse contexto, este trabalho tem como objetivo analisar os impactos de uma intervenção didática mediada pelo simulador virtual *PhET Interactive Simulations* no ensino da Lei de Coulomb, avaliando sua eficácia na redução da abstração conceitual. A pesquisa, de abordagem qualitativa e caráter exploratório, foi desenvolvida com 15 alunos do 1º ano do Ensino Médio do Centro Estadual de Tempo Integral (CETI) José Pereira da Silva, situado na cidade de Teresina, no estado do Piauí. O procedimento metodológico consistiu na realização de aula investigativa com o uso da ferramenta digital, seguidas pela aplicação de um questionário estruturado com base no modelo de avaliação MAREEA. O instrumento permitiu mensurar a percepção dos estudantes em quatro dimensões fundamentais: usabilidade, engajamento, motivação e aprendizagem ativa. Os resultados obtidos indicam que a plataforma atuou como um facilitador cognitivo relevante, permitindo aos discentes a visualização dinâmica e a manipulação de variáveis restritas ao formalismo matemático. A análise dos dados revelou uma recepção positiva, evidenciando que a transposição visual do conteúdo promoveu maior interesse, autonomia e clareza no entendimento da relação entre cargas e distâncias.

Palavras-chave: ensino de Física; lei de Coulomb; phET.

ABSTRACT

The teaching of Physics, especially Electrostatics and Coulomb's Law, presents a degree of abstraction, generating comprehension barriers in Basic Education. The integration of Digital Information and Communication Technologies (DICTs), specifically virtual laboratories, emerges as a viable alternative to minimize this issue and compensate for the lack of physical infrastructure in schools. In this context, this work aims to analyze the impacts of a didactic intervention mediated by the PhET Interactive Simulations virtual simulator in the teaching of Coulomb's Law, evaluating its effectiveness in reducing conceptual abstraction. The research, with a qualitative approach and an exploratory nature, was carried out with 15 first-year high

¹ Graduando Física. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI). catce.20181FIS0206@aluno.ifpi.edu.br

² Professora orientadora, pedagoga e mestre em educação. Docente EBTT do IFPI Campus Teresina Central. leia.silva@ifpi.edu.br.

³ Professor coordenador, físico e doutor em Física Experimental. Docente EBTT do IFPI Campus Teresina Central. rodolpho.leite@ifpi.edu.br

school students from the Centro Estadual de Tempo Integral (CETI) José Pereira da Silva, located in the city of Teresina, in the state of Piauí. The methodological procedure consisted of conducting an investigative lesson using the digital tool, followed by the application of a structured questionnaire based on the MAREEA evaluation model. The instrument made it possible to measure students' perceptions in four fundamental dimensions: usability, engagement, motivation, and active learning. The results obtained indicate that the platform acted as a relevant cognitive facilitator, allowing students to dynamically visualize and manipulate variables restricted to mathematical formalism. Data analysis revealed a positive reception, showing that the visual transposition of the content promoted greater interest, autonomy, and clarity in understanding the relationship between charges and distances.

Keywords: physics teaching; Coulomb's Law; phET.

Data de aprovação: 24/06/2026

1 INTRODUÇÃO

Quando falamos sobre a formação de professores, usar as Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDICs) vai muito além de simplesmente trocar o papel pela tela. Trata-se de reinventar o jeito de ensinar e até de superar obstáculos. Esses recursos trazem novas linguagens e formas de aprender, que precisam ser usadas de forma planejada para estimular o olhar crítico dos estudantes. Em Física no Ensino Médio, isso se torna ainda mais relevante, porque os alunos já nasceram cercados por essas experiências digitais. Portanto, é esperado que os professores façam uso dessas ferramentas tecnológicas em suas aulas. Dominar a tecnologia virou uma habilidade fundamental para o professor, permitindo à escola transformar o excesso de informações em aprendizados significativos.

Os avanços tecnológicos também revolucionaram o campo da ciência, facilitando a visualização de dados e tornando possível interagir com conceitos antes inacessíveis. Valente (1999) ressalta que a informática na educação permite que o estudante vá além de só ouvir o professor, construindo seus próprios modelos de entendimento e desenvolvendo o raciocínio lógico. No ensino de Ciências da Natureza, por exemplo, a tecnologia ajuda a mostrar fenômenos invisíveis a olho nu e facilita o acesso a experimentos virtuais que simulam as leis da natureza. Essa integração entre tecnologia e conhecimento é fundamental para o letramento científico, preparando o jovem para entender, questionar e usar as inovações do mundo atual.

A tecnologia deixou de ser uma opção e virou uma necessidade, exigindo que todos aprendam a usar essas ferramentas para participar plenamente da sociedade, muito além de saber mexer em aplicativos básicos. Esse movimento aparece até em documentos oficiais, como

a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que determina que as escolas precisam se modernizar e incorporar a cultura digital nas aulas, reconhecendo que a escola deve ser um espaço para refletir sobre o uso da tecnologia. Santaella (2010) reforça que estamos vivendo uma era de aprendizagem ubíqua, em que ensinar precisa ultrapassar os limites da sala de aula para abraçar ambientes digitais e imersivos. Para as licenciaturas, isso significa entender que a inclusão digital é um meio pedagógico para fazer o conhecimento científico dialogar com as novas subjetividades dos estudantes, promovendo uma educação técnica e também humanista.

Dentro desse cenário, os simuladores virtuais ganharam destaque, deixando de se restringir ao uso de computadores dos laboratórios e passaram a estar ao alcance de qualquer pessoa pelo celular. Isso fez com que a experiência científica pudesse acontecer em qualquer lugar. Moran (2012) afirmam que o celular virou um “laboratório de bolso”, tornando o estudo mais prático e acessível. Esse acesso fácil aumenta a autonomia e a curiosidade do estudante, que pode experimentar conceitos de física em qualquer momento, tornando o aprendizado mais ágil e concreto. Esses simuladores, como explica Mayer (2009), funcionam bem porque usam imagens e textos juntos, potencializando a aprendizagem. No ensino de ciências, eles permitem que o aluno visualize grandezas e forças que seriam invisíveis, criando um ambiente interativo para testar ideias na hora. Essas imagens ajudam o estudante a construir uma imagem mental correta dos conceitos, evitando confusões comuns. Além disso, o retorno imediato do experimento virtual facilita a compreensão de temas difíceis.

É nesse contexto que este trabalho se concentra no uso de laboratórios virtuais para compreender fenômenos elétricos, com foco na Lei de Coulomb. Diante disso, surge a pergunta central: de que forma o simulador PhET pode ajudar a reduzir a abstração da Lei de Coulomb e promover uma aprendizagem mais efetiva entre os estudantes do Ensino Médio? Acredita-se que a integração planejada dessa tecnologia na escola pode fortalecer o ensino de Física, tornando o estudo das interações entre cargas elétricas mais visual, dinâmico e próximo da prática investigativa.

Assim, o trabalho tem como objetivo geral analisar os impactos de uma intervenção didática mediada pelo simulador PhET no ensino da Lei de Coulomb, avaliando sua eficácia na melhoria da compreensão conceitual dos estudantes do Ensino Médio. Os objetivos específicos são: explorar os benefícios didáticos dos simuladores virtuais no ensino de eletrodinâmica, focando na redução da abstração da Lei de Coulomb; observar como os alunos interagiram com o simulador Phet durante a intervenção didática para o alcance da aprendizagem; verificar de que maneira o simulador ajudava na compreensão dos conceitos de força elétrica, das interações entre cargas pontuais e do papel da distância nas forças de atração e repulsão, e avaliar os

resultados práticos por meio de questionários, buscando consolidar o uso dessas tecnologias como ferramentas pedagógicas auxiliares no ensino de Física.

A justificativa para este estudo está na chance de superar a abstração que dificulta o ensino da Lei de Coulomb, um conteúdo essencial, mas que muitas vezes vira barreira para o aprendizado de Eletrostática no Ensino Médio. Como as forças elétricas são invisíveis e a compreensão depende da percepção de variações em níveis microscópicos, o simulador PhET, especialmente na simulação da Lei de Coulomb, se justifica por tornar esses conceitos visuais e interativos. A pesquisa é relevante por mostrar a eficácia dessa estratégia para professores de Física, que passam a contar com um recurso que supre a falta de laboratórios e deixa a aula mais dinâmica. Para os estudantes, o trabalho se justifica por promover uma aprendizagem mais intuitiva e envolvente, mostrando que o uso planejado da tecnologia pode transformar cálculos difíceis em conhecimento concreto, facilitando a didática e o desenvolvimento do letramento científico na escola pública.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Carga Elétrica e suas Propriedades Fundamentais

De acordo com os estudos de Máximo e Alvarenga (2012) a compreensão contemporânea da carga elétrica exige o abandono das intuições macroscópicas em favor da análise da estrutura atômica da matéria. A carga elétrica é uma propriedade das partículas elementares, manifestando-se fisicamente por meio de forças de interação eletromagnética. No modelo atômico consolidado, essa grandeza está vinculada aos prótons, confinados no núcleo com carga positiva, e aos elétrons, distribuídos na eletrosfera com carga negativa. Um corpo macroscópico é considerado eletricamente neutro quando possui um equilíbrio exato entre o número de prótons e elétrons, resultando em uma carga resultante nula que não exerce forças elétricas líquidas sobre o ambiente ao seu redor.

A manipulação e a transferência dessas partículas obedecem ao Princípio da Conservação da Carga Elétrica, um dos postulados mais rigorosos da física clássica. Este princípio estabelece que, em qualquer sistema fisicamente isolado, a soma algébrica das cargas elétricas permanece inalterada, independentemente das interações, colisões ou reações que ocorram em seu interior. Consequentemente, os processos de eletrização observados não consistem na criação ou destruição de carga, mas exclusivamente na transferência de elétrons de um material para outro. A conservação impõe uma restrição fundamental que orienta o

equacionamento matemático de qualquer fenômeno eletrostático, desde o atrito simples até as colisões de partículas de alta energia (Máximo; Alvarenga, 2012).

Além de conservada, a carga elétrica possui uma natureza estritamente discreta, propriedade definida como quantização da carga. Os autores afirmam que a comprovação experimental desse caráter particulado foi consolidada pelos trabalhos de Robert Millikan (1868-1953) no início do século XX, demonstrando que qualquer quantidade de carga observada na natureza é um múltiplo inteiro de um valor indivisível, denominado carga elementar (e). A carga elementar corresponde ao módulo da carga de um único elétron ou próton, assumindo o valor de $1,6 \cdot 10^{-19} C$. Matematicamente, a carga elétrica total (Q) de um corpo é expressa pela equação,

$$Q = n \cdot e$$

onde n representa um número inteiro associado ao excesso ou déficit de elétrons no sistema analisado (Máximo; Alvarenga, 2012).

No Sistema Internacional de Unidades (SI), a grandeza carga elétrica é mensurada em Coulombs (C), uma unidade derivada da corrente elétrica (Ampère). Em termos físicos, um Coulomb representa uma magnitude exagerada para os padrões de estudo da eletrostática, uma vez que a constituição de uma carga líquida requer o acúmulo de elevado de elétrons. Devido a essa desproporção entre a unidade padrão e a escala atômica real, a descrição de fenômenos eletrostáticos práticos exige a utilização sistemática de submúltiplos métricos (Máximo; Alvarenga, 2012).

2.2 A Lei de Coulomb

Para Knight (2009) a quantificação das interações eletrostáticas constitui um dos avanços mais significativos da física clássica, consolidado no final do século XVIII. Utilizando uma balança de torção sensível, o físico francês Charles Augustin de Coulomb (1736-1806) mediu as forças de atração e repulsão entre pequenas esferas eletrizadas, estabelecendo a relação empírica entre a intensidade da força, a magnitude das cargas e a separação espacial entre elas. Esse arranjo experimental permitiu a transição da eletrostática puramente fenomenológica e qualitativa para uma disciplina matemática exata, fornecendo o rigor metodológico necessário para o desenvolvimento posterior da teoria do eletromagnetismo.

A lei empírica deduzida por Coulomb postula que a magnitude da força elétrica de interação entre duas cargas pontuais em repouso é diretamente proporcional ao produto dos módulos dessas cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que as separa. De acordo com Knight (2009) matematicamente, essa relação é descrita pela equação:

$$F = k \cdot \frac{|q \cdot Q|}{d^2}$$

Nesta formulação, F representa a força eletrostática, q e Q denotam as quantidades de carga de cada partícula, e d a distância radial geométrica entre os centros de carga. O uso do módulo garante que resulte represente a magnitude escalar da força, enquanto a natureza atrativa ou repulsiva da interação deve ser determinada previamente pela análise dos sinais das cargas envolvidas.

O parâmetro k na equação atua como a constante eletrostática de proporcionalidade do sistema, cujo valor é estritamente dependente das propriedades do meio material onde as cargas estão imersas. No Sistema Internacional de Unidades (SI), quando a interação ocorre no vácuo, essa constante é denotada por k_0 e assume o valor aproximado de $9,0 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ de forma mais abrangente, a constante k é expressa em função da permissividade elétrica absoluta do meio através da relação $k = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0}$.

A alteração da permissividade dielétrica do meio interfere diretamente na intensidade da força resultante, atenuando a interação elétrica quando as partículas são alocadas no interior de meios materiais diferentes do vácuo.

A força eletrostática descrita por Coulomb é uma grandeza rigorosamente vetorial, exigindo a definição simultânea de magnitude, direção e sentido para sua completa caracterização. A direção da força é sempre colinear à reta imaginária que une as duas cargas pontuais, caracterizando-a como uma força central. O sentido da aplicação obedece à Terceira Lei de Newton (Ação e Reação), determinando que as forças mútuas que atuam sobre q e Q possuam o mesmo módulo e a mesma direção, mas sentidos diametralmente opostos. (Knight, 2009).

A dependência matemática da força elétrica em relação ao inverso do quadrado da distância $1/d^2$ introduz o entendimento ao estudo das interações com a distância, essa não linearidade implica que variações na distância entre as partículas produzem alterações exponenciais na intensidade da força; ao duplicar a distância geométrica, a magnitude da interação reduz-se a um quarto do seu valor referencial. Essa dependência é um conceito matemático claro sobre proporções inversas, a não compreensão desse tema pode levar ao não entendimento completo da Lei (Knight, 2009).

2.3 Simuladores Virtuais no Ensino de Física

O ensino de Física na Educação Básica, historicamente, apresenta desafios metodológicos que minimizam uma aprendizagem mais significativa. Em grande parte das instituições de ensino, a disciplina é ministrada de maneira tradicional, centrada na exposição dos conteúdos e em uma abordagem matemática. Esse modelo acaba reduzindo o processo de ensino e aprendizagem à simples memorização de fórmulas e equações, distanciando o estudante da análise qualitativa e da observação dos fenômenos naturais. A ausência de conexão com o cotidiano e o foco no treinamento para responder exames contribuem para o desinteresse e dificultam a compreensão mais efetiva dos conceitos científicos.

Além das questões metodológicas, observam-se obstáculos de ordem estrutural, especialmente a carência de laboratórios de ciências. Esse cenário é uma realidade crítica, sobretudo nas escolas públicas brasileiras. Dados do Censo Escolar de 2018 mostram que apenas 38,8% das escolas públicas de Ensino Médio possuíam laboratórios de ciências (Brasil, 2018). Tal déficit se deve, principalmente, ao alto custo de implantação desses espaços e à dificuldade de manutenção de equipamentos especializados. Dessa forma, os professores de Física muitas vezes ficam privados de recursos experimentais e veem-se obrigados a ancorar suas aulas em conteúdos teóricos, o que contribui para a incompreensão por parte dos alunos.

Nesse contexto, a integração das Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDICs) ao ambiente escolar configura-se como uma alternativa viável e eficaz para a modernização do ensino de Física. Destacam-se, nesse sentido, os simuladores virtuais, que funcionam como Objetos Digitais de Aprendizagem (ODAs), suprimindo a ausência de experimentação prática. A utilização de laboratórios virtuais permite que os estudantes observem fenômenos físicos e interajam com suas variáveis, assumindo um papel ativo na construção do conhecimento. Ao reduzir a dependência inicial da matemática, essas ferramentas incentivam a percepção intuitiva e facilitam a transição do pensamento abstrato para uma compreensão mais visual e investigativa dos fenômenos.

Dentre as plataformas educacionais disponíveis, destaca-se o projeto PhET Interactive Simulations, desenvolvido por Carl Wieman na Universidade do Colorado, em 2002. O PhET oferece simulações interativas e gratuitas, com modelos fisicamente corretos e interfaces visuais acessíveis, animadas e atrativas. Essa plataforma possibilita a manipulação de parâmetros em tempo real e fornece feedback imediato ao usuário, aproximando a ciência do contexto digital vivenciado pelos jovens (Wieman *et al.*, 2008).

Entretanto, a eficácia dos simuladores virtuais depende de um planejamento pedagógico estruturado e contextualizado. É fundamental que o professor atue como mediador, orientando

a exploração dos ambientes virtuais e estimulando o senso crítico e investigativo dos alunos. Quando integrados a roteiros de investigação, os simuladores permitem a concretização da teoria, promovendo aulas mais dinâmicas, reflexivas e motivadoras, que aproximam a abstração matemática da compreensão dos fenômenos naturais.

O diferencial do PhET está no fato de suas simulações serem criadas a partir de pesquisas que investigam como estudantes interagem com atividades virtuais, o que garante a construção de modelos fisicamente rigorosos e conceitualmente precisos, fazendo assim com que as simulações não sejam apenas elementos ilustrativos, mas ambientes estruturados para experimentação interativa e aprendizagem ativa.

Ao abordar conteúdos complexos da Física, o uso da plataforma PhET possibilita a realização de Sequências de Ensino Investigativas (SEI), promovendo uma transição do modelo tradicional expositivo para uma abordagem mais ativa. O estudante pode manipular variáveis, formular hipóteses, testar diferentes cenários e observar, em tempo real, os resultados gráficos apresentados pelo software. Segundo estudos recentes, essa estratégia investigativa mediada por simulações serve como suporte semiótico para a compreensão de conceitos abstratos, uma vez que o feedback imediato das simulações contribui diretamente para a construção do pensamento científico do aluno (Cardoso *et al.*, 2021).

Além disso, o impacto positivo do PhET se reflete na mudança das percepções dos alunos sobre a Física, tradicionalmente considerada uma disciplina de alta complexidade e fortemente baseada em fórmulas matemáticas. Pesquisas realizadas com turmas do Ensino Médio mostram que, após a utilização das simulações, os estudantes relatam maior clareza e objetividade na compreensão dos conteúdos, acompanhada de um aumento significativo no engajamento durante as atividades escolares (Jaime *et al.*, 2024).

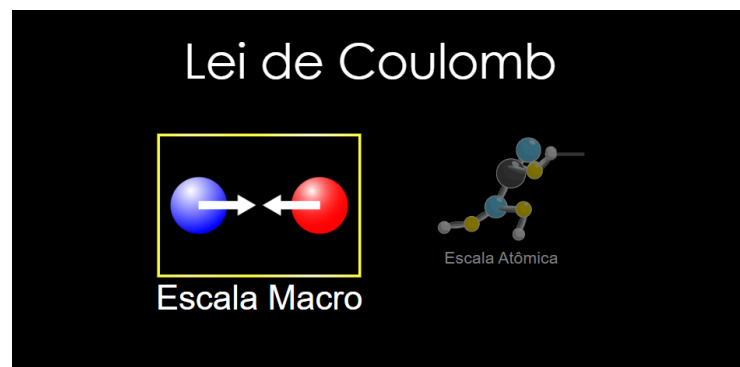
Isso se torna ainda mais evidente ao tratar de fenômenos que não podem ser diretamente observados, como a eletricidade estática. Alunos do Ensino Médio, em geral, encontram dificuldades para compreender forças invisíveis e grandezas microscópicas presentes nas equações da Física. Os ambientes virtuais do PhET materializam esses fenômenos ao apresentar, de forma gráfica, a transferência e a redistribuição de cargas elétricas, tornando mais acessível a visualização de vetores de força e processos de polarização (Cardoso *et al.*, 2021; Jaime *et al.*, 2024).

Os autores ressaltam ainda, que a flexibilidade da plataforma é fundamental para sua implementação nas escolas do ensino brasileiro, a migração dos códigos para o padrão HTML5 permitiu que os simuladores funcionem em diferentes dispositivos, como computadores, tablets

e smartphones, facilitando o acesso tanto em sala de aula quanto fora dela. Com essa compatibilidade, múltiplas plataformas insere o PhET no contexto da aprendizagem móvel (Mobile Learning), transformando celulares em possíveis laboratório para serem usados pelos alunos.

2.3.1 Simulação da Lei de Coulomb dentro do Phet

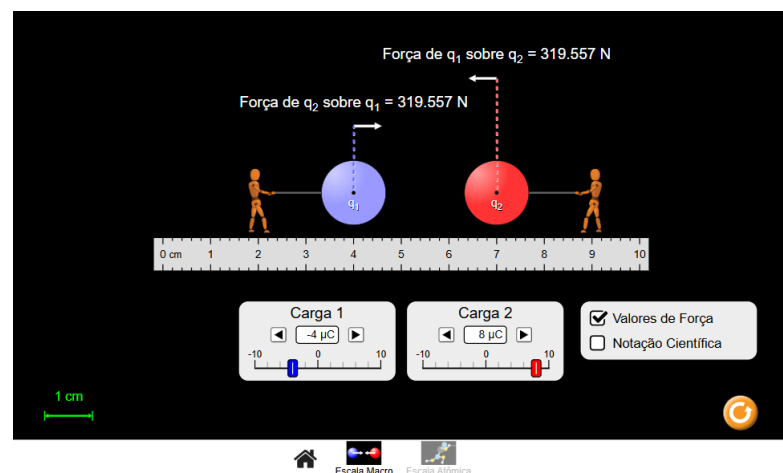
Figura 1 - Tela Inicial do Simulador computacional PHET



Fonte: https://phet.colorado.edu/sims/html/coulombs-law/latest/coulombs-law_all.html?locale=pt_BR (PHET, 2025).

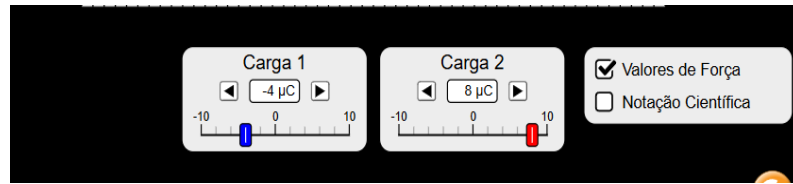
A tela preta é a tela inicial da simulação com duas opções de uso do simulador. A primeira opção denominada Escala macro corresponde a uma simulação que tem elementos maiores e os módulos das forças elétricas do simulador são grandes.

Figura 2 - Simulador em Escala Macro



Fonte: (PHET, 2025)

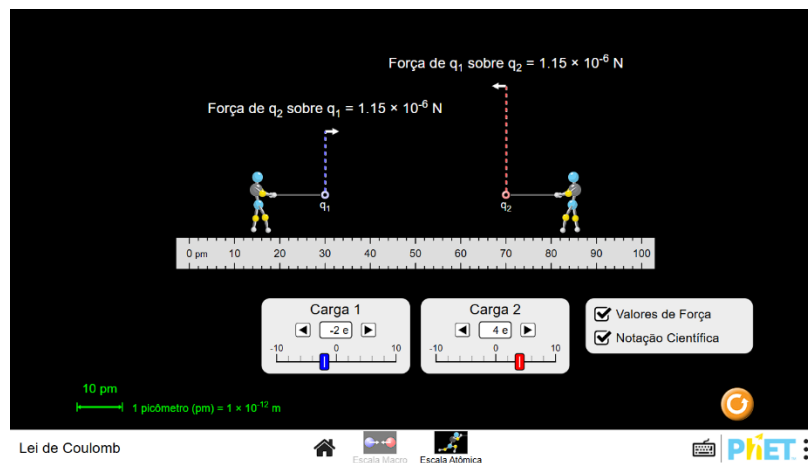
Figura 3 - Parâmetros das cargas



Fonte: (PHET, 2025)

Nessa opção do simulador é possível fazer alterações nos valores das cargas, variando entre cargas positivas e negativas. Também podendo alterar a distância entre as cargas.

Figura 4 - Simulador em Escala Atômica



Fonte: (PHET, 2025)

Está disponível a versão do simulador em escala atômica onde os valores estão consideravelmente menores, chegando a serem representado na ordem de 10^{-6} . Continuando com a barra para alteração da intensidade das cargas e na distância entre as cargas. Dessa forma é observar a lei de Coulomb na pratica, entendendo como cada parâmetro altera o valor da Força elétrica entre as cargas.

3 METODOLOGIA

Neste trabalho, optou-se por uma sequência didática voltada para a investigação e a experimentação, valorizando a participação ativa de cada estudante e estimulando a curiosidade científica ao longo do processo, a fim de colocar o aluno como protagonista do próprio aprendizado. A pesquisa combinou métodos qualitativos, a partir do uso do simulador da Lei de Coulomb disponível na plataforma PhET, tendo como objetivo observar como os alunos interagem com a ferramenta e de que maneira o simulador ajudava na compreensão dos

conceitos de força elétrica, das interações entre cargas pontuais e do papel da distância nas forças de atração e repulsão.

O estudo foi realizado com 15 alunos do 1ª ano do Ensino Médio do Centro Estadual de Tempo Integral (CETI) José Pereira da Silva, situado na cidade de Teresina, no Estado do Piauí. A coleta de dados aconteceu durante uma aula de Física, quando os estudantes foram convidados a explorar o simulador e observar, de forma dinâmica, como as grandezas elétricas se comportam. Embora a abordagem do conteúdo seja apropriada para alunos do 3º ano, devido a recusa dos mesmos de participar voluntariamente, buscou-se aplicar com os alunos do 1º ano por se mostrarem mais receptíveis a participação na pesquisa.

Dessa forma, antes da aplicação do simulador, primeiramente fez-se uma aula teórica sobre o conceito inicial do que seria a referida Lei, discutindo o modelo atômico que prevê o átomo composto por prótons, neutros e elétrons. Ao ser apresentado como essas partículas interagem eletricamente, a turma foi estimulada a expressarem suas opiniões acerca do conteúdo. Em seguida, fez-se a apresentação do simulador, demonstrando como cada uma das variáveis influencia na Força elétrica de interação entre as cargas.

Figura 5 - Aplicação da Sequência Didática



Fonte: o autor (2026)

Depois dessa experiência prática, foi aplicado um questionário baseado no modelo MAREEA (Evaluation Model of Mobile Augmented Reality Educational Approaches), que ajudou a analisar com mais precisão o impacto do uso do PhET. Esse instrumento permitiu

avaliar aspectos como facilidade de uso, engajamento, motivação e o quanto a aprendizagem ativa foi estimulada, mostrando de forma clara como a ferramenta contribuiu com a aprendizagem.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação dos dados encontrados nesta pesquisa desenvolvida com a aplicação de um questionário estruturado, após a utilização do simulador virtual PhET sobre a Lei de Coulomb foi fundamentado no modelo MAREEA, com base nos estudos de Herpich *et al.* (2019). Os autores afirmam que esse modelo parte de uma revisão sistemática da literatura e estruturado em quatro fatores de qualidade: Usabilidade, Engajamento, Motivação e Aprendizagem Ativa, conforme a tabela 01.

Tabela 1 - Instrumento de avaliação do modelo MAREEA

Usabilidade	Aprendizabilidade	1. Eu precisei aprender pouca coisa antes de usar este aplicativo de realidade aumentada.
		2. Aprender a usar este aplicativo de realidade aumentada foi fácil.
	Operabilidade	3. Este aplicativo de realidade aumentada é fácil de usar.
		4. A forma de usar este aplicativo de realidade aumentada é fácil de entender.
	Acessibilidade	5. O design (cor, estilo de fonte e tamanho) usado neste aplicativo de realidade aumentada é claro e legível.
Engajamento	Prevenção de erros	6. Este aplicativo de realidade aumentada torna difícil que eu cometa erros.
		7. Em caso de erro no aplicativo, eu consigo me recuperar rápido dele.
	Estética	8. A interface deste aplicativo de realidade aumentada é atraente.
		9. Eu gosto da informação gráfica apresentada neste aplicativo de realidade aumentada.
	Aceitabilidade	10. O conteúdo educacional deste aplicativo de realidade aumentada vale a pena.
		11. Minha experiência com este aplicativo de realidade aumentada foi gratificante.
	Envolvimento	12. Eu me senti envolvido nas tarefas deste aplicativo de realidade aumentada.
		13. A experiência de aprendizagem com este aplicativo de realidade aumentada foi divertida.
	Novidade	14. O conteúdo educacional deste aplicativo de realidade aumentada despertou minha curiosidade.
		15. Eu me interessei por este aplicativo de realidade aumentada.
Motivação	Atenção focada	16. Eu estava tão envolvido na tarefa com este aplicativo de realidade aumentada que perdi a noção do tempo.
		17. Eu ignorei as coisas ao meu redor quando eu estava usando este aplicativo de realidade aumentada.
	Relevância	18. A forma como a informação é organizada neste aplicativo de realidade aumentada ajudou a manter a minha atenção.
		19. Está claro para mim como o conteúdo educacional deste aplicativo de realidade aumentada está relacionado às coisas que conheço.
	Confiança	20. Completar com sucesso as atividades com este aplicativo de realidade aumentada foi importante para mim.
		21. Estou confiante de que aprendi o que deveria depois de usar este aplicativo de realidade aumentada.
	Satisfação	22. Estou confiante de que entendi o conteúdo educacional mais complexo usando este aplicativo de realidade aumentada.
		23. Completar as atividades neste aplicativo de realidade aumentada gerou um sentimento satisfatório de realização.
		24. Gostei tanto do conteúdo educacional deste aplicativo de realidade aumentada que gostaria de saber mais sobre esse assunto.
		25. Eu realmente gostei de estudar com este aplicativo de realidade aumentada.
Aprendizagem Ativa	Efetividade	26. Este aplicativo de realidade aumentada me permitiu compreender melhor o conteúdo educacional.
		27. Eu poderei aplicar o que aprendi com este aplicativo de realidade aumentada em outras atividades.
	Desafio	28. As simulações deste aplicativo de realidade aumentada são úteis para o meu aprendizado.
		29. Este aplicativo de realidade aumentada me desafiou a aprender coisas novas.
	Feedback	30. Neste aplicativo de realidade aumentada, escolho tarefas que posso aprender.
		31. Este aplicativo de realidade aumentada fornece oportunidades para experimentar informações por meio de feedback visual.
	Segurança	32. Este aplicativo de realidade aumentada forneceu oportunidades para experimentar informações por meio de feedback de áudio.
		33. Este aplicativo de realidade aumentada me permite interagir com simulações que dificilmente realizaria no mundo real.
	Complexidade	34. As simulações neste aplicativo de realidade aumentada foram apropriadas para uma experiência de aprendizado.
		35. As simulações neste aplicativo de realidade aumentada são úteis para praticar os casos da vida real antes de realizá-las no laboratório real.
		36. Este aplicativo de realidade aumentada retratou problemas do mundo real por meio de simulações.
		37. Eu gosto de usar este aplicativo de realidade aumentada no meu treinamento prático.

Para download do modelo de avaliação MAREEA em sua versão Português e/ou Inglês, acesse o link: <http://dx.doi.org/10.17632/csb6dbssdp.3>.

A dimensão de Usabilidade analisa a facilidade de utilização da tecnologia, considerando aspectos como aprendibilidade, operabilidade e acessibilidade. O fator Engajamento busca verificar o nível de envolvimento do estudante com a atividade proposta, contemplando elementos como estética, novidade e aceitabilidade. A dimensão Motivação investiga o interesse despertado pela ferramenta, avaliando fatores como atenção, relevância, confiança e satisfação. Já a Aprendizagem Ativa procura identificar em que medida a tecnologia favorece a participação ativa do estudante na construção do conhecimento.

Segundo Herpich *et al.* (2019), a utilização do modelo MAREEA em atividades educacionais voltadas ao ensino de Física permitiu identificar percepções positivas dos estudantes em relação aos fatores avaliados, evidenciando que recursos tecnológicos interativos podem contribuir para o aumento do engajamento, da motivação e da aprendizagem. Dessa forma, a adoção desse instrumento nesta pesquisa possibilitou uma análise da percepção dos alunos acerca da utilização do simulador PhET no ensino da Lei de Coulomb, fornecendo indicadores relevantes sobre sua contribuição para a compreensão dos conceitos físicos abordados.

A intervenção didática consistiu em trabalhar com o simulador da Lei de Coulomb, disponível na plataforma PhET Interactive Simulations, permitindo que os alunos alterassem variáveis como a intensidade das cargas elétricas e a distância entre as partículas carregadas. Os alunos poderiam, em tempo real, observar como a força elétrica resultante se alterava e relacionava os elementos matemáticos da Lei de Coulomb com a sua representação visual.

Os resultados observados indicaram que a utilização do simulador contribuiu significativamente para a compreensão dos conceitos abordados. Muitos estudantes demonstraram maior facilidade em compreender a relação da distância entre as cargas e a proporcionalidade existente entre a intensidade das cargas elétricas e a força eletrostática. A representação gráfica e dinâmica oferecida pelo simulador favoreceu a visualização de fenômenos que normalmente são apresentados apenas por meio de equações matemáticas, reduzindo o grau de abstração característico do conteúdo.

Um outro ponto significativo que se destacou foi o aumento do envolvimento dos alunos na atividade, devido a capacidade de ajustar as configurações do simulador, experimentar hipóteses e ver os resultados em tempo real incentivando uma postura mais exploratória e engajada. Os alunos demonstraram curiosidade ao testar várias configurações de cargas positivas e negativas e em observar como os efeitos mudam quando a distância entre elas é alterada.

Além disso, notou-se que o ambiente online ofereceu mais interatividade dos estudantes com o funcionamento da Lei de Coulomb quando comparado ao método tradicional, que se concentra principalmente na prática de exercícios, o simulador possibilitou que os estudantes elaborassem suas próprias compreensões sobre os fenômenos eletrostáticos através da experimentação virtual a promover a aprendizagem ativa e também desenvolver o esclarecimento científico. Os dados obtidos também indicam que o uso do PhET ajudou a tornar o aprendizado sobre a Lei de Coulomb menos abstrato e relevante.

A representação visual das forças de atração e repulsão entre cargas elétricas foi um recurso que ajudou a contornar as dificuldades de entendimento mais comuns no ensino de Eletrostática, principalmente no que se refere às interações entre cargas e dependência da força elétrica em relação à distância.

Para avaliar a percepção dos estudantes acerca da utilização do simulador virtual PhET no ensino da Lei de Coulomb, foi empregado o questionário MAREEA, composto por 37 afirmativas distribuídas nas dimensões Usabilidade, Engajamento, Motivação e Aprendizagem. O instrumento possibilitou analisar não apenas os aspectos técnicos relacionados à utilização do simulador, mas também a experiência educacional proporcionada aos estudantes, considerando o interesse, o envolvimento, a confiança e a percepção de aprendizagem.

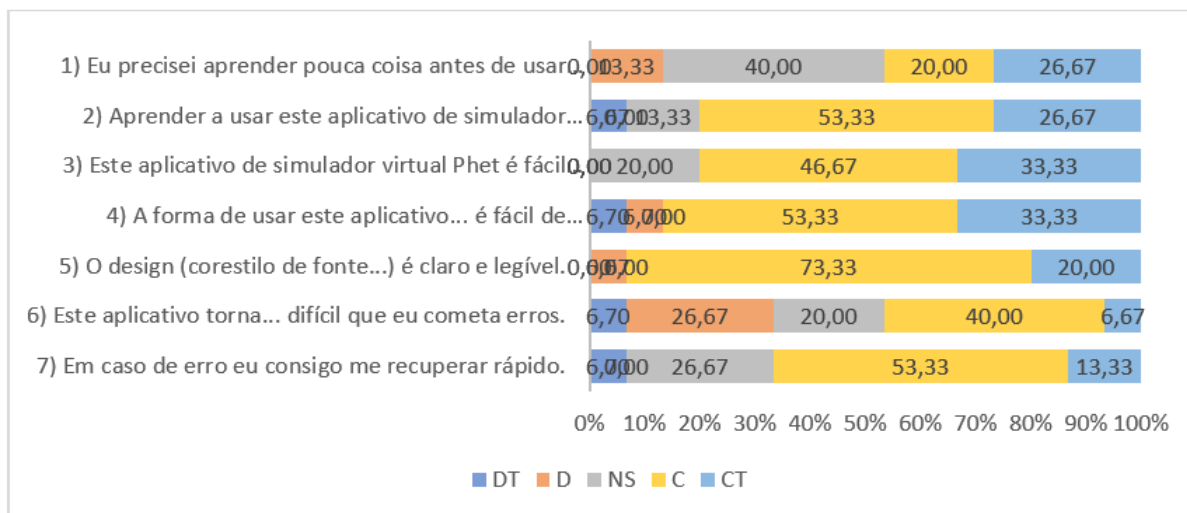
As respostas foram organizadas em uma escala Likert de cinco pontos: Discordo totalmente, Discordo, Neutro, Concordo e Concordo totalmente. Para facilitar a interpretação, os percentuais de Concordo e Concordo totalmente foram agrupados como respostas positivas, enquanto Discordo e Discordo totalmente foram classificados como respostas negativas. A alternativa Neutro foi mantida separadamente, por representar uma posição intermediária ou a ausência de uma opinião claramente definida.

Participaram da avaliação 15 estudantes. Foram contabilizadas 552 respostas válidas entre as 555 respostas possíveis. Duas respostas não foram registradas na questão 15 e uma resposta não foi registrada na questão 16. Nessas questões, os percentuais foram calculados considerando somente o número de respostas válidas.

De maneira geral, 71,92% das respostas concentraram-se nas categorias Concordo e Concordo totalmente, enquanto 16,49% foram neutras e 11,59% corresponderam às categorias de discordância. A média geral foi de 3,80 em uma escala de 1 a 5. Esses resultados demonstram uma percepção predominantemente positiva dos estudantes em relação à experiência educacional desenvolvida com o simulador PhET. Entretanto, por se tratar de uma avaliação da percepção dos participantes, os resultados devem ser interpretados em conjunto com outros

instrumentos de avaliação da aprendizagem, não sendo suficientes, isoladamente, para comprovar a aquisição dos conceitos estudados.

Gráfico 1 - Dimensão Usabilidade do instrumento de avaliação modelo MAREEA

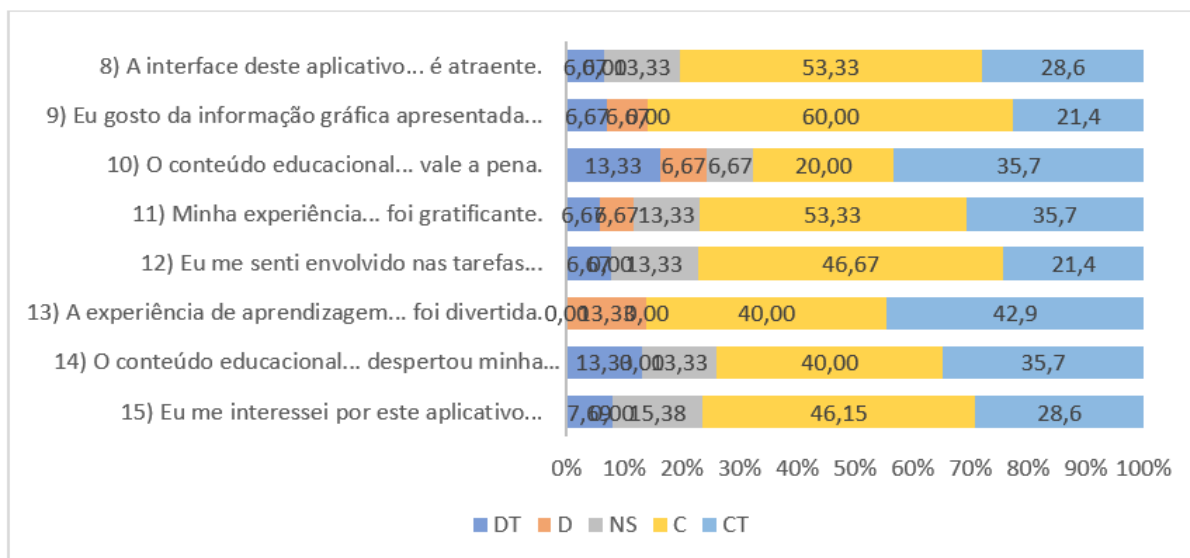


Legenda: DT (Discordo Totalmente), D (Discordo), NS (Não Sei), C (Concordo), CT (Concordo Totalmente). Os resultados foram tabulados em percentagem (%).

Fonte: Autores, 2026

De maneira geral, a dimensão da Usabilidade indica que o simulador virtual PhET apresentou boa aceitação quanto à facilidade de uso, compreensão da interface e manipulação dos comandos pelos estudantes. Embora alguns participantes tenham demonstrado neutralidade quanto à necessidade de conhecimentos prévios para iniciar o uso da ferramenta, os resultados apontam que essa possível adaptação inicial não comprometeu o desenvolvimento da atividade, tal qual favoreceu a exploração dos conceitos físicos envolvidos na Lei de Coulomb. A estética e os aspectos visuais do simulador foram bem recebidos pelos alunos, resultado relevante, pois, em conteúdos abstratos da Física, como a Eletrostática, a qualidade da representação visual pode contribuir diretamente para a compreensão dos fenômenos estudados.

Por outro lado, o ponto que exigiu maior atenção foi a prevenção de erros, que apresentou avaliação menos expressiva quando comparada aos demais aspectos da dimensão. Sugerindo que, mesmo sendo uma ferramenta intuitiva, o simulador ainda requer mediação e, por si só, não substitui a prática docente, principalmente nas primeiras interações dos estudantes, a fim de orientar o uso correto dos comandos, explicar as consequências das alterações realizadas nos parâmetros e favorecer maior autonomia durante a atividade investigativa.

Gráfico 2 - Dimensão Engajamento do instrumento de avaliação modelo MAREEA

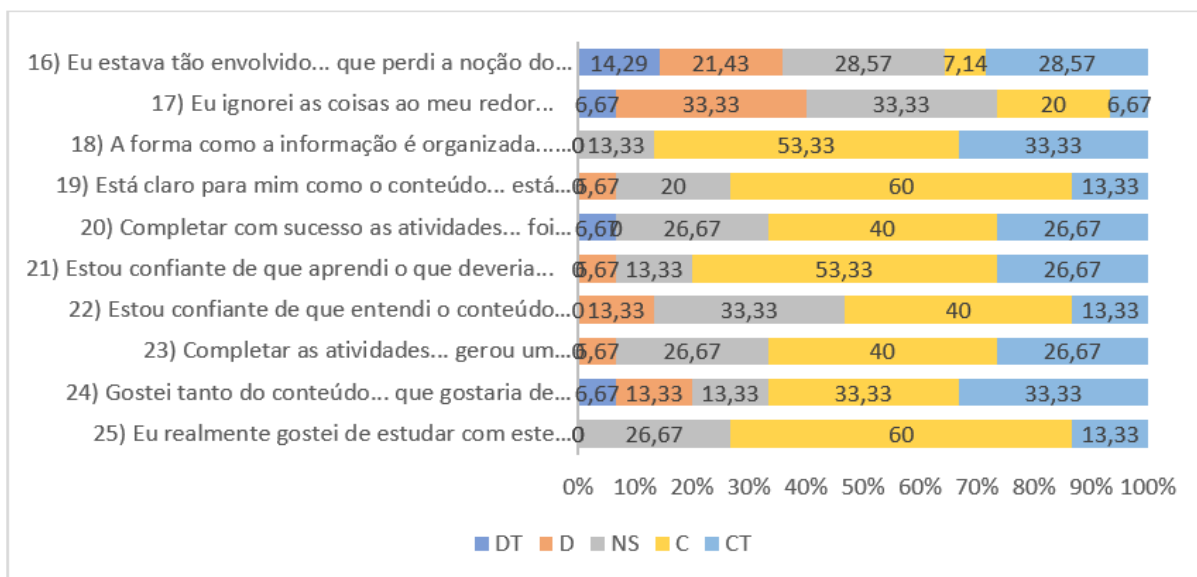
Legenda: DT (Discordo Totalmente), D (Discordo), NS (Não Sei), C (Concordo), CT (Concordo Totalmente). Os resultados foram tabulados em percentagem (%).

Fonte: Autores, 2026

A dimensão Engajamento apresentou a avaliação mais favorável entre as dimensões analisadas, evidenciando que os recursos visuais, a interatividade e a possibilidade de manipulação de variáveis proporcionadas pelo simulador contribuíram para tornar a experiência de aprendizagem mais atrativa para a maioria dos participantes. Esse resultado reforça o potencial pedagógico da ferramenta para favorecer a compreensão de fenômenos abstratos, especialmente aqueles que não podem ser observados diretamente no cotidiano.

Entretanto, a análise dos dados referentes à dimensão Aceitabilidade demonstra que o engajamento dos estudantes não decorre exclusivamente da utilização da tecnologia. Sua efetividade está diretamente relacionada às estratégias pedagógicas adotadas pelo professor, incluindo o planejamento das atividades, a formulação de questionamentos investigativos, a orientação durante a exploração do simulador e a integração do recurso com explicações conceituais, registros escritos e situações-problema.

Nesse contexto, o simulador PhET mostrou-se um recurso didático capaz de tornar as aulas mais dinâmicas e motivadoras. Todavia, seu potencial educativo depende de uma utilização fundamentada em planejamento pedagógico consistente, objetivos de aprendizagem claramente definidos e mediação docente qualificada, de modo que a tecnologia deixe de ser um fim em si mesma e passe a constituir um instrumento efetivo para a construção do conhecimento.

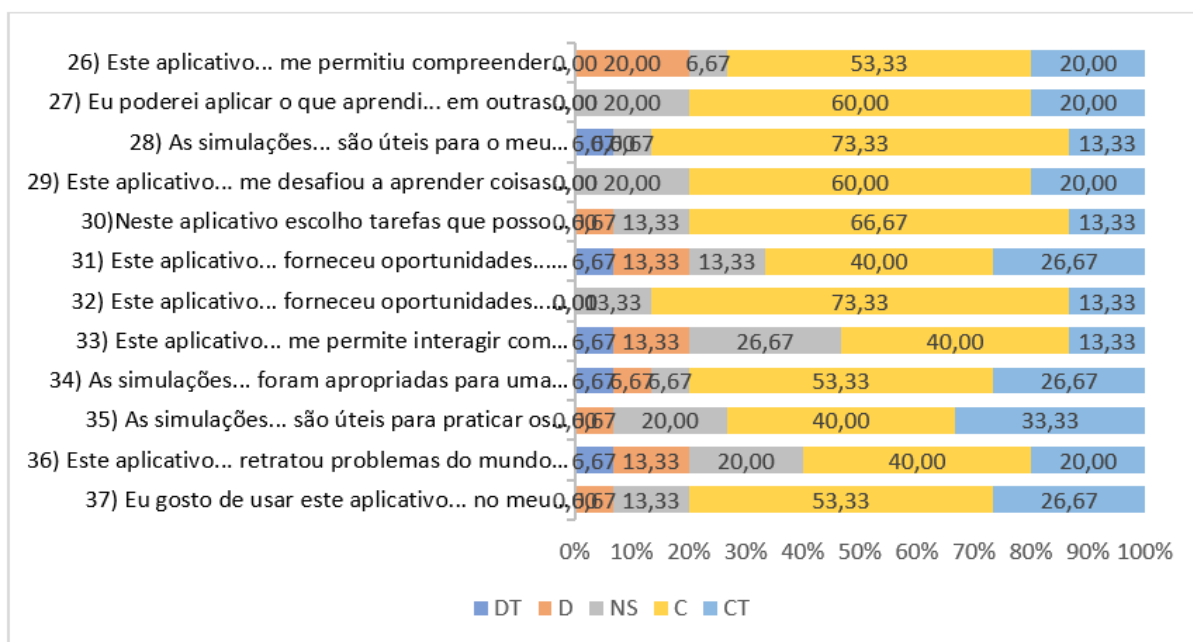
Gráfico 3 - Dimensão Motivação do instrumento de avaliação modelo MAREEA

Legenda: DT (Discordo Totalmente), D (Discordo), NS (Não Sei), C (Concordo), CT (Concordo Totalmente). Os resultados foram tabulados em percentagem (%).

Fonte: Autores, 2026

Observando de maneira geral, a dimensão Motivação obteve resultados positivos assim como as demais dimensões, porém foi a que teve menor taxa de opiniões positivas. Os resultados demonstram que a maioria dos participantes conseguiu relacionar a atividade aos conhecimentos prévios sobre a Lei de Coulomb, além de reconhecer a importância das tarefas propostas.

Entretanto, o ponto que mais chamou foi a menor intensidade nos aspectos ligados à imersão total e à compreensão de conteúdos mais complexos, questionados nos itens 16, 17 e 22. Isso indica que, embora o PhET favoreça a motivação e a participação, sua utilização precisa estar acompanhada da mediação do professor, especialmente para orientar a análise dos fenômenos e esclarecer conceitos mais complexos.

Gráfico 4 - Dimensão de Aprendizagem do instrumento de avaliação modelo MAREEA

Legenda: DT (Discordo Totalmente), D (Discordo), NS (Não Sei), C (Concordo), CT (Concordo Totalmente). Os resultados foram tabulados em percentagem (%).

Fonte: Autores, 2026

Por fim, a Aprendizagem ativa também apresentou avaliação positiva, indicando que o simulador PhET, na opinião dos estudantes, contribuiu para a compreensão e exploração dos conceitos relacionados à Lei de Coulomb. Os estudantes reconheceram a utilidade da ferramenta para visualizar o comportamento das cargas elétricas, manipular variáveis e observar as consequências dessas alterações de forma imediata, sugerindo que o simulador favoreceu a associação da expressão matemática com os fenômenos físicos, tornando o conteúdo mais acessível e menos abstrato.

O ponto que mais chamou atenção foi a percepção de efetividade do simulador, especialmente quanto à sua utilidade para a aprendizagem e à possibilidade de aplicar os conhecimentos em outras atividades. Também se destacou o caráter desafiador da ferramenta, que estimulou os estudantes a serem capazes de experimentar novas situações. Com esse resultado positivo, podemos afirmar que a ferramenta pode ser utilizada para os fins disposto nesta pesquisa, associada sempre a um bom planejamento de aula e intervenção do professor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo foi realizado com base na aplicação do simulador virtual PhET para a Lei de Coulomb, no ensino de Física do ensino médio. Em sala de aula, foi estudado como a

simulação com Simulador virtual Phet pode ser útil para os alunos visualizarem interações elétricas e entenderem a relação entre os elementos físicos envolvidos e o que é ensinado/aprendido.

Os resultados obtidos mostraram que o simulador ajudou a tornar o conteúdo mais vivo, dinâmico e menos abstrato. Ao controlar cargas elétricas e a distância entre elas, os alunos puderam perceber a diferença na força elétrica em intensidade e direção que corresponde à explicação matemática da Lei de Coulomb. Alterar variáveis e ver imediatamente os efeitos das mudanças permitiu a conexão entre conceitos teóricos e o efeito físico.

O feedback que encontramos usando o questionário MAREEA é majoritariamente positivo a partir da experiência dos alunos com o simulador. Das quatro dimensões estudadas, 71,92% das respostas foram mistas entre “Concordo” e “Concordo Fortemente”. A dimensão de engajamento obteve o maior nível de respostas positivas (78,81%), seguida por Aprendizagem e Usabilidade (75,00%) e Motivação com 63,09%. Esses resultados ilustram que o material da aula despertou interesse nos alunos e seria algo útil que ajudaria a criar interesse no aluno e a ser capaz de participar na sala de aula para a aprendizagem de seu conteúdo, de modo que os alunos devem se engajar com o material do curso.

Os recursos digitais, portanto, ajudaram a superar problemas comuns nas aulas de ensino de Física que dizem respeito a fenômenos elétricos, como a abstração dos conceitos, o uso de fórmulas sem entendimento da sua definição e mitigar a ausência de laboratórios nas escolas de ensino médio. O simulador permitiu que os alunos experimentassem várias configurações e depois aprendessem o procedimento novamente em um ambiente seguro e simples. Ele forneceu a eles ferramentas para alcançar tal perspectiva, de modo que os materiais necessários em um experimento normal serão fornecidos como a ideia principal.

No entanto, é importante enfatizar que, embora as contribuições sejam identificadas, as simulações computacionais não substituem completamente as atividades experimentais realizadas em laboratórios reais. A experimentação completa permite o contato com os instrumentos de medição, os materiais, as imprecisões e as dificuldades da pesquisa científica. Dessa forma, o simulador deve ser usado como um recurso complementar, que pode preparar os alunos para as atividades práticas, auxiliar na interpretação das especificações e aumentar as possibilidades de exploração do conteúdo.

Reconhecemos que os resultados são o resultado do grupo de 15 alunos e foram derivados através de um questionário de autoavaliação, portanto, para o qual conclusões não podem ser generalizadas para todas as escolas.

O simulador PhET, de maneira geral, se configura como uma alternativa válida e viável para o ensino da Lei de Coulomb no Ensino Médio, especialmente quando aplicado em conjunto com metodologias de ensino planejadas e orientadas para objetivos de aprendizagem bem definidos, essa ferramenta ajudou a tornar o conteúdo mais acessível, visual e interativo, o que favoreceu o envolvimento dos alunos e indicou sinais positivos quanto à compreensão dos conceitos envolvidos.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular-BNCC**. Brasília, DF: MEC, 2018. Disponível em: https://www.gov.br/mec/pt-br/escola-em-tempo-integral/arquivos/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal.pdf. Acesso em 13 de mar. 2026.
- BRASIL. Ministério da Educação. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). **Resumo Técnico do Censo da Educação Básica 2018**. Brasília: INEP, 2018. Disponível em: https://download.inep.gov.br/educacao_basica/censo_escolar/resumos_tecnicos/resumo_tecnico_censo_educacao_basica_2018.pdf Acesso em 13 de mar. 2026
- CARDOSO, K. T. de S. N., RODRIGUES, J. C. de S., TORRES, R. L., BRITO, F. W. P., RAMOS, M. C., LINS, W. dos S., CARVALHO, M. do C. S., DA SILVA, E. A. (2021). O ensino de ciências com o uso da ferramenta digital simulador phet por meio da estratégia investigativa nos anos finais do ensino fundamental. **Brazilian Journal of Development**, 7(8), 81493–81509. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/34563>. Acesso em: 12 de mar. 2026.
- HERPICH, Fabrício et al. MAREEA - Evaluation Model of Mobile Augmented Reality Educational Approaches. **Mendeley Data**, v. 3, 6 set. 2019. Disponível em: <https://data.mendeley.com/datasets/csb6dbssdp/3>. Acesso em: 14 de mar. 2026.
- KNIGHT, Randall D. **Física: uma abordagem estratégica**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. Disponível em: <https://fisica.ufpr.br/periodoespecial/MATERIAL-KNIGHT/F%C3%ADsica%20-%20Uma%20Abordagem%20Estrat%C3%A9gica%20-%20Randall%20D.%20Knight%20%20-%20Vol%201%20-%202%C2%AA%20Ed%202009.pdf>. Acesso em: 13 de mar. 2026.
- JAIME, Danay M.; LEONEL, A. Ary. Uso de simulações: Um estudo sobre potencialidades e desafios apresentados pelas pesquisas da área de ensino de física. **Rev. Bras. Ensino Fís.** 46, 2024. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/PvcqYmVLssjYpggDb4Jmz8N/?lang=pt>. Acesso em: 14 de mar. 2026.
- LUZ, Antônio Máximo Ribeiro da; ÁLVARES, Beatriz Alvarenga. **Curso de Física**. v. 3. São Paulo: Scipione, 2012.
- MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz. **Projeto VOAZ Física**. São Paulo: Scipione, 2012.

MORAN, J. M. **A educação que desejamos: novos desafios e como chegar lá**. 5. ed. Campinas: Papirus, 2012.

MAYER, Richard E. **Multimedia Learning**. 2. ed. New York: Cambridge University Press, 2009.

WIEMAN, C. E.; ADAMS, W. K.; PERKINS, K. K. PhET: Simulations That Enhance Learning. **Science**, v. 322, n. 5902, p. 682-683, 31 out. 2008. Disponível em: <https://science.sciencemag.org/content/322/5902/682.full>. Acesso em: 15 de jun. 2026.

SANTAELLA, L. A aprendizagem ubíqua substitui a educação formal? **Revista de Computação e Tecnologia da PUC-SP**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 17-22, 2010. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/ReCET/article/view/3852/2515> Acesso em: 14 de mar. 2026.

VALENTE, J. A. (org.). **O computador na sociedade do conhecimento**. Campinas: UNICAMP/NIED, 1999. 156 p.