

ATIVIDADES DE ENSINO POR INVESTIGAÇÃO COM SIMULADORES DE CIRCUITOS ELÉTRICOS PARA O ENSINO MÉDIO E TÉCNICO

Ricardo de Abreu Toribio¹, Fernando José Lira Leal²

¹ Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) / Campus Guarapari, rtoribio@ifes.edu.br

² Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) / Campus Cariacica, fernando.leal@ifes.edu.br

RESUMO

O ensino de Eletrodinâmica no Ensino Médio e em cursos técnicos enfrenta barreiras significativas devido à natureza abstrata de seus conceitos. Este relato de experiência detalha a concepção e aplicação de uma sequência didática baseada no Ensino por Investigação (EI), apoiada pelo uso de simuladores de circuitos elétricos de acesso livre, como o Falstad. A metodologia foi estruturada para guiar os estudantes desde a familiarização com a ferramenta de simulação até a análise complexa de circuitos RLC em série e paralelo. As atividades foram projetadas para que os alunos, de forma autônoma, pudessem formular hipóteses, coletar dados, construir modelos gráficos e matemáticos (fasoriais), e validar suas previsões, promovendo uma compreensão conceitual profunda sobre tensão, corrente, impedância e defasagem. Os resultados preliminares apontam para um elevado engajamento discente e para o desenvolvimento de competências alinhadas à BNCC, como o pensamento científico, crítico e a utilização de tecnologias digitais. A proposta se mostra uma alternativa acessível e eficaz para superar as dificuldades tradicionais do ensino de eletricidade, conectando a teoria à prática de maneira segura e interativa.

Palavras-chave: Ensino por Investigação, Circuitos Elétricos, Simulação, Ensino de Física, BNCC.

1. INTRODUÇÃO

O ensino de Eletrodinâmica representa um desafio significativo para estudantes do Ensino Médio e de cursos técnicos, principalmente pela natureza abstrata de seus conceitos fundamentais, como corrente e tensão (MCDERMOTT; SHAFFER, 1992). A dificuldade em visualizar e experimentar com segurança os fenômenos elétricos muitas vezes limita a aprendizagem a uma mera memorização de fórmulas. É neste cenário que se justifica esta proposta de relato de experiência, que detalha a aplicação de uma sequência de atividades de Ensino por Investigação (EI) apoiadas por simuladores de circuitos elétricos de uso livre. A abordagem busca transcender a transmissão passiva de conteúdo, alinhando-se às

diretrizes educacionais contemporâneas e promovendo uma aprendizagem ativa e significativa.

O Ensino por Investigação é uma abordagem pedagógica que engaja o estudante ativamente na construção do conhecimento, promovendo autonomia e pensamento crítico. Em vez de ser uma abordagem puramente "hands-on", o EI foca no "minds-on", onde o aluno é incentivado a pensar como um cientista. Esta metodologia é especialmente poderosa no campo da Eletrodinâmica, permitindo que os estudantes formulem perguntas, elaborem hipóteses, testem variáveis, interpretem resultados e construam modelos mentais sobre as relações entre grandezas.

Este trabalho tem como objetivo relatar a experiência da aplicação desta sequência didática, descrevendo sua estrutura metodológica e discutindo os resultados esperados e as reflexões sobre o seu potencial para a aprendizagem de circuitos elétricos.

2. CAMINHO METODOLÓGICO

Nesta seção, descrevemos o contexto da experiência, a abordagem pedagógica utilizada com os estudantes e a metodologia empregada para a análise dos dados coletados.

2.1. Contexto e Participantes

A experiência foi desenvolvida no âmbito das disciplinas de Circuitos Elétricos e afins para turmas do Ensino Técnico em Eletrotécnica 2025/2 no IFES - Campus Guarapará, durante o segundo semestre letivo de 2025. Participaram da sequência didática 36 alunos, distribuídos em uma turma. Esta disciplina de Circuitos de Corrente Alternada tem como pré-requisito a disciplina de Circuitos de Corrente Contínua onde os alunos já estudaram os conceitos de eletrodinâmica de corrente contínua.

2.2. Abordagem Pedagógica: Ensino por Investigação Mediado por Simulação

A sequência didática foi fundamentada nos princípios do Ensino por Investigação (EI), buscando promover a autonomia, o questionamento e a construção ativa do conhecimento pelos estudantes (CARVALHO, 2013). Como principal recurso didático, utilizou-se o simulador de circuitos online e de livre acesso Falstad, escolhido por sua acessibilidade, interface intuitiva e capacidade de visualização dinâmica dos fenômenos elétricos.

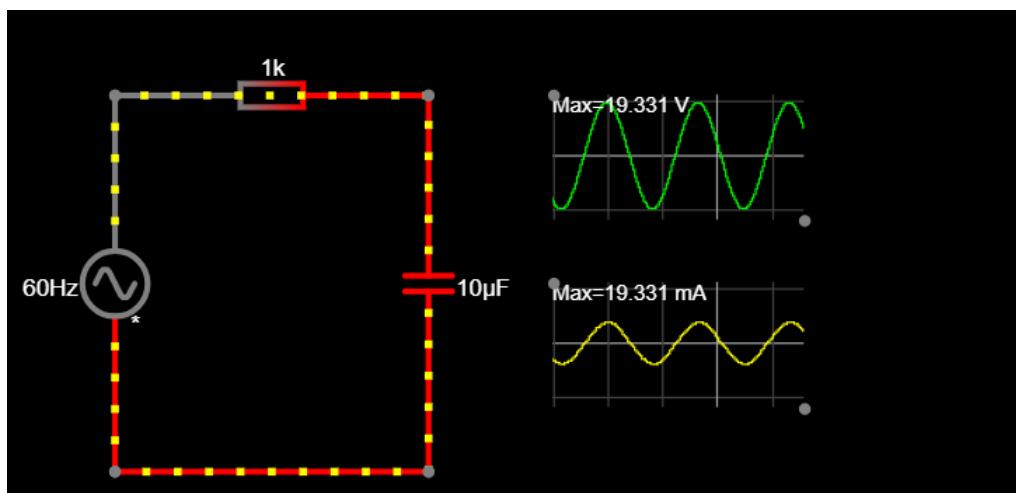


Figura 1 – Interface do simulador Falstad utilizada pelos estudantes durante a investigação da defasagem em circuitos CA. **Fonte:** Elaboração do autor.

A intervenção pedagógica foi estruturada em uma série de roteiros de laboratório, aplicados progressivamente ao longo de 10 semanas. A sequência seguiu as seguintes etapas:

- **Ambientação e Descoberta da Ferramenta:** A primeira atividade consistiu em um roteiro investigativo para que os próprios alunos descobrissem as funcionalidades do simulador Falstad, sem um tutorial passo a passo. O objetivo era promover a autonomia e a curiosidade, fazendo com que aprendessem a construir circuitos, alterar parâmetros e utilizar as ferramentas de medição por meio da exploração.
- **Investigação Qualitativa da Defasagem:** Uma vez familiarizados com o simulador, os alunos investigaram o comportamento de componentes puros (Resistor, Indutor e Capacitor) em um circuito CA. O foco era a observação qualitativa do fenômeno de defasagem entre tensão e corrente, relacionando as formas de onda visualizadas no osciloscópio com a representação fasorial.
- **Desenvolvimento de Habilidades Gráficas:** Foi conduzida uma aula teórica e disponibilizado um material de apoio com o objetivo de ensinar os alunos a construir gráficos de funções senoidais em papel milimetrado. Esta etapa foi crucial para capacitá-los a traduzir equações matemáticas em previsões visuais, uma habilidade essencial para as atividades subsequentes.
- **Validação Gráfica e Análise da Defasagem:** Com a habilidade de desenhar senoides, os alunos realizaram atividades onde primeiro previam e desenhavam em papel milimetrado as formas de onda de tensão e corrente para circuitos R, L, C, RC e RL, e depois comparavam seus desenhos com a simulação. Este ciclo de "prever,

desenhar e validar" reforçou a compreensão visual do significado de defasagem, adiantamento e atraso.

- **Análise Quantitativa e Modelagem da Impedância:** A investigação evoluiu para a quantificação. Os alunos coletaram dados de tensão e corrente em diferentes frequências para propor modelos matemáticos sobre a relação entre frequência e a impedância de indutores e capacitores. Eles foram desafiados a testar suas próprias hipóteses, agindo como cientistas.
- **Síntese com Análise Fasorial (Série e Paralelo):** As atividades culminaram na análise completa de circuitos RLC em série e em paralelo. Os alunos realizaram cálculos fasoriais para prever o comportamento do circuito, desenharam os diagramas fasoriais e as formas de onda, e por fim, validaram todas as suas previsões (amplitudes e fases) com o simulador.

Todos os roteiros foram estruturados com perguntas-chave e desafios que guiavam a investigação, sem fornecer respostas diretas, em alinhamento com os princípios do EI.

2.3. Coleta e Análise dos Dados

Para avaliar o impacto da sequência didática e compreender o processo de aprendizagem dos alunos, adotou-se uma abordagem de pesquisa qualitativa de cunho interpretativo. Os principais instrumentos de coleta de dados foram os relatórios produzidos pelos estudantes ao final de cada atividade experimental e as notas de campo registradas pelo professor-pesquisador em um Diário de Bordo.

Definição do *Corpus*: O *corpus* textual submetido à análise foi composto por todos os relatórios referentes aos Roteiros 02 a 10 entregues pelos 36 alunos participantes, totalizando aproximadamente 280 documentos. Este material foi complementado pelos registros de observação direta das interações em sala de aula.

Ressalta-se que todos os nomes de estudantes citados ao longo deste trabalho são fictícios, tendo sido alterados para preservar a identidade e garantir o anonimato dos participantes, em conformidade com os princípios éticos da pesquisa em ensino.

Metodologia de Análise: Os dados foram tratados segundo a Análise de Conteúdo proposta por Laurence Bardin (2016), estruturada em três fases fundamentais:

1. **Pré-Análise:** Realizou-se a leitura flutuante de todo o material para a constituição do *corpus* e a formulação de hipóteses iniciais sobre a articulação entre as representações matemática, gráfica e a simulação .

2. **Exploração do Material:** Nesta etapa, procedeu-se à codificação e categorização dos dados. A unidade de registro adotada foi o "tema" (ideia central da frase). A categorização seguiu uma abordagem mista, utilizando categorias *a priori* (definidas pelo referencial teórico do Ensino por Investigação) e categorias *emergentes* (identificadas a partir da recorrência de temas nas falas dos alunos) .
3. **Tratamento dos Resultados:** Os dados foram interpretados qualitativamente e quantificados por frequência de ocorrência para identificar padrões de aprendizagem.

As categorias finais de análise consolidadas foram: (1) **Engajamento e Mudança de Postura**; (2) **Construção de Modelos Mentais**; (3) **Conexão entre Representações**; e (4) **Dificuldades Matemáticas e Interpretativas**.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos relatórios produzidos pelos 36 alunos ao longo das 10 semanas de intervenção revelou uma transformação significativa na forma como os estudantes interagem com os conceitos de eletrodinâmica. Os dados foram agrupados em quatro categorias principais que emergem da análise de conteúdo: (1) O Papel da Simulação na Autonomia; (2) A Construção de Modelos Mentais Visuais; (3) A Superação de Conflitos Cognitivos; e (4) A Conexão com a Realidade Industrial.

3.1. O Simulador como "Espaço Seguro" para a Autonomia

A primeira barreira no ensino técnico é frequentemente o medo do erro experimental (queimar componentes ou sofrer choques). A análise dos relatórios iniciais (Aula 02) indicou que o ambiente virtual funcionou como um facilitador da autonomia.

Cerca de 95% dos relatos analisados destacaram a segurança como fator chave para a exploração livre. O aluno Luiz Fernando sintetizou este sentimento: *"As vantagens é que não tem riscos elétricos... No Falstad você consegue simular de diversas formas sem ter medo de errar"*.

Essa segurança psicológica permitiu que os alunos transitassem de uma postura passiva para uma ativa. Tiffany Santos observou que *"descobrir o funcionamento por conta própria favoreceu o raciocínio... embora um tutorial fosse mais rápido, o aprendizado autônomo foi mais profundo"*. Isso corrobora a premissa do Ensino por Investigação de que a construção do conhecimento ocorre quando o aluno assume o controle da ferramenta.

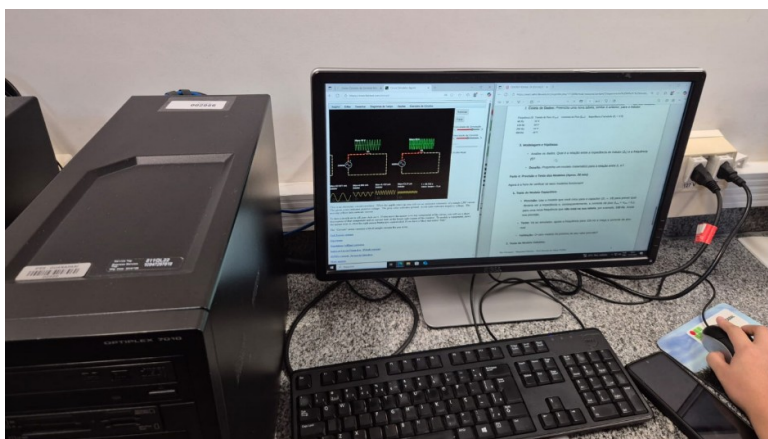




Figura 2. Evolução conceitual registrada nos relatórios... **Fonte:** Dados da pesquisa (2025).

3.2. Da Visualização Temporal à Abstração Fasorial

Um dos maiores desafios em CCA é entender a defasagem (atraso/adiantamento) e sua representação fasorial (espacial). A análise da Aula 03 demonstrou que a visualização dinâmica das ondas foi o "gatilho" cognitivo para essa compreensão.

A totalidade (100%) da amostra analisada identificou corretamente a ordem de chegada das ondas no simulador. Mais importante, os alunos conseguiram traduzir o evento temporal (quem chega primeiro) para a linguagem espacial. Caroline Piazza descreveu: *"No capacitor, a corrente corre na frente... Já no indutor, ele resiste às mudanças e faz a corrente atrasar"*.

Essa visualização serviu de âncora para a introdução dos fasores. O aluno Ricardo notou que *"em vez de analisar continuamente o deslocamento... o diagrama fasorial indica claramente qual está à frente"*. Assim, o fasor deixou de ser uma abstração matemática arbitrária para se tornar uma "foto aérea" necessária de um evento físico observado, corroborando estudos sobre a eficácia da simulação na visualização de conceitos abstratos (FINKELSTEIN et al., 2005).

3.3. O Conflito Cognitivo e a Superação da Intuição Escalar

O momento mais crítico da aprendizagem ocorreu no Bloco 2 (Circuitos Série), quando os alunos confrontaram a soma das tensões. Ao somarem aritmeticamente as tensões de pico ($V_R + V_L$), perceberam que o resultado excedia a tensão da fonte, gerando um conflito cognitivo.

Relatos como o de Marcelo Pereira — *"Deu mais de 20, deu 25.8... Aparente violação das leis de Kirchhoff"* — evidenciam a crise no modelo mental "escalar" que os alunos traziam da corrente contínua.

(A) O Conflito (Ataque à Intuição Escalar)

(B) A Resolução (Nova Estrutura Mental)

Aluno Marcelo Pereira: "Deu mais de 20, deu mais '25.8'... Aparente violação da segunda lei de Kirchoff ou elas não estão em fase."

Aluno Kássio de Lima: "Se somar só as magnitudes você ignora a direção e erra o resultado. Precisa somar vetorialmente."

Figura 3 – Extratos de relatórios evidenciando a superação do obstáculo epistemológico: (A) constatação da falha aritmética; (B) formalização do conceito vetorial. **Fonte:** Dados da pesquisa.

A intervenção didática, somada à evidência do simulador, guiou 100% dos alunos da amostra a adotarem a soma vetorial como solução. Kássio de Lima concluiu: *"Se somar só as magnitudes você ignora a direção e erra o resultado. Precisa somar vetorialmente"*.

No entanto, a análise da Aula 04 revelou os limites do método IBL puro. Enquanto 100% dos alunos compreenderam a *tendência* da impedância (inversa ou direta com a frequência), apenas cerca de 30% conseguiram deduzir autonomamente a fórmula matemática exata ($2\pi fL$) a partir dos dados. Isso sugere que, embora a simulação garanta a compreensão conceitual, a formalização matemática rigorosa ainda requer mediação docente explícita.

3.4. Conexão com a Realidade Industrial e Eficiência

Nos blocos finais (Potência e Trifásico), a simulação permitiu que os alunos visualisassem conceitos econômicos invisíveis. A análise das formas de onda de potência ($p(t)$) desmistificou a Potência Reativa, que passou a ser descrita não como "perda", mas como "energia devolvida" ou oscilante.

No experimento de correção de Fator de Potência, a redução da corrente da fonte (observada na ordem de 40%) gerou grande impacto. A aluna Aline dos Santos produziu uma analogia sofisticada: *"Colocar o capacitor não muda a potência ativa, apenas elimina o 'peso extra' que o indutor causa na fonte"*.

Finalmente, no estudo de sistemas trifásicos, a relação $\sqrt{3}$ deixou de ser um número "mágico" para se tornar uma dedução geométrica. A constatação prática de que a conexão em Triângulo triplica a potência em relação à Estrela foi validada com precisão (razão medida de 3,00) por alunos como Kássio e Tiffany, consolidando a ponte entre a teoria de sala de aula e a aplicação industrial de partida de motores.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A experiência com a aplicação desta sequência didática reforça o potencial da integração entre o Ensino por Investigação e as ferramentas de simulação digital. A abordagem se mostrou uma estratégia eficaz e alinhada às demandas educacionais do século XXI, superando barreiras de custo e segurança comuns em laboratórios tradicionais.

A metodologia não apenas enriquece a compreensão dos conceitos da Eletrodinâmica, mas também cultiva habilidades essenciais como a resolução de problemas, a argumentação baseada em evidências e a autonomia intelectual. Ao transformar o aprendizado em um processo de descoberta, esta proposta representa um caminho promissor para consolidar

uma educação científica mais investigativa e significativa, tanto para o Ensino Médio quanto para a formação de técnicos qualificados.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) - Campus Guarapari pelo apoio institucional e pela infraestrutura que viabilizaram a realização desta experiência pedagógica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

*BARDIN, Laurence. **Análise de Conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2016.*

*BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018.*

*CARVALHO, Anna Maria Pessoa de (Org.). **Ensino de Ciências por Investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2013.*

*FINKELSTEIN, N. D. et al. When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment. **Physical Review Special Topics-Physics Education Research**, v. 1, n. 1, p. 010103, 2005.*

*MCDERMOTT, L. C.; SHAFFER, P. S. Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part I: Investigation of student understanding. **American Journal of Physics**, v. 60, n. 11, p. 994-1013, 1992.*

*MENDES, R. M.; MISKULIN, R. G. S. A análise de conteúdo como uma metodologia. **Cadernos de Pesquisa**, São Paulo, v. 47, n. 165, p. 1044-1066, jul./set. 2017.*

*SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. de. Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 59-77, 2011.*