

Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Unidade Acadêmica de Educação a Distância e Tecnologia  
Curso de Licenciatura em Física



**METODOLOGIA PEER INSTRUCTION ALIADA AO  
SOFTWARE PHET PARA O ENSINO DE ELETRODINÂMICA**

AMARO COELHO PEDROSA

Recife

2023

AMARO COELHO PEDROSA

**METODOLOGIA PEER INSTRUCTION ALIADA AO  
SOFTWARE PHET PARA O ENSINO DE ELETRODINÂMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Física UAEADTec/UFRPE como requisito parcial para obtenção do grau de Licenciado em Física.

Área de concentração: Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Wellington Moreira da Silva

Recife  
2023

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente ao Criador, por suprir todo o necessário para que fosse possível alcançar mais um objetivo.

Expresso a minha sincera gratidão ao Prof. Dr. Wellington Moreira da Silva pela excelente condução da orientação e irrestrito apoio.

Estendo os meus agradecimentos à coordenadora do curso, Prof. Dra. Flávia Portela Santos, por proporcionar um ambiente de ensino e de pesquisa humano e acolhedor, além da habitual disponibilidade em ajudar, sempre que foi necessário ao longo do curso, e por quem tive a oportunidade de cultivar apreço e admiração.

Meu sincero agradecimento aos demais professores e funcionários da coordenação do curso de Licenciatura em Física da Unidade Acadêmica de Educação à Distância e Tecnologia pelos excelentes ensinamentos e apoio, especialmente à Prof. Dra. Ana Paula Teixeira Bruno Silva, pelo cuidado com o rigor acadêmico e à Marcela Rafaela, pela condução exemplar dos assuntos pedagógicos e administrativos.

Agradeço aos alunos colegas de curso pela colaboração e momentos de descontração e parceria proporcionados, apesar do contato predominantemente virtual, devido a pandemia de COVID-19.

Agradeço à Universidade Federal Rural de Pernambuco por oportunizar a minha formação profissional como professor e poder contribuir com o desenvolvimento da educação e da ciência no país, um sonho realizado.

Agradeço à minha família pelo estímulo e incentivo ao longo de mais um desafio e por sempre ser a minha motivação maior.

---

## Metodologia *Peer Instruction* aliada ao software de simulação PhET para o ensino de eletrodinâmica

---

### Resumo

Este artigo propõe a utilização da metodologia *Peer Instruction* ou Metodologia PI, e da Plataforma PhET para o ensino de Eletrodinâmica, com o objetivo de familiarizar os estudantes com a utilização das Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação, resgatar conhecimentos prévios dos alunos e promover uma aprendizagem mais significativa. A pesquisa apresenta uma proposta de utilização de uma metodologia ativa muito difundida no meio acadêmico e que possui muito potencial para ser utilizada na educação básica e utiliza como cenário o ambiente de simulação computacional como recurso para o ensino de conceitos introdutórios de eletrodinâmica e de circuitos elétricos. O estudo discute uma proposta de sequência didática que pode ser aplicada em turmas de ensino médio, e espera-se que os resultados de sua utilização contribuam para o aumento significativo do interesse dos alunos e na compreensão dos conceitos fundamentais da eletrodinâmica. A utilização da Metodologia *Peer Instruction* e da Plataforma PhET, de forma programada pelo professor, possibilitará que o ensino não seja apenas de memorização de fórmulas, uma vez que as equações aparecem somente após a utilização das simulações e da experimentação. Desta forma, a compreensão de como as variáveis da eletrodinâmica se articulam e influenciam o fenômeno ocorrem quando os conceitos fundamentais se encontram sedimentados pelos estudantes e essa pode ser uma excelente estratégia de ensino de eletrodinâmica.

**Palavras-Chave:** Metodologias ativas; *Peer Instruction*; Ensino de Eletrodinâmica; PhET.

## Abstract

This paper proposes the use of the Peer Instruction methodology and the PhET Platform for teaching electrodynamics, with the aim of familiarizing students with the use of Digital Information and Communication Technologies, rescuing students' prior knowledge, and promoting more meaningful learning. The research presents a proposal for the use of an active methodology that is widely spread in the academic environment and has great potential to be used in basic education, using the computational simulation environment as a resource for teaching introductory concepts of Electrodynamics and Electrical Circuits. The study presents a proposal for a didactic sequence that can be applied to high school classes, and it is expected that the results of its use will contribute to a significant increase in students' interest and understanding of the fundamental concepts of Electrodynamics. The use of the Peer Instruction Methodology and the PhET Platform, programmed by the teacher, will enable teaching that is not only focused on memorizing formulas, since equations only appear after the use of simulations and experimentation. In this way, the understanding of how Electrodynamics variables articulate and influence the phenomenon occurs when fundamental concepts are solidified by students, and this can be an excellent strategy for teaching electrodynamics.

**Keywords:** Active Learning; Peer Instruction; Teaching of Electrodynamics; PhET.

## I. Introdução

O Ensino de Física no Brasil tem enfrentado importantes desafios ao longo do tempo. A falta de atividades experimentais no ensino de física tem contribuído significativamente para que o ensino da física na Educação Básica (EB) desperte pouco interesse dos estudantes e se consolide como uma das disciplinas de maior repúdio entre eles [1]. A natureza da física, em particular da eletrodinâmica, considerada abstrata pelos alunos e por alguns professores, a ausência de base matemática e a predominância de um ensino centrado na forma passiva de socialização do conhecimento são outros fatores que dificultam a compreensão dos conceitos fundamentais da física. As metodologias ativas,

---

em especial, podemos citar a método PI (do inglês *Peer Instruction*) e as plataformas de simulação, como o simulador PhET, surgem como uma resposta importante para a problemática, como forma de tornar o ensino mais dinâmico e interessante aos alunos.

As estratégias de Ensino de Física atualmente adotadas estão inseridas em um cenário tecnológico escolar desconectado da realidade que o estudante encontra fora do ambiente escolar. Vivemos uma época de grandes avanços tecnológicos, entretando, em geral, a nova geração de jovens enxerga as Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDICs), como instrumentos básicos de comunicação, diversão e fonte de informações. No processo de ensino de física, as tarefas e objetivos devem ser planejados visando formar conhecimentos fundamentais do assunto para adquirir e desenvolver habilidades para usar tecnologias da informação para resolver problemas educacionais e outros objetivos e tarefas [2], entretanto, esses aparatos estão distantes da realidade escolar e seu potencial como ferramentas de assistência na aprendizagem de conceitos e construção de habilidades não são aproveitados de forma efetiva.

Desta maneira, considerando que após décadas de pesquisas em educação realizadas pela comunidade científica, está bem estabelecido que as metodologias ativas de aprendizagem são mais eficazes que as aulas tradicionais, no sentido de melhorar os resultados alcançados pelos alunos [3] e, aliado a isso, nas condições modernas da sociedade da informação, a estrutura de ensino do sistema escolar precisa estar apta a preparar os alunos para o desenvolvimento do conhecimento do conteúdo nas disciplinas escolares, desenvolvimento do pensamento criativo, crítico, de análise e de competência em TDICs.

A eletrodinâmica é uma área da física considerada complexa e desafiadora para muitos estudantes e professores de física, sobretudo devido à sua natureza abstrata e conceitual. Existem várias plataformas digitais de simulação que visam melhorar a eficácia do ensino de eletrodinâmica através da utilização de TDICs, como o simulador PhET. Por outro lado, as abordagens das metodologias ativas como o método PI têm sido amplamente utilizadas em várias disciplinas científicas e podem ser aplicadas para melhorar o ensino de eletrodinâmica. Entretanto, apesar do potencial dessa abordagem, ainda existem muitos desafios a serem superados para torná-la mais eficaz e amplamente utilizada.

A ideia do trabalho é explorar a utilização do método *Peer Instruction* aliado ao simulador PhET para o ensino de eletrodinâmica. Nesse contexto, o nosso foco encontra justificativa na eficácia amplamente discutida na literatura em relação às metodologias ativas, e propõe a utilização de um ambiente de simulação como recurso tecnológico para uma proposta de sequência didática que compreenda o resgate de conhecimentos prévios dos alunos e a utilização de simulação no ensino de circuitos elétricos, mas que pode ser facilmente adaptada para outros conteúdos de Física.

## II. Metodologia

O desenvolvimento da competência em TDICs através da utilização do software de simulação PhET e da aplicação da metodologias ativas como o *Peer Instruction* no ensino de eletrodinâmica dependerá da proporção alcançada em: melhorar as metas, objetivos e conteúdo do ensino de física usando os recursos da plataforma PhET e soluções educacionais em conjunto com uma reorganização da metodologia utilizada, propondo a utilização de uma metodologia ativa capaz de utilizar princípios didáticos de ensino de física usando o método PI, bem como ferramentas digitais para o ensino de eletrodinâmica.

Há uma grande variedade de metodologias ativas disponíveis em manuais de ensino, estudos de caso e na comunidade escolar. É responsabilidade do professor escolher a metodologia mais adequada para sua sala de aula [4]. Mitre *et al.* [5] afirmam que “as metodologias ativas estão alicerçadas em um princípio teórico significativo: a autonomia [...]. Além disso, as metodologias ativas são flexíveis e permitem diferentes abordagens, já que reconhecem que o espaço da sala de aula e as relações estabelecidas são ”.

As diversas possibilidades de metodologias ativas, inclusive as apresentadas nessas metodologias, o professor deixa de ser o elemento central do processo. Essa posição passa a ser ocupada pelo aluno que tem no professor o mediador de sua aprendizagem [6]. A Tabela 1 apresenta algumas das metodologias ativas de ensino reconhecidas e relevantes na educação.

Tabela 1 – Metodologias ativas de ensino.

| Metodologia                               | Proposta  |
|---|---|
| Aprendizagem por problemas                | A aprendizagem ocorre através da resolução de problemas, sendo necessário que os alunos utilizem seus conhecimentos prévios e o conteúdo da disciplina de maneira colaborativa. Dessa forma, os estudantes adquirem habilidades como a capacidade de buscar soluções variadas, analisar diferentes perspectivas e ideias, além de aprender de forma autônoma  |
| Aprendizagem por projetos                 | O ensino e a aprendizagem ocorrem por meio da elaboração de projetos. A apresentação de um desafio ou problema, normalmente interdisciplinar, estimula os alunos a realizarem diversas etapas, incluindo o planejamento, a execução e a avaliação do projeto. Isso permite que o aluno aplique conteúdos e informações para um objetivo específico, reconhecendo, assim, a relevância prática do conhecimento   |
| Sala de aula invertida                    | O processo de ensino e aprendizagem ocorre por meio da inversão da sala de aula, abandonando o modelo tradicional. A leitura e o estudo do conteúdo devem ser realizados fora do ambiente de sala de aula, não havendo a necessidade de exposição do conteúdo pelo professor. Dessa forma, tanto o professor quanto os alunos podem usar o tempo em sala para formular questões, participar de debates e aplicar o que foi aprendido  |
| Peer Instruction                          | O processo de ensino e aprendizagem tem como fundamento o debate e a cooperação entre os alunos, incentivados por questões conceituais. Essa abordagem possibilita a interação em sala de aula e permite que a progressão do conteúdo seja definida pela compreensão e desempenho dos estudantes. A avaliação dos alunos é feita por meio de questões de múltipla escolha, frequentemente por meio de questionários, cartões de revisão (flashcards) ou dispositivos de resposta em sala de aula (clickers) |
| Ensino sob medida (Just in Time Teaching) | O processo de ensino e aprendizagem adota o método Jus-in-Time, amplamente utilizado na indústria, que visa aumentar a eficiência e flexibilidade do ensino por meio de uma comunicação ágil entre professor e alunos, geralmente por meio da internet. A partir de uma avaliação prévia da compreensão dos alunos sobre o conteúdo, o professor pode preparar a aula com base nas principais dúvidas e questionamentos apresentados pelos estudantes   |

Fonte: Elaborado pelo Autor, adaptado de [4] e [6].

Adicionalmente, os simuladores computacionais destacam-se como uma importante ferramenta das TDICs. Existem várias plataformas de simulação disponíveis. Além do PhET, foco de nosso trabalho, existem diversos outros softwares educacionais dentre os quais podemos citar o Circuit Maker, como ilustrado na Figura 1.

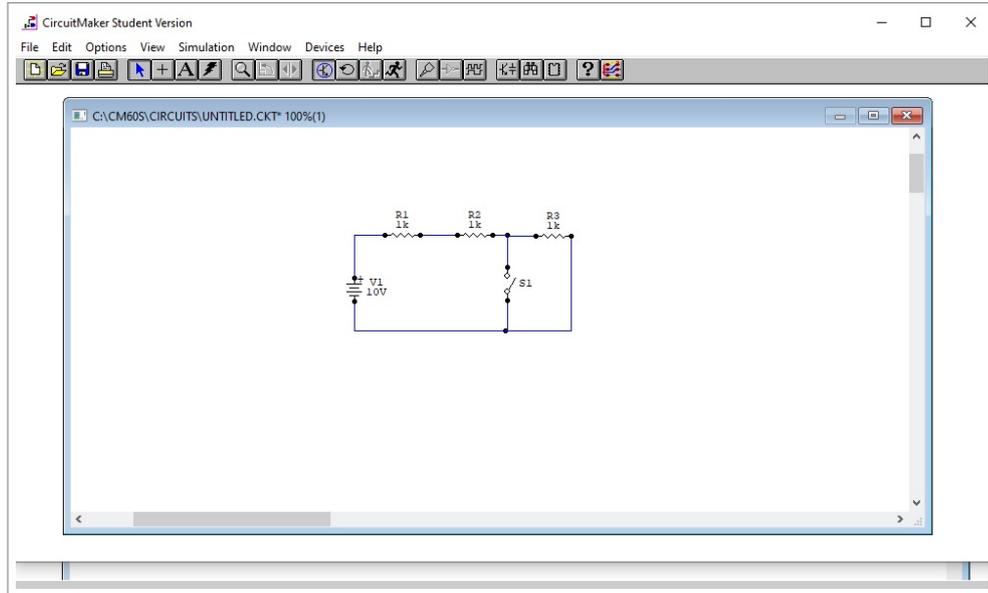


Figura 1 – *Layout do simulador Circuit Maker versão Student.*

## II (a). O simulador PhET

Grande parte dos simuladores educacionais que foram estudados durante a revisão bibliográfica da pesquisa são extremamente úteis quando é necessário realizar práticas experimentais de demonstração em aulas expositivas e práticas. Entretanto, neste trabalho, exploramos o Portal PhET, pela facilidade de seu uso frente às outras plataformas, por ser totalmente gratuito, e por contar com uma grande variedade de possibilidades de simulações [7].

As simulações no PhET são bem planejadas, desenvolvidas e avaliadas, com uma interface de usuário simples que permite aos alunos descobrir novas formas de aprendizagem. Os comandos são ativados ou desativados com apenas um clique, permitindo que os alunos interajam com as simulações de maneiras variadas e construam conhecimentos em seu próprio ritmo.

Na seção dedicada à Eletricidade e Circuitos do PhET, são encontrados diversos laboratórios virtuais. Entre os destaques estão as simulações que tratam de conceitos básicos sobre a utilização e aplicação de baterias, o laboratório virtual de construção de circuitos (Figura 2), de resistência de um fio e noções básicas sobre a Lei de Ohm. Os conceitos abstratos do estudo da corrente elétrica, resistência, diferença de potencial elétrico podem ser explorados de maneira interativa. As interações se dão através da manipulação das variáveis envolvidas na lei de formação dos fenômeno.

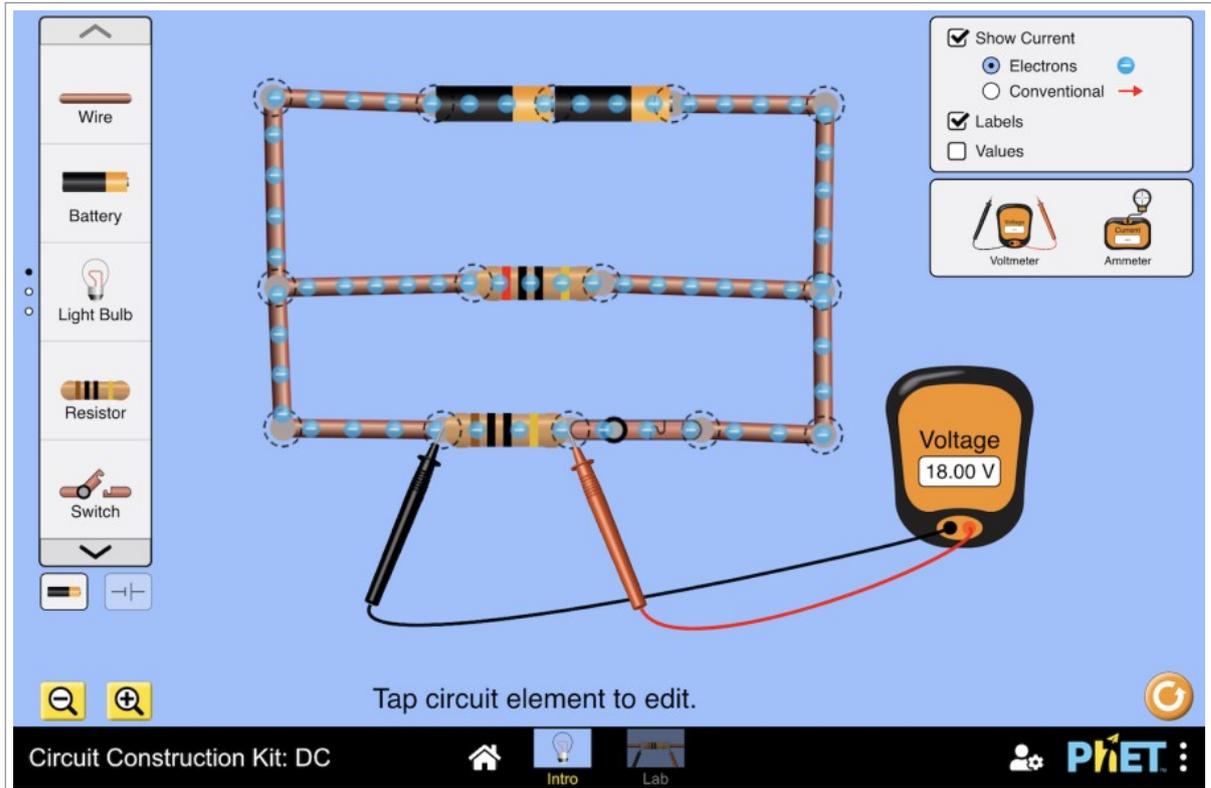


Figura 2 – Layout do simulador interativo Circuito DC do PhET.

## II (b). O método *Peer Instruction*

A utilização do método PI como ferramenta para a busca por ambientes educacionais colaborativos e proativos começou a ser discutida pelo seu idealizador, o Professor Eric Mazur, ainda na década de 90, quando foram aplicadas as primeiras experiências de desenvolvimento do método. A metodologia surgiu das observações realizadas em uma disciplina de física básica na Universidade de Harvard, com o objetivo de entender como os seus alunos resolvem problemas de física [8]. Nos anos seguintes, a técnica passou a receber reconhecimento nacional e internacional e as pesquisas realizadas passaram a ser utilizadas em diferentes modalidades de ensino [4].

A ideia central da metodologia é concentrar atenção aos conceitos implícitos sem sacrificar a capacidade dos estudantes de resolver problemas. A dinâmica proposta consiste em explorar o conteúdo de ensino por meio de diálogo e questionamentos individuais ou coletivos. Sendo assim, o *Peer Instruction* mostra-se como um método eficiente para ensinar os fundamentos conceituais da física e conduzir os estudantes a um melhor desempenho na resolução de problemas convencionais [8], porém sem abandonar a importância das questões de aplicação dos conteúdos.

O *Peer Instruction* é uma metodologia que envolve uma série de passos que se iniciam antes mesmo do início da aula. A fim de que o aluno desenvolva capacidades interpretativas, criativas e críticas, é importante que ele tenha contato com o conteúdo

Tabela 2 – Etapas de aplicação do *Peer Instruction*.

| Passo | Atividade                | Descrição   |
|-------|--------------------------|---|
| 1     | Seleção do conteúdo      | O professor faz a indicação do conteúdo e material de referência que deverão ser utilizados durante as aulas. Nesta fase, pode-se explorar livros didáticos, publicações e manuais importantes da área de estudo  |
| 2     | Leitura antes da aula    | Os alunos realizam a leitura do material indicado pelo professor antes da aula. Esta é a maneira para que os alunos tenham o primeiro contato com o tema de forma independente  |
| 3     | Apresentação do conteúdo | O professor realiza uma explanação oral breve do conteúdo da aula. A exposição deve ser focada em elementos conceituais fundamentais para a compreensão do conteúdo   |
| 4     | Teste conceitual         | Uma pergunta de múltipla escolha, geralmente conceitual é colocada aos alunos sobre o conceito (teoria) apresentado na exposição oral   |
| 5     | Concepções individuais   | Os estudantes registram suas respostas individualmente e as mostram ao professor, usando algum sistema de respostas (por ex., clickers ou flashcards)   |
| 6     | Avaliação das respostas  | Os alunos devem informar as respostas ao professor. A partir dos resultados, o professor deve avaliar se é possível seguir o conteúdo ou se os alunos devem interagir com fins a formular novas respostas. O professor pode passar para o passo seguinte (quando a frequência de acertos está entre 35% e 70%), ou diretamente para o Passo 9 (quando a frequência de acertos é superior a 70%) |
| 7     | Discussão entre pares    | Os alunos discutem a questão com seus colegas por um a dois minutos   |
| 8     | Teste conceitual         | O professor aplica novamente o teste conceitual para avaliar se os alunos chegaram a uma melhor compreensão do conteúdo a partir da interação com os colegas  |
| 9     | Avaliação das respostas  | O professor, então, explica a resposta da questão aos alunos e pode ou apresentar uma nova questão sobre o mesmo conceito ou passar ao próximo tópico da aula, voltando ao primeiro passo   |

Fonte: Adaptado de [4] e [9].

do material ou as leituras indicadas antes do período da aula. Nesse sentido, é fundamental incentivá-lo a realizar essa primeira leitura de forma autônoma. É importante ressaltar que esse processo não deve ser imposto por nenhuma das partes envolvidas, tornando-se imprescindível que o professor dialogue com seus alunos sobre os objetivos, metodologias de ensino e a nova proposta de aprendizagem. Os passos essenciais do método *Peer Instruction* estão organizados na Tabela 2.

No contexto da proposta deste trabalho, a pesquisa apresenta um agrupamento de dados sobre a utilização do método PI em ambiente de ensino e aprendizagem de física. Uma revisão bibliográfica importante sobre o tema é realizada no trabalho "Uma revisão da literatura acerca da implementação da metodologia interativa de ensino *Peer Instruction* (1991 a 2015)". Onde os autores apresentam evidências da utilização do método nos diversos níveis de ensino, os impactos causados pela sua utilização e analisam as modificações feitas por professores na estrutura original do método [10].

Outros trabalhos mais recentes analisaram a aplicação da método PI em outros contextos de ensino. Petter *et.al.* [11] enfatizam que a melhoria da qualidade da educação escolar demanda investimentos na formação didático-pedagógica dos docentes. Essa

Tabela 3 – Pesquisas *Stricto Sensu* sobre principais metodologias ativas (2009 - 2019).

| Elementos metodológicos                | Número de trabalhos |
|--|---------------------|
| Atividades lúdicas: jogos e brinquedos | 4                   |
| Peer Instruction                       | 7                   |
| Uso de TDICs                           | 8                   |
| Aprendizagem por projetos              | 3                   |
| Aprendizagem por problemas             | 4                   |

Fonte: Elaborado pelo Autor, adaptado de [6].

não deve ficar restrita à formação inicial, mas também incluir à continuada, os auxiliando a refletirem sobre suas práticas, construírem e adaptarem soluções inovadoras. Já a pesquisa de Araújo e Silva [12] faz uma abordagem da utilização do método em um contexto prático simples e sugere a necessidade de uma investigação mais exaustiva das metodologias de aprendizagem ativa e que isso pode levar a estimativas de parâmetros mais adequados aos contextos nacionais, ajudando a delinear objetivos factíveis para o ensino de física, em nível médio, no Brasil.

O método *Peer Instruction* foi selecionado devido a sua ampla utilização no Ensino de Física, como pode ser observado na Tabela 3 que descreve o número de pesquisas *stricto sensu* que estudaram a aplicação da PI no Ensino de Física no Brasil, no período compreendido entre os anos de 2009 e 2019. Cabe salientar que a sequência didática proposta neste trabalho poderá ser adaptada e utilizada com outras metodologias ativas, a depender do interesse e familiaridade do professor.

### III. Resultados e Discussões

A proposta apresentada neste trabalho constitui-se em uma sequência didática a ser implementada usando a metodologia *Peer Instruction* no contexto do ambiente de simulação da plataforma PhET para o ensino de eletrodinâmica no ensino médio. O esquema ilustrado na Figura 3 é a estruturação da sequência didática conforme padrão sugerido no método *Peer Instruction*, adaptado para utilização em conjunto com a plataforma de simulação do PhET. É importante destacar que metodologia utilizada sugere que o professor avalie se deve ou não seguir no processo ou retornar às etapas anteriores, a depender dos resultados obtidos nos testes realizados.

Na Tabela 4, está proposta uma estrutura de distribuição das atividades nos encontros. Além disso, em relação ao planejamento das aulas detalhamos a seguinte sequência de passos:

- O professor apresenta uma questão desafiadora de múltipla escolha sobre um aspecto de uma simulação PhET;
- Os alunos pensam sobre a questão por conta própria por alguns minutos e se

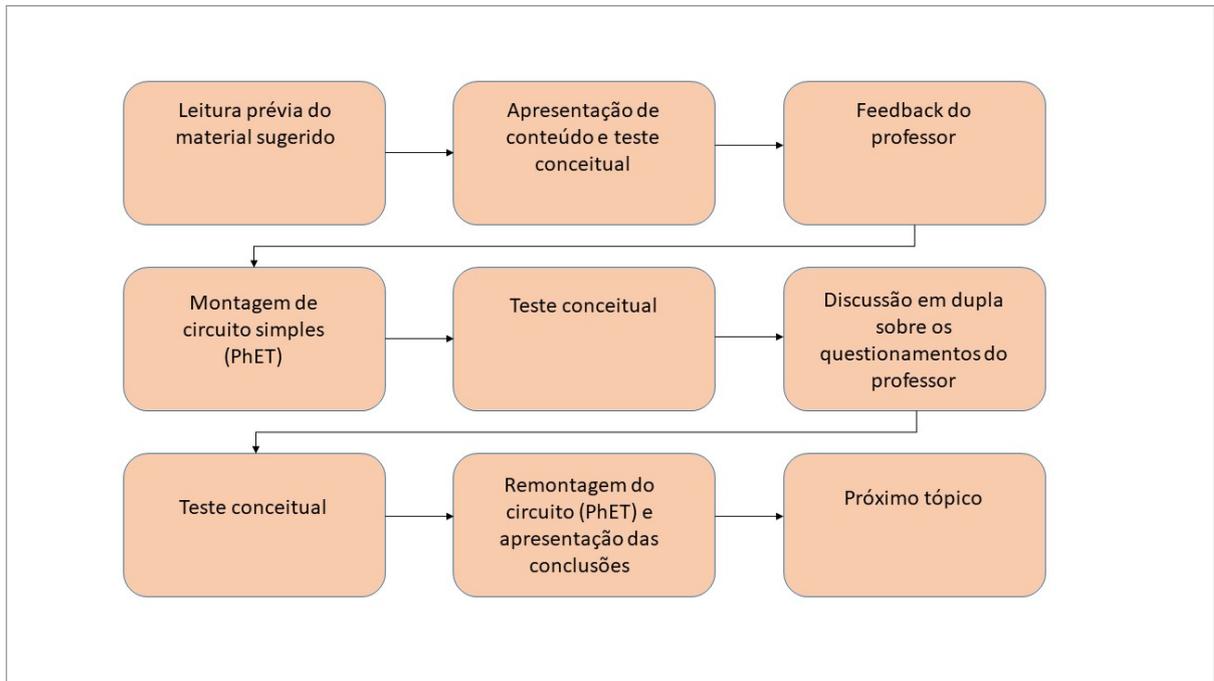


Figura 3 – Representação da sequência didática. Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de [9].

Tabela 4 – Planejamento da distribuição dos conteúdos nos encontros.

| Momento | Conteúdo                           | Atividade Proposta   |
|---------|------------------------------------|--|
| 1       | Avaliação do conhecimento prévio   | Teste conceitual   |
| 2       | Introdução à eletrodinâmica        | Definições de corrente e resistência elétrica, d.d.p., etc         |
| 3       | Proposta de diálogo com o PI       | Contextualizar os fenômenos estudados com o cotidiano do estudante |
| 4       | Revisão e discussão entre os pares | Revisão dos conteúdos ligados ao tema                              |
| 5       | Simulação                          | Experimentos virtuais da 1a Lei de Ohm                             |
| 6       | Aspectos conceituais               | Discussões a aplicações  |

Fonte: Elaborado pelo Autor, adaptado de [4].

comprometem a dar uma resposta individualmente;

- Os alunos votam ao mesmo tempo. O professor recolhe as respostas e dá à turma um resumo dos resultados da votação;
- Os alunos discutem com os colegas e justificam as suas ideias, para que tentem compreender o raciocínio uns dos outros e chegar a um consenso, podendo usar ou não o simulador para formular as suas respostas;
- Os alunos votam individualmente novamente;
- O simulador PhET é usado para ilustrar a resposta, e o professor realiza uma discussão com toda a classe sobre a pergunta e sua resposta correta.

Para efetuar a coleta das respostas dos alunos o professor pode adotar o método de votação à sua escolha para indicação da resposta correta. Para facilitar a coleta de respostas pelo professor, os alunos podem utilizar cartões de votação como os exemplificados na Figura 4. Alternativamente, podem ser utilizados dispositivos eletrônicos de votação,

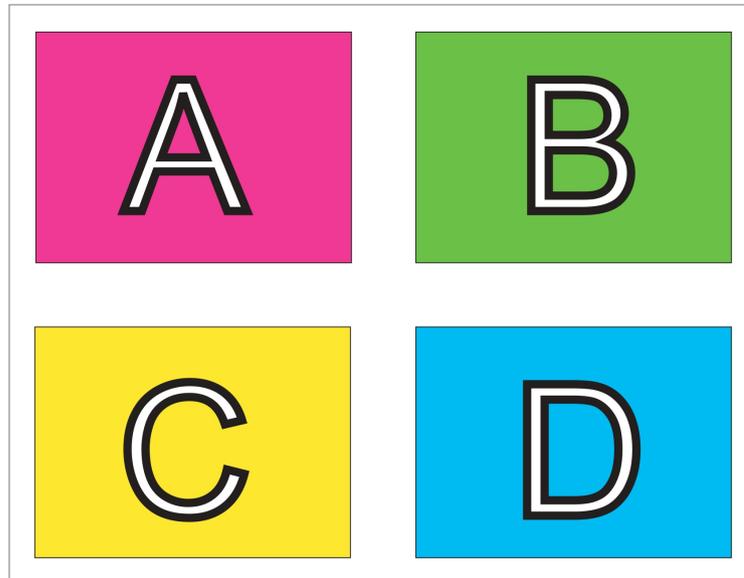


Figura 4 – Exemplo de cartão de resposta. Fonte: Elaborado pelo autor.

como o Clicker. Com esse sistema o professor pode coletar todas as respostas dos alunos e exibir de forma anônima de modo a facilitar e provocar diferentes discussões.

### **Atividades propostas**

A atividades propostas têm como objetivo a análise e solução de seis questões básicas sobre circuitos elétricos (seleção do conteúdo):

- Determinação da corrente de curto-circuito através da resistência interna de um gerador (bateria);
- Obtenção da curva característica de um gerador (bateria);
- Determinação da resistência de uma lâmpada;
- Associação de geradores;
- Comportamento das correntes e tensões em circuitos em série de corrente contínua;
- Comportamento das correntes e tensões em circuitos em paralelo de corrente contínua.

Uma vez definido o conteúdo, cada um dos tópicos seguirá a sequência de abordagem discutida nas Tabelas 2 e 4.

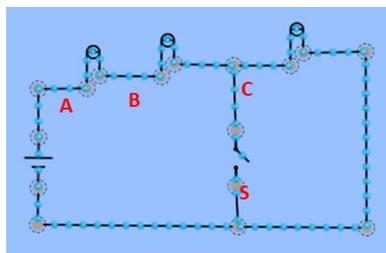
Para dar início à discussão, o professor realiza uma breve explanação sobre o conteúdo a ser trabalhado e, em seguida, lança as questões conceituais que apresentam-se nas Figuras 5 e 6 sobre geradores e sobre associação de elementos em série e em paralelo.

(PUC Minas). Quando duas baterias iguais são ligadas em paralelo, é correto afirmar:

- (a) A resistência interna equivalente fica reduzida à metade;
- (b) A resistência interna equivalente fica dobrada;
- (c) A força eletromotriz fornecida ao circuito dobra de valor;
- (d) A força eletromotriz fornecida ao circuito fica reduzida à metade;
- (e) A força eletromotriz fornecida ao circuito e a resistência interna equivalente não ficam modificadas.

Figura 5 – *Questão conceitual sobre Geradores. Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de PUC Minas.*

Um circuito em série consiste em três lâmpadas de filamento idênticas conectadas a uma bateria, como mostrado na Figura abaixo. Quando a chave S é fechada, os valores das seguintes grandezas aumentam, diminuem ou permanecem os mesmos?



- (a) As intensidades das lâmpadas A e B;
- (b) A intensidade da lâmpada B;
- (c) A corrente fornecida pela bateria;
- (d) A queda de tensão sobre cada lâmpada;
- (e) A potência dissipada no circuito.

Figura 6 – *Questão conceitual sobre associação de elementos em circuitos série e paralelo. Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de [8].*

Após realizar o feedback sobre o teste conceitual, o professor autoriza e guia a montagem dos circuitos simples conforme a sequência proposta.

### **Determinação da corrente de curto-circuito através da resistência interna de um gerador (bateria)**

O simulador PhET disponibiliza na sua biblioteca uma bateria cuja tensão e resistência interna podem ser facilmente ajustadas, conforme ilustrado na Figura 7. A tensão elétrica pode variar de 0 à 10 Volts e a resistência elétrica, de 0 à 10 Ohms. Entretanto, a bateria padrão disponibilizada é uma bateria ideal, ou seja, ela está ajustada para uma resistência interna nula.

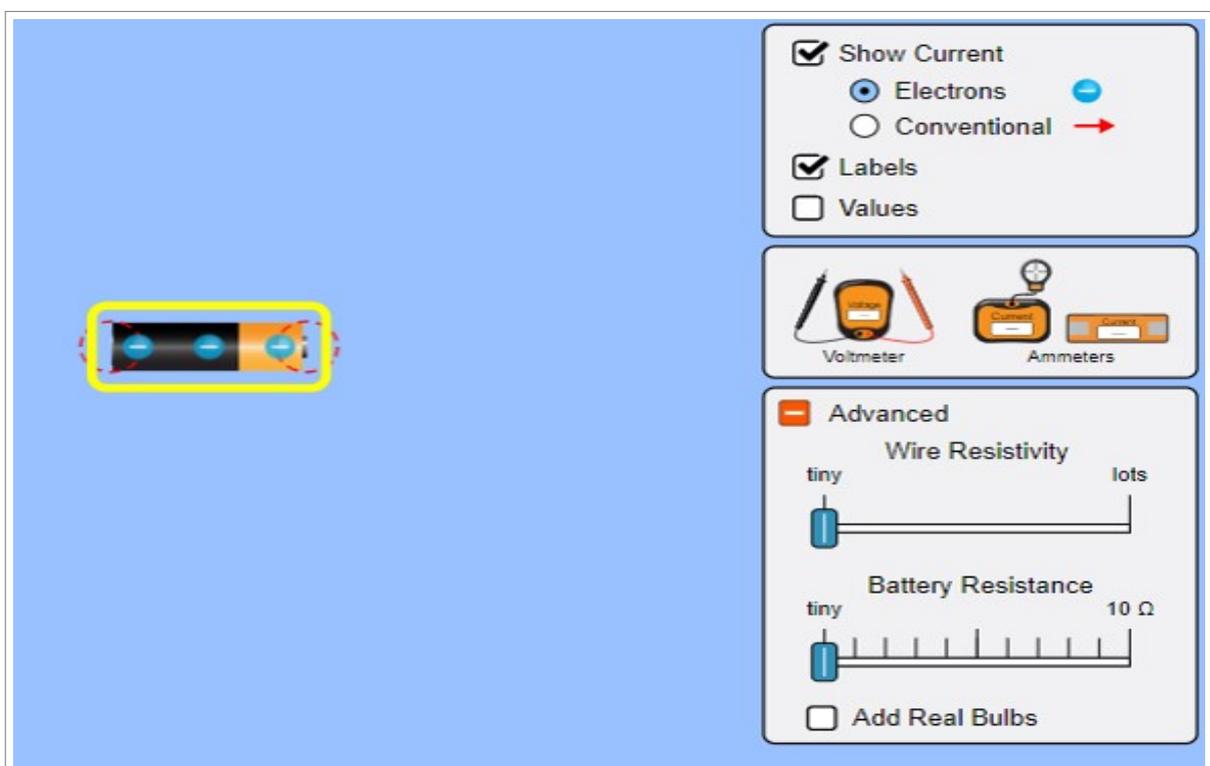


Figura 7 – Bateria disponível no ambiente PhET. Fonte: Elaborado pelo autor.

O gerador é colocado em curto circuito quando os seus polos são diretamente ligados por um fio condutor de baixa resistência. Quando isso ocorre, a diferença de potencial entre os polos do gerador é nula e, assim, é possível obter uma corrente denominada corrente de curto-circuito, que é a maior corrente possível a passar pelo gerador. Existem, basicamente, duas formas de determinação da corrente de curto-circuito de um gerador. A forma mais simples é utilizando a expressão:

$$U = \varepsilon - r * i, \quad (1)$$

onde  $U$  é a Diferença de potencial,  $\varepsilon$  é força eletromotriz,  $r$  é a resistência interna do gerador e  $i$  é a corrente elétrica. Com  $U = 0$ , obtemos:

$$i_{cc} = \varepsilon/r. \quad (2)$$

Uma outra forma de obtenção da corrente de curto-circuito de um gerador é ligando o gerador (bateria) em curto-circuito com um amperímetro e observar o valor da corrente registrada pelo instrumento, conforme apresentado na Figura 8. Na ilustração, foi inserido um resistor em série com a bateria ajustado em 1,5 Ohms simulando a resistência interna do gerador.

Note que o valor da corrente elétrica indicada no amperímetro é de 6,00 A, numericamente igual ao valor obtido através da equação 2:

$$i_{cc} = \frac{9}{1,5} \rightarrow i_{cc} = 6A. \quad (3)$$

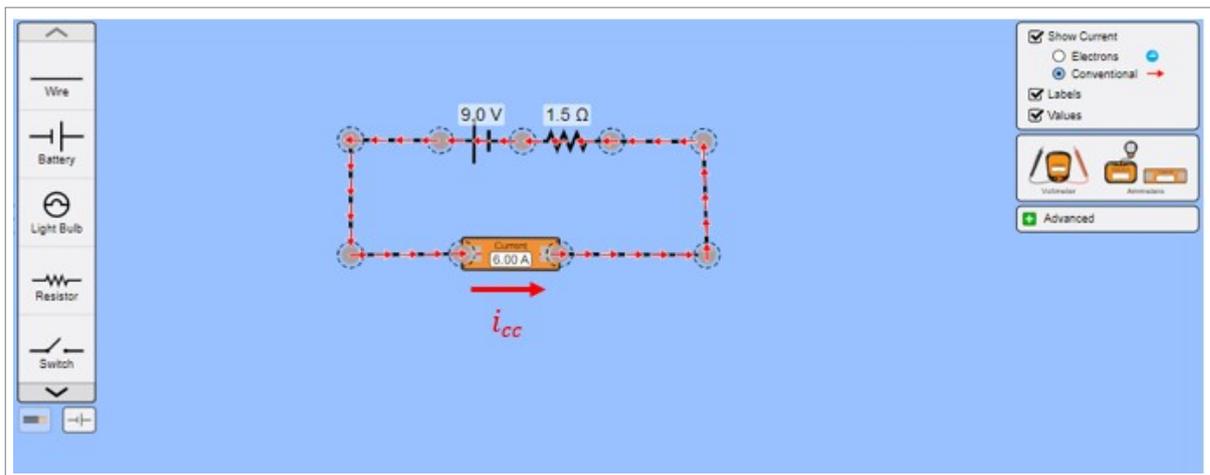


Figura 8 – Circuito simples para obtenção da corrente de curto-circuito. Fonte: Elaborado pelo autor.

### Obtenção da curva característica de um gerador (bateria)

A curva característica de um gerador é um gráfico da diferença de potencial entre os seus terminais (U) em função da corrente elétrica que passa por ele. A equação 1 tem a característica de uma função do primeiro grau e, portanto, seu gráfico será um segmento de reta, sendo necessário apenas dois pontos para obtenção do seu gráfico.

Para construção do gráfico, sugere-se que os dados obtidos no tópico de obtenção da corrente de circuito sejam utilizados. Para isso, os valores calculados da corrente de curto-circuito e da tensão do gerador serão utilizados conforme Tabela 5.

A curva característica para o modelo simulado é apresentada na figura 9, obtida da substituição dos dados medidos no ambiente de simulação em uma tabela de Excel e convertida em um gráfico de uma função linear.

Tabela 5 – Dados para obtenção da curva característica do gerador.

| U (V)         | Corrente de curto-circuito (A) |
|---------------|--------------------------------|
| 0             | $\varepsilon/r$                |
| $\varepsilon$ | 0                              |

Fonte: Elaborada pelo Autor.

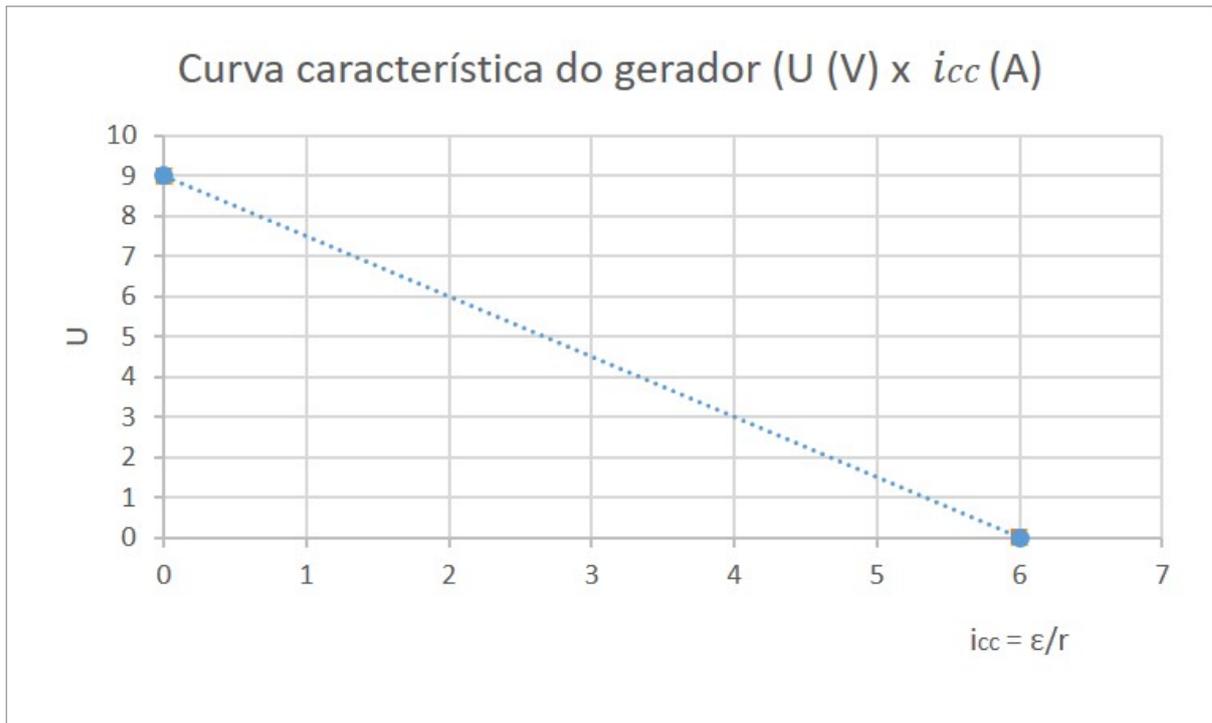


Figura 9 – Curva característica do gerador. Fonte: Elaborado pelo autor.

### Determinação da resistência de uma lâmpada

Para determinar a resistência elétrica de uma lâmpada ligada a um circuito série, de forma indireta, propõe-se a inclusão de uma resistência ao circuito simples (opcional), conforme esquematizado na Figura 10, para que o estudante possa calcular o valor da resistência da lâmpada e, para tanto, será necessário utilizar o amperímetro e um resistor de resistência conhecida.

Uma outra maneira que os alunos podem utilizar para o cálculo da resistência da lâmpada seria medir a diferença de potencial em seus terminais utilizando o voltímetro. Nesse caso, voltímetro deve ser ligado em paralelo com os terminais da lâmpada. Com isto, os alunos devem também determinar a corrente elétrica total do circuito. Como existem diversas possibilidades de configurações de circuitos que possibilitam o cálculo da resistência, cabe a cada aluno ou grupo buscar a que melhor lhes atende.

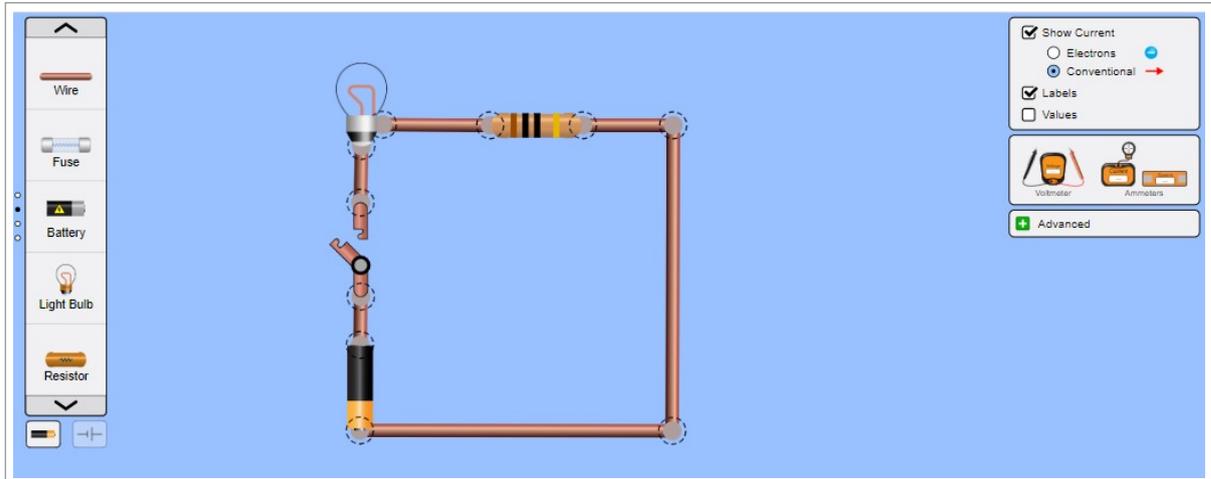


Figura 10 – Circuito utilizado para determinação da resistência da lâmpada. Fonte: Elaborado pelo autor.

### Associação de geradores

A associação de geradores pode ser realizada de três formas distintas: em série, em paralelo e por associação mista (série e paralelo).

Na associação de geradores em série, o polo positivo de um gerador deve ser conectado ao polo negativo de outro, como normalmente se observa na configuração de pilhas de um controle remoto ou outro eletrônico portátil. A Figura 11 apresenta três geradores associados em série.

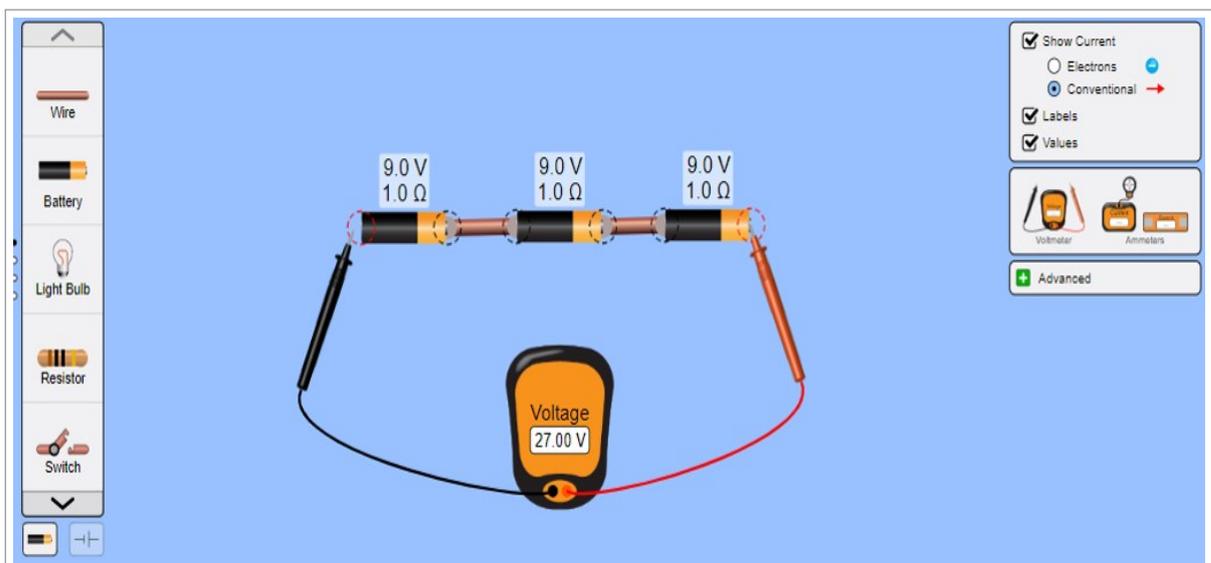


Figura 11 – Associação de geradores em série. Fonte: Elaborado pelo autor.

Na configuração de associação em série de geradores, a equação que representa a tensão equivalente ou tensão total é apresentada a seguir:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots U_n \quad (4)$$

Já a corrente em cada gerador é a mesma, ou seja:

$$i = i_1 = i_2 = i_3 = \dots i_n \quad (5)$$

de modo que cada gerador pode apresentar valores próprios de força eletromotriz e de resistência interna e, portanto, é possível calcular a tensão de cada componente do circuito utilizando a equação de tensão no gerador. A expressão para o cálculo da tensão em cada gerador da associação será:

$$U_1 = \varepsilon_1 - r_1 * i \quad (6)$$

De forma análoga, o mesmo cálculo pode ser feito para as demais tensões do conjunto de geradores associados:

$$U_2, U_3, \dots U_n. \quad (7)$$

A força eletromotriz equivalente apresenta o mesmo comportamento da tensão equivalente e será dada por:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \dots \varepsilon_n \quad (8)$$

A resistência interna equivalente é igual a soma das resistências internas de cada gerador, ou seja:

$$r_{eq} = r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n \quad (9)$$

Como na associação de geradores em série, a corrente que atravessa os elementos é a mesma, podemos escrever uma expressão para a tensão elétrica na forma:

$$U_{eq} = \varepsilon_{eq} - r_{eq} * i \quad (10)$$

Na associação de geradores em paralelo, como esquematizado na Figura 12, o objetivo é aumentar a corrente elétrica para o circuito, sem alterar a tensão. Por este motivo, é de extrema importância salientar que todos os geradores associados devem possuir a mesma força eletromotriz. A vantagem dessa configuração é que a resistência equivalente da associação será menor.

Como os geradores estão associados em paralelo, a corrente total equivale à soma de cada uma das correntes produzidas por cada gerador, ou seja:

$$i_{eq} = i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_n \quad (11)$$

Considerando que os geradores são iguais, a resistência equivalente da associação será:

$$r_{eq} = r/n \quad (12)$$

A força eletromotriz deve ser igual em todos os geradores da configuração de associação em paralelo. O valor da força eletromotriz total equivale ao valor de um gerador. Desta

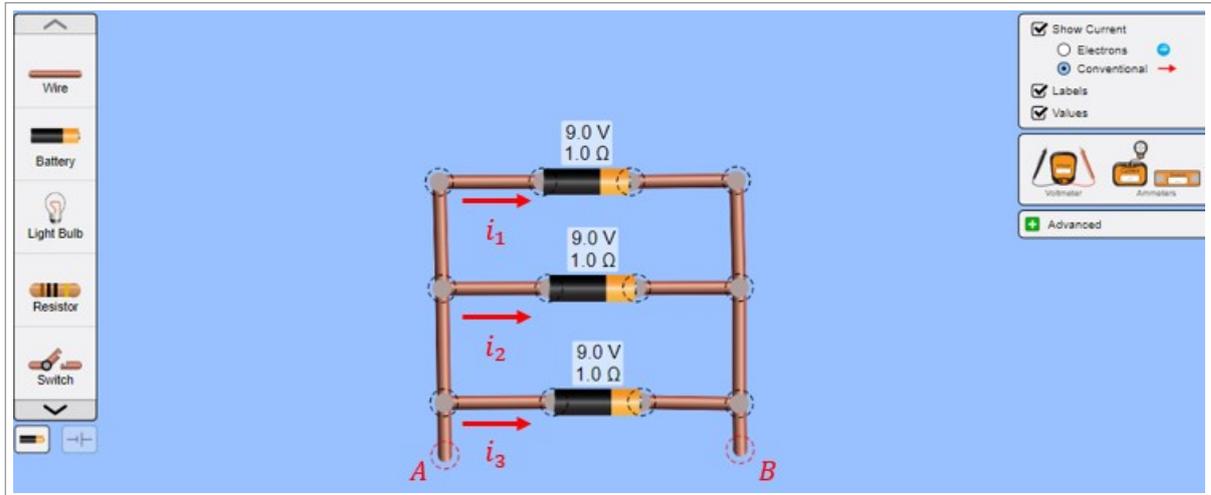


Figura 12 – Associação de geradores em paralelo. Fonte: Elaborado pelo autor.

forma, a equação que representa a tensão fornecida por um gerador é representada a seguir:

$$U = \varepsilon_{eq} - r_{eq} * i \quad (13)$$

Substituindo os valores da força eletromotriz equivalente e resistência equivalente, teremos:

$$U = \varepsilon - (r/n) * i_{eq} \quad (14)$$

O principal objetivo dessa etapa é desenvolver no aluno a capacidade de compreensão das vantagens e desvantagens de cada tipo de associação de geradores. Nessa perspectiva, propõe-se o preenchimento de uma tabela com os valores calculados e/ou medidos para cada tipo de associação, de modo que seja possível verificar o comportamento da força eletromotriz e da resistência interna em função do número de geradores e do tipo de associação. Com os valores obtidos da tabela, também é possível construir gráficos para entender melhor o comportamento dessas grandezas em função da quantidade e configuração dos geradores associados. A aplicação da construção dos gráficos fica como opção do professor.

#### IV. Considerações Finais

A utilização de metodologias ativas de ensino representa um grande avanço na realidade escolar. Nas aulas de física, o ambiente de cooperação proporcionado por essas metodologias proporciona o diálogo e o fortalecimento da autonomia do estudante. A proposta de utilização do *Peer Instruction* como metodologia ativa de ensino de eletrodinâmica mostra-se como um excelente caminho e que pode apresentar resultados importantes, uma vez que se apresenta como uma alternativa de tornar a aula

---

de física mais atrativa ao aluno e de estimular o protagonismo estudantil no processo de ensino-aprendizagem.

O simulador PhET mostra-se como uma excelente alternativa ao uso presencial do laboratório de física e costuma ser bem aceito pelos alunos. O ambiente de simulação utilizado também é muito útil como alternativa para escolas que não possuem infraestrutura de um laboratório ou quando há a necessidade de ensino remoto.

O presente estudo propõe uma sequência didática que alia o método *Peer Instruction* com a ferramenta de simulação computacional PhET, visando aumentar o interesse e o desempenho dos alunos no aprendizado de eletrodinâmica. Embora ainda não tenha sido implementada, espera-se que a proposta apresentada possa trazer resultados promissores e implicações práticas relevantes para a área de ensino de física.

A utilização do *Peer Instruction* em conjunto com o ambiente de simulação PhET tende a ajudar os alunos a explorar de maneira mais completa as relações entre causa e efeito dos fenômenos. Desta forma, quando é solicitado nos testes conceituais que os alunos prevejam qual será o resultado de algum experimento, a partir de uma alteração de variável ou parâmetro, o estudante se sente estimulado em formular uma resposta e, em seguida, por meio da simulação, busca evidenciar o seu entendimento sobre os conceitos fundamentais abordados na proposta didática.

Para obter êxito com a proposta, é necessário que os professores estejam dispostos a romper com a forma tradicional de ensino e que os alunos estejam motivados e engajados com a metodologia ativa. Por outro lado, as limitações relacionadas com a disponibilização de computadores e de treinamento para os professores precisam ser consideradas. Desta forma, cabe reavaliar a estrutura atual dos cursos de licenciatura, no que se refere às metodologias de ensino e garantir a formação continuada dos professores nesse sentido.

A perspectiva é implementar essa proposta em escolas da Rede Estadual de Ensino de Pernambuco, publicar os resultados em revistas de divulgação científica e participar de eventos na área de Ensino de Física para divulgação e popularização da ciência.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. A. Trentin, C. T. W. d. Rosa, and M. Silva, *Revista de Ensino de Ciências e Matemática* **9**, 94 (2018).
- [2] V. S. Kornilov and I. A. Khanina, *Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Serii Informatizatsiia obrazovaniia* **17**, 146 (2020).
- [3] K. Commeford, E. Brewe, and A. Traxler, *Physical review. Physics education research* **17**, 020136 (2021).
- [4] J. Lauri, *Contribuições e desafios da metodologia instrução entre pares: um estudo de caso no ensino técnico* ((Artigo Especialização) – Curso de Docência na Educação Profissional, Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 2017).
- [5] S. M. Mitre, R. Siqueira-Batista, J. M. Girardi-de Mendonça, N. M. d. Morais-Pinto, C. d. A. B. Meirelles, C. Pinto-Porto, T. Moreira, and L. M. A. Hoffmann, *Ciência Saúde Coletiva* **13**, 2133–2144 (2008).
- [6] J. E. B. da Rosa and J. B. Kalhil, *Colloquium humanarum* **16**, 121 (2020).
- [7] F. V. Araújo, F. A. S. Nobre, J. A. Andrade Junior, and C. R. d. S. Dantas, *Informática na educação: teoria prática* **18** (2016).
- [8] E. Mazur, *Peer Instruction: a revolução da aprendizagem ativa. Tradução de Anatólio Laschuk* (Penso, 2015).
- [9] M. G. Müller, R. V. Brandão, I. S. Araujo, and E. A. Veit, **29**, 491 (2012).
- [10] M. G. Müller, I. S. Araujo, E. A. Veit, and J. Schell, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **39**, e3403 (2017).
- [11] A. A. Petter, T. Espinosa, and I. S. Araujo, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **43**, e20210070 (2021).
- [12] A. V. R. d. Araujo, E. S. Silva, V. L. B. d. Jesus, and A. L. d. Oliveira, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **39** (2017), 10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0184.