



.....  
Juliane Souza de Oliveira<sup>1</sup>, Felipe Damasio<sup>2</sup> , Danielle Amanda Raimundo da Silva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Escola de Educação Básica Pedro Simon, Ermo, SC, Brasil.

<sup>2</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Araranguá, SC, Brasil.

.....

#### Palavras-chave

ensino de física  
história da ciência  
experimento didático  
Unidades de Ensino Potencialmente Significativas

#### Resumo

Partindo do pressuposto de que o ensino básico tradicional tem se mostrado pouco eficaz na perspectiva de apropriação dos conteúdos estudados somente nos livros didáticos, esse artigo sugere a utilização de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) em qualquer nível de ensino. As UEPS foram propostas por Moreira como sequências didáticas fundamentadas, principalmente, na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. Segundo Moreira, as UEPS podem ser organizadas seguindo aspectos sequenciais. Com base nesses aspectos é que se desenvolveu a UEPS “A física envolvida no experimento da bobina de Tesla em sala de aula”, que é formada por apresentações de slides, atividades experimentais, vídeo e roteiro experimental que perpassam as discussões. Assim, neste trabalho, buscou-se também pesquisar e desenvolver experimentos didáticos que discutam história e filosofia da ciência e elaborar material instrucional para ser utilizado por professores de todos os níveis de ensino.

1: [julianesouzaoliveira@gmail.com](mailto:julianesouzaoliveira@gmail.com)  
2: [felipedamasio@ifsc.edu.br](mailto:felipedamasio@ifsc.edu.br)  
3: [danielle.amanda@ifsc.edu.br](mailto:danielle.amanda@ifsc.edu.br)

Este é um artigo de acesso livre sob licença Creative Commons



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

#### 1. Introdução

**A** Física na Escola (FnE) tem prestado um importante papel aos professores de física publicando diversas propostas didáticas sobre os mais diferentes temas. Há grande variedade de propostas para serem implementadas em sala de aula: podem ser encontrados o uso de softwares como Stellarium e Google Earth [1], mapas conceituais colaborativos on-line [2], uso de brinquedos como o Giro Mágico [3], atividades interdisciplinares em física e biolo-

gia usando o olho humano como tema [4]. Este trabalho foi planejado e desenvolvido a fim de contribuir para a FnE, uma vez que propõe material didático para uso em sala de aula que aborda a reconstrução de experimentos que trazem, também, uma discussão histórica dentro da proposta didática. Assim, o material didático sugerido e disponibilizado pode ser usado diretamente em sala de aula ou o professor pode fazer os ajustes que achar necessário dentro de sua realidade.

**O material didático sugerido e disponibilizado pode ser usado diretamente em sala de aula**

Pesquisas atuais vêm mostrando que a história da ciência, aliada à experimentação, tem sido importante para o processo de ensino-aprendizagem em ciências [5, 6]. Contudo, as literaturas da área também já apontaram os entraves e as dificuldades encontradas por professores da educação básica em implementar tais práticas em suas aulas [5-9].

Acredita-se, portanto, que, quando usado em conjunto com outros recursos didático-metodológicos, os aspectos históricos relevantes na construção dos saberes científicos podem ser um caminho importante a ser percorrido e explorado nos ambientes educacionais. Ao usar a experimentação didática e a história da ciência, há a possibilidade de se fornecer elementos relevantes para que os discentes compreendam o processo de produção de conhecimentos de forma histórica e culturalmente situada [10, 11].

Desse modo, é imprescindível que os professores usem recursos didáticos e ferramentas adequadas que possibilitem aos alunos formar os próprios conhecimentos e apropriarem-se dos novos significados dados pelo objeto de estudo. Para tanto, convém adaptar e criar situações didáticas de maneira que o estudante tenha elementos suficientes para assumir uma postura de protagonista na construção do seu próprio conhecimento, não sendo apenas um mero “expectador passivo” [12].

A história da ciência e a experimentação têm sido consideradas abordagens que contribuem para promover tanto a motivação quanto a aprendizagem em ciências [13]. É possível destacar que a união de atividade experimental, contexto histórico e laboratório problematizador ampliam a capacidade de competências argumentativas, assim como aproximam o aluno da compreensão de fenômenos e da prática científica.

Levando em consideração que os fenômenos eletromagnéticos são possíveis por causa da natureza atômica da matéria, a compreensão de conceitos relacionados ao eletromagnetismo pode se tornar abstrata a estudantes de todos os níveis de ensino. Diante desse panorama, uma **questão** de relevância com que este trabalho pode contribuir é: como ensinar conceitos de eletromagnetismo por meio da bobina de Tesla de maneira problematizada?

A utilização da história e da filosofia da ciência é uma das propostas deste estudo ao usar experimentos didáticos no campo da física que possam contribuir para o desenvolvimento de competências argumentativas e a compreensão de conceitos físicos. Dessa forma, propõe-se uma abordagem concomitante e articulada de experimentação didática e história da física em todos os níveis da escolarização através do estudo e da construção de uma mini bobina de Tesla.

Diante desse cenário, como **hipótese**, a investigação levou em consideração que a construção de um experimento didático da bobina de Tesla, assim como a sua utilização, pode auxiliar os estudantes na compreensão de conceitos físicos relacionados ao seu funcionamento.

## 2. Marco teórico

Este artigo segue as recomendações de Moreira [14], a partir das quais se busca evitar debilidades ou deficiências nas pesquisas em educação de ciências. Segundo o autor, existem trabalhos com referencial teórico inconsistente ou mesmo inexistentes. Procurando evitar que tais debilidades ocorram nesta pesquisa, iremos nos fundamentar em referenciais metodológicos, epistemológicos e educacionais que a literatura mostra como coerentes e complementares.

Segundo Damasio e Peduzzi [15], a Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica (TASC) e a epistemologia de Paul Feyerabend são coerentes e complementares, sendo essa a justificativa para a escolha dos marcos teóricos desta pesquisa. De acordo com os pesquisadores, fundamentando-se na TASC e na epistemologia de Feyerabend, podemos criar um ambiente de ensino subversivo, que terá capacidade de desenvolver pessoas criativas, tolerantes, inquisitivas, flexíveis e inovadoras.

Para a elaboração deste trabalho, o referencial metodológico adotado se fundamenta nas Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS). Moreira [16] propôs as UEPS como sequências didáticas, sendo estas baseadas teoricamente, e em grande parte, na

Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (TAS). Dessa forma, como a TASC tem suas bases teóricas também na TAS, parece que elas são coerentes e complementares com a epistemologia de Paul Feyerabend.

Segundo Moreira [12], para que ocorra a aprendizagem significativa, há duas condições necessárias: que o aluno tenha predisposição para aprender e que o material usado seja potencialmente significativo. Há, ainda,

alguns princípios programáticos, sugeridos por Ausubel, para criar um ambiente favorável em que a aprendizagem significativa possa ocorrer: a diferenciação progressiva, a reconciliação integradora, a organização sequencial e a consolidação. A diferenciação progressiva sugere iniciar primeiro com os conceitos mais gerais e só depois os mais específicos, sempre subindo e descendo na estrutura hierárquica, ou seja, fazendo a reconciliação integradora. A organização sequencial sugere dispor de ideias âncoras que são retomadas ao longo da instrução, e a consolidação que os novos conceitos sejam apresentados após os anteriores terem sido construídos.

**Ao usar a experimentação didática e a história da ciência, há a possibilidade de se fornecer elementos relevantes para que os discentes compreendam o processo de produção de conhecimentos de forma histórica e culturalmente situada**

Na proposta deste artigo, o documentário apresentado está integrado na UEPS dentro dos princípios da TAS buscando, principalmente, contemplar sua organização sequencial. O princípio recomenda que sejam disponibilizadas ideias-âncoras e que suas dependências sequenciais sejam exploradas. Um documentário também está integrado à UEPS, seguindo uma das principais sugestões de Ausubel, o organizador prévio, tentando manipular a estrutura cognitiva do estudante. Esse modo de ensinar pode ser organizado por materiais introdutórios usados anteriormente ao material instrucional em si, admitindo-se alto grau de abstração e generalização. Ao usarmos esse recurso, podem-se estabelecer ligações entre o conhecimento prévio do estudante e o que será apresentado durante o as aulas. Desse modo, os organizadores prévios podem servir de pontes cognitivas na aprendizagem dos sujeitos [17].

Para Damasio e Peduzzi [15], não é suficiente somente o uso da Teoria da Aprendizagem Significativa proposta por Ausubel, visto que, na atualidade, estamos imersos em mudanças rápidas e drásticas. Segundo os autores, é necessário que a aprendizagem também seja subversiva, ou seja, é imprescindível que ela permita ao sujeito fazer parte de sua cultura estando ao mesmo tempo, porém, fora dela, e que o educando possa discutir construtivamente com a mudança sem que isso o domine. Assim, a aprendizagem significativa pode se tornar também crítica-subversiva, portanto é sobre este modo de subversão a que a TASC está se referindo. De acordo com os autores, é importante adotar uma teoria de aprendizagem atualizada, de fato, “a Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica é relativamente recente. Ela foi proposta durante a primeira década dos anos 2000 por Marco Antonio Moreira” [15, p. 19]. Ao construir a TASC, Moreira [12], de maneira parecida como fez Ausubel, também recomenda alguns princípios facilitadores: perguntas em vez de respostas, diversidade de materiais, aprendizagem pelo erro, aluno como preceptor/representador, consciência semântica, incerteza do conhecimento, desaprendizagem, conhecimento como linguagem e diversidade de estratégias.

Segundo Damasio e Peduzzi [17], o ensino norteado pela epistemologia de Paul Feyerabend tem como objetivos o futuro e suas transformações. Ao se pautar neste tipo de ensino, a ciência não é vista como absoluta e imutável, não sendo imposta ao sujeito sem os devidos questionamentos pertinentes. Adotando tal viés, o professor deixa de ser a figura detentora de todo o saber e o ensino pode se tornar voltado para o educando. Assim, há uma flexibilização dos conceitos e a história da ciência é mostrada mais plural e multifacetada. Ainda, para os autores, a epistemologia de Feyerabend se mostra complementar e coerente com a TASC de

Moreira, pois, por meio deste ponto de vista relativista, há a chance de implementar os princípios da TASC usando-se a abordagem explícita de história e filosofia da ciência.

Portanto, a abordagem descrita a seguir almeja discutir a ciência como uma construção multifacetada, plural, temporária e construída coletivamente por sujeitos de diversas origens sociais, étnicas, culturais e econômicas. O material instrucional foi desenvolvido e pensado para se atingir os princípios da TAS, assim como os princípios da TASC. A materialização de toda essa abordagem se deu na elaboração de uma UEPS que vai além da discussão feita neste artigo.

### 3. O físico da bobina: Nikola Tesla

Buscando perceber como Nikola Tesla se tornou o cientista e inventor no ramo do eletromagnetismo, para este trabalho foram feitos alguns recortes dos acontecimentos históricos encontrados, evidenciando acontecimentos de sua infância, vida acadêmica e profissional. Tal recorte visa subsidiar o professor a fomentar sua discussão histórica dos experimentos didáticos que serão descritos a seguir e que fazem parte da sequência didática trazida logo após este trabalho. Tal descrição se mostra necessária devido à ausência, em português, de material biográfico confiável acerca da vida e da obra do cientista, tanto que mesmo o conhecido *Dicionário de biografias científicas* [18] não dedica a ele um ensaio. Tesla também é esquecido em livros como *Os 100 maiores cientistas da história* [19] e *As 100 maiores descobertas científicas de todos os tempos* [20]. No texto, procurou-se usar como referência epistemológica Paul Feyerabend para evitar descrições que retratam os cientistas como gênios isolados, mostrando o contexto sócio-histórico-cultural em que estavam cercados e como este contexto influenciou na sua ciência.

Nikola Tesla nasceu em 10 de julho de 1856 na pequena aldeia de Smiljan, ainda no Império Austríaco, onde atualmente situa-se a Croácia. Seu pai era padre ortodoxo, e seu desejo era que Tesla também seguisse a vida religiosa, o que não aconteceu [21, 22]. O pai de Nikola Tesla se chamava Milutin Tesla e sua mãe, Duka Tesla. O avô paterno de Tesla era oficial do exército, então o pai de Tesla recebeu educação militar, mas acabou seguindo a carreira clerical. Seu pai, Milutin, era rígido com sua educação e não aprovava a vontade de Tesla de ser engenheiro. Nikola Tesla descreveu sua mãe como uma grande inventora e influenciadora de seus inventos. Ela pertencia a uma das famílias mais antigas do país e de uma linhagem de inventores [21]. Desde a infância, a família de Tesla foi a responsável por influenciá-lo: seu pai o estimulava a realizar contas mentais, descobrir os defeitos de coisas e até mesmo adivinhar os

**Não é suficiente somente o uso da Teoria da Aprendizagem Significativa proposta por Ausubel, visto que, na atualidade, estamos imersos em mudanças rápidas e drásticas**

pensamentos um do outro. Tesla lembra que sua mãe inventou e construiu diversas ferramentas artesanais e que, mesmo na velhice, ainda tinha muita habilidade [22, 23]. Tesla ficou conhecido não só por seus inventos, mas também por suas excentricidades, que remontam desde a infância: ele contava o número de passos que dava em uma caminhada, tinha aversão a pôr a mão no cabelo de outras pessoas, calculava o conteúdo cúbico da sua xícara de café e em seus pratos de sopa e era obcecado por realizar atividades e cálculos que pudessem ser divisíveis por três [21, 22].

Na adolescência, Tesla começa a mostrar seu potencial criativo e sua habilidade para inventar ou produzir objetos. Nesta fase de sua vida, Tesla relata que sofria com *flashes* de luzes e aparições de imagens que dificultavam seus pensamentos e a visão de objetos reais [24, 21]. Após Tesla contrair e se recuperar de uma cólera, seu pai concordou que ele estudasse na Escola Politécnica Austríaca. Ele ingressou no curso de física e engenharia, em que se destacou pelo excelente desempenho. Além da influência atribuída a seus pais em sua carreira, o inventor também atribui esse mérito a seus professores, pois cita: “Eu adquirira grande interesse pela eletricidade, sob a estimulante influência do meu professor de física, um homem engenhoso, que sempre demonstrava os princípios por meio de aparelhos de sua própria invenção” [24, p. 44]. Devido a seu vício em jogos, o jovem Tesla gastava todo o dinheiro que seu pai enviava para seus estudos. Faltando apenas um semestre para se formar, abandonou o curso. Durante sua formação acadêmica, Tesla afirmou a um professor que o funcionamento de geradores e motores poderia melhorar caso usasse corrente alternada. Sua ideia foi considerada absurda e foi ignorada [21, 23, 25].

Em 1880, Tesla começou a estudar filosofia na Universidade de Praga por insistência de seu pai. Contudo, com a morte de seu genitor, Tesla acabou desistindo do curso. No mesmo ano, muda-se para Budapeste, na Hungria, onde começou a trabalhar na Companhia Nacional dos Telégrafos. Em 1881, foi promovido a engenheiro-chefe na companhia, atuando na área de telefonia. Porém, a ideia de construir um motor baseado em um sistema de corrente alternada continuava em sua mente. No ano seguinte, Tesla conseguiu um novo emprego e foi para Paris, na França, e lá ficou trabalhando como engenheiro em uma das filiais da Continental Edison Company, empresa de Thomas Edison, inventor e empresário bem-sucedido [21, 26]. Em 1884, o jovem Nikola, com pretensão de conhecer e apresentar seus trabalhos a Thomas Edison, muda-se para Nova York, Estados Unidos. Lá, Tesla apresentou seus projetos usando corrente alternada (CA) a Edson, mesmo sabendo que o empresário e inventor trabalhava com corrente contínua (CC). Então, Edson resolveu contratar Tesla: sua principal função era melhorar o

**Devido a seu vício em jogos, o jovem Tesla gastava todo o dinheiro que seu pai enviava para seus estudos**

desempenho dos geradores de corrente contínua. Tesla alegou que Edson lhe prometeu 50 mil dólares caso ele tivesse êxito, todavia ele nunca recebeu o valor prometido [21, 27].

Depois do desentendimento com Edison, Tesla saiu da empresa. Com subsídio de investidores de Nova York, Tesla criou sua própria empresa, a Tesla Electric Company, onde começou a desenvolver os componentes de corrente alternada. Foi ali que sua primeira invenção revolucionária foi criada: a máquina de indução [21, 22]. Em 1888, Nikola apresentou um novo sistema de corrente alternada para motores e transformadores. Nos cinco anos seguintes, 22 patentes americanas foram dadas a Tesla por geradores, motores, transformadores e linhas de transmissão, todos usando corrente alternada [21].

Os inventos de Tesla trouxeram grande prestígio à empresa e investidores começaram a financiar suas pesquisas. Um empreendedor americano e famoso engenheiro, George Westinghouse, que há tempos buscava criar e patentear um motor de corrente alternada (AC), estava convicto de que o motor de indução de Tesla dominaria o mercado. Westinghouse acabou comprando as patentes do motor de indução, licenciou seu uso e contratou Tesla como consultor. O motor de indução de Tesla se transformou na base do sistema de potência Westinghouse, que serve de base para a moderna indústria de energia elétrica até hoje. Durante essa época, em Nova York, nos Estados Unidos, a energia elétrica já era uma realidade, pois a empresa de Edison instalou, com o apoio de investidores, a primeira estação de corrente contínua na cidade [21, 28]. A união entre Westinghouse e Tesla agitou o mundo científico. Thomas Edison, que usava corrente contínua, temia perder importantes investidores que agora poderiam investir em projetos de corrente alternada. A partir disso, surgiu uma das maiores rivalidades no mundo científico, conhecida como a “guerra das correntes”, protagonizada por Nikola Tesla, Thomas Edison e George Westinghouse (Fig. 1) [21].

Edison, se sentindo ameaçado, começa uma campanha negativa na mídia contra o sistema de corrente

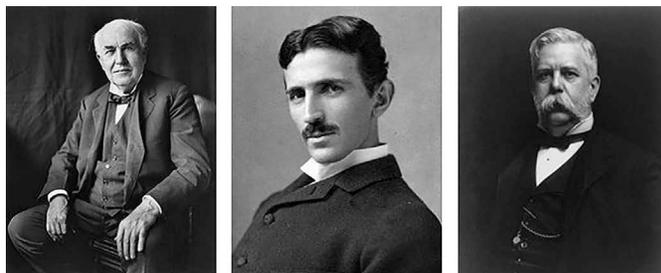


Figura 1 - Thomas Edison (à esquerda), Nikola Tesla (no centro) e George Westinghouse (à direita). Fonte: <https://www.goodreads.com/review/show/2235866726>.

alternada, alegando que era muito perigoso. Para desacreditar o sistema, ele determinou que seus funcionários fizessem sacrifícios de animais em praça pública, o mais famoso foi o da elefanta Topsy (Fig. 2).

Outra demonstração negativa usando CA foi feita em 1890: trata-se da eletrocussão de um criminoso na cadeira elétrica, a primeira feita em humanos. Pessoas que presenciaram a morte do criminoso descreveram a experiência como um terrível espetáculo [27]. Em 1892, ocorreu a fusão da Edison General Electric e Thomson-Houston Electric Company resultando, assim, na General Electric (GE), que dura até hoje [21].

O ápice da guerra das correntes ocorreu em 1893, quando a GE e a Westinghouse apresentaram propostas para iluminar a Exposição Mundial da Columbia, que foi a primeira feira no mundo a ser iluminada por eletricidade. Westinghouse acabou ganhando a disputa por apresentar uma proposta envolvendo menos custo. Uma ação judicial foi movida pela GE contra Tesla, a fim de impedi-lo de usar suas lâmpadas incandescentes para iluminar a feira. Tal processo acabou levando Tesla a criar, patentear e produzir a lâmpada fluorescente: modelo mais duradouro e eficiente que a lâmpada incandescente. Durante a feira, em torno de 100 mil pessoas presenciaram o funcionamento dos geradores de corrente alternada iluminando as novas lâmpadas. Esta foi a grande chance de Tesla de mostrar



Figura 2 - Elefanta Topsy sendo eletrocutada. Fonte: [https://en.wikipedia.org/wiki/Topsy\\_%28elephant%29#/media/File:Topsy\\_elephant\\_death\\_electrocution\\_at\\_luna\\_park\\_1903.png](https://en.wikipedia.org/wiki/Topsy_%28elephant%29#/media/File:Topsy_elephant_death_electrocution_at_luna_park_1903.png).

que seu sistema tinha capacidade de funcionar em grande escala, tendo consolidado, dessa forma, o uso do sistema de corrente alternada [22, 26, 28].

Tesla ainda tinha um sonho antigo: usar as Cataratas do Niágara para gerar eletricidade. O sucesso do sistema AC na feira chamou a atenção do famoso físico inglês Lord Kelvin, que era membro da comissão internacional para usar o poder das Cataratas. Ainda em 1893, a Westinghouse Electric Corporation firmou um contrato para projetar e construir a hidrelétrica Niagara Falls [21, 24]. Em 1896, estava pronta a hidrelétrica das Cataratas do Niágara, usando geradores com a patente de Nikola Tesla, no qual seu nome está gravado (Fig. 3). O sistema usando as Cataratas começou a funcionar, sendo a eletricidade gerada e transmitida por corrente alternada (Fig. 4). Enfim, a corrente contínua foi substituída pela alternada, que podia ser distribuída por vários quilômetros da estação geradora, aumentando imensamente a área de cobertura e melhorando a segurança e a eficiência da distribuição de energia.

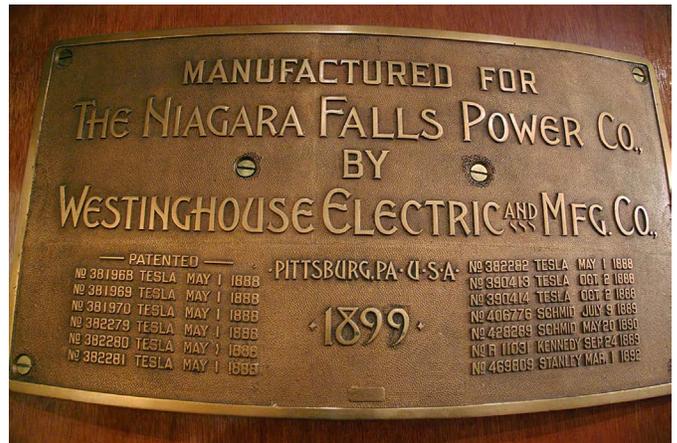


Figura 3 - Placa de um gerador de Niagara Falls com as patentes de Tesla. Fonte: <https://waveguide.blog/nikola-tesla-transmission-systems/tesla-patents-niagara-falls-hydroelectric-power-plant/>.

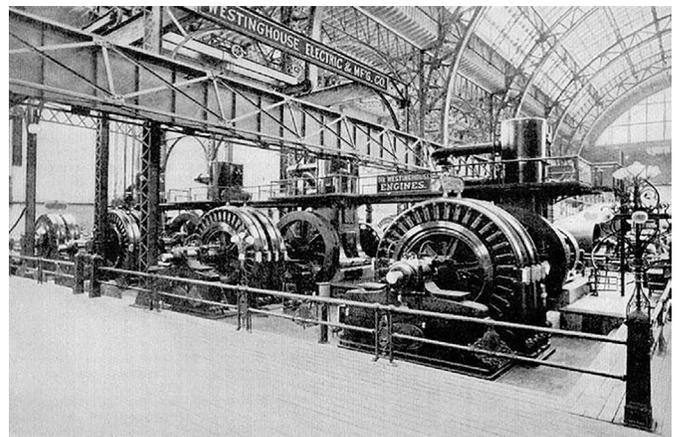


Figura 4 - Motores das Cataratas do Niágara. Fonte: <https://www.pinterest.com.au/pin/403424079092210256/>.

Com a aceitação do sistema de corrente alternada, chega ao fim a guerra das correntes [21, 28].

Em 1888, uma parceria entre Westinghouse e Tesla é firmada para fabricar motores em grande escala. Porém, o sistema de Tesla usava correntes de baixa frequência, que não eram compatíveis com a frequência de 133 Hz, usada pela Westinghouse. Havendo esse problema a ser superado, Tesla encontrou muitas dificuldades. Conforme relatado por ele próprio: “[...] Meus esforços tiveram de se concentrar na adaptação do motor” [24, p. 67]. Tesla acabou introduzindo a frequência da rede elétrica em 60 Hz nos EUA, que também é usada na maioria dos países da América, inclusive no Brasil [21]. Tesla voltou aos Estados Unidos em 1889, montou um laboratório na cidade de Colorado Springs (Fig. 5) e deu início ao estudo e à projeção de máquinas de alta frequência. Por se tratar de uma área de estudos nova e quase inexplorada, Tesla encontrou muitos entraves. Durante suas pesquisas, Tesla estudou os trabalhos de H. Hertz e Lord Kelvin, este último realizado em 1856, sobre a teoria da descarga de condensador, porém Kelvin não havia realizado uma aplicação prática. Tesla, vendo potencial de aplicabilidade no trabalho de Kelvin, desenvolve aparelhos de indução com base nesse princípio. No laboratório, ele ampliou suas pesquisas sobre raios atmosféricos e seus experimentos com altas tensões, sendo um deles conhecido como a bobina de Tesla [21, 26, 28].

A bobina de Tesla, que por ele era chamada de transmissor amplificador (Fig. 6), se tratava de um sistema de transmissão de energia sem fio e de geração e detecção de radiofrequências usando altas tensões e criando milhões de volts de eletricidade com uma taxa de frequência de 100.000 alterações por segundo [25].

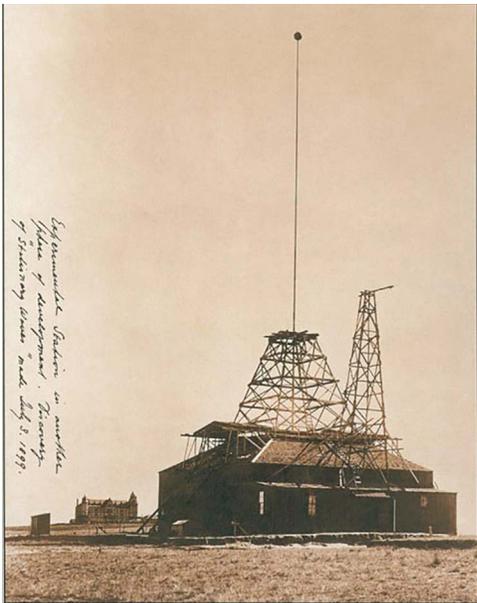


Figura 5 - Laboratório de Tesla em Colorado Springs. Fonte: <https://www.teslasociety.com/pictures/ttower.jpg>.

A bobina primitiva, criada por Tesla em 1891, era de pequeno porte e produzia faíscas de aproximadamente 13 centímetros. O alcance da energia transmitida era curto, cerca de 300 a 400 metros, sendo o suficiente para acender lâmpadas fluorescentes primitivas (Fig. 7). Logo, o projeto da bobina foi melhorado por ele

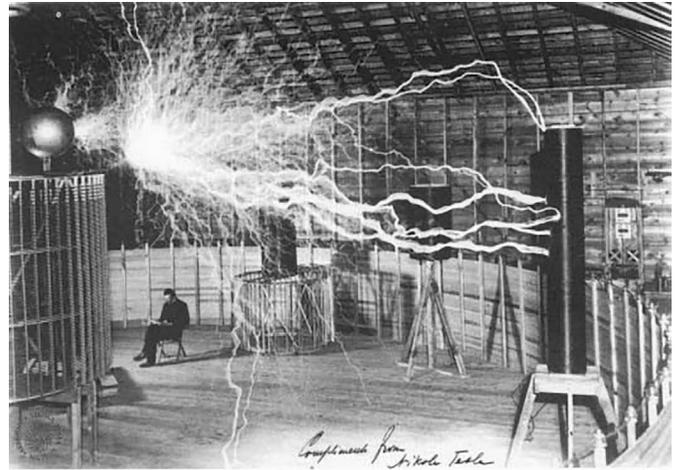


Figura 6 - Tesla sentado e a bobina de Tesla em seu laboratório em Colorado Springs. Fonte: <https://www.teslasociety.com/nikolapic.jpg>.



Figura 7 - Nikola Tesla segurando uma lâmpada cheia de gás e revestida de fósforo sendo iluminada sem fios pela bobina de Tesla. Fonte: <https://www.teslasociety.com/teslapic00.jpg>.

e, por volta do ano 1900, já produzia raios artificiais de aproximadamente 30 metros. Tesla gastou boa parte de seu dinheiro e anos de pesquisas em diversos projetos buscando desenvolver a transmissão de energia sem fios. Em 1907, Tesla vende as patentes do motor e do uso da geração de energia para a Westinghouse. Sem dinheiro, seu laboratório foi vendido para cobrir gastos advindos de seus testes experimentais e despesas cotidianas básicas [22, 27, 28].

Tesla estava convicto de que seu projeto, a bobina de Tesla, revolucionaria o mundo através da transmissão de energia sem fio. Então, no final de 1900, ele volta para Nova York em busca de investimentos em seu projeto chamado de Torre de Wardencllyffe (Fig. 8). Os empresários J.P. Morgan e George Westinghouse se convenceram a investir na torre, acreditando que as transmissões transatlânticas prometidas por Tesla trariam a eles muito dinheiro. Contudo, a verdadeira obsessão e intenção de Tesla era de transmitir ao mundo energia sem fio gratuitamente e de unir a humanidade através da possibilidade de comunicação entre todos [22, 26]. Alterações foram sendo feitas por Tesla durante a construção da torre, elevando os custos e fazendo com que os investidores o pressionassem em busca de um retorno financeiro em curto prazo. Para piorar a imagem de Tesla e a demora em obter êxito na transmissão de energia sem fio a distâncias consideravelmente grandes, Guglielmo Marconi, utilizando-se de várias patentes de Tesla, conseguiu transmitir um sinal de rádio, enviando o som da letra “s”, em código Morse, da Inglaterra até o Canadá. Tesla, sabendo do uso não autorizado de suas patentes e tendo seus direitos autorais infringidos, reivindicava-os judicialmente, sendo sua autoria reconhecida somente após sua morte. Em 1909, Marconi acaba ganhando o prêmio Nobel de física pela invenção do rádio. Vendo o sucesso de Marconi, Morgan não investiu mais na construção da torre de Tesla e, pela falta de dinheiro, o projeto Wardencllyffe foi hipote-

**Tesla estava convicto de que seu projeto, a bobina de Tesla, revolucionaria o mundo através da transmissão de energia sem fio**



Figura 8 - Torre Wardencllyffe. Fonte: <http://portugalmundial.com/torre-wardenclyffe/>.

cado para pagar dívidas, sendo abandonado e destruído antes mesmo de ser finalizado [23, 27, 28].

Durante sua vida, Tesla escreveu vários artigos de jornais e participou de muitas feiras, palestras e congressos divulgando seus estudos e suas descobertas na ciência. Tesla, aos 63 anos de idade, escreveu uma autobiografia [24]. Em 1915, Thomas Edison e Nikola Tesla estamparam a capa do jornal *The New York Times* (Fig. 9). O motivo era a notícia de que Tesla e Edison seriam laureados com o prêmio Nobel em física, porém o prêmio foi entregue a outros cientistas. A situação nunca foi bem esclarecida, embora notícias extraoficiais e rumores da época alegam que Tesla e Edison se negaram a dividir o prêmio.

Em 1924, houve rumores de que Nikola Tesla havia inventado uma máquina que disparava raios mortais no ar. Anos depois, o inventor, em uma coletiva de imprensa, divulgou que tinha descoberto uma nova fonte de energia, e que não se tratava de energia atômica ou relacionada a ela [21, 26]. Em 1928, Tesla obteve sua última patente, um modelo para um avião com decolagem vertical. Depois disso, ele estava sem financiadores e não tinha emprego ou economias. No ano de 1934, a companhia Westinghouse resolveu alugar Tesla, pagando-lhe um quarto no hotel New Yorker e um pequeno salário vitalício. Tesla passou seus últimos dez anos reclusos em seu quarto, comunicando-se minimamente com os funcionários e sociedade em geral [21].

Em 7 de janeiro de 1943, Nikola Tesla foi encontrado morto em seu quarto pela camareira, vítima de uma trombose coronária aos 86 anos de idade. Após o falecimento de Tesla, seus pertences e suas anotações foram confiscados, pois autoridades americanas te-

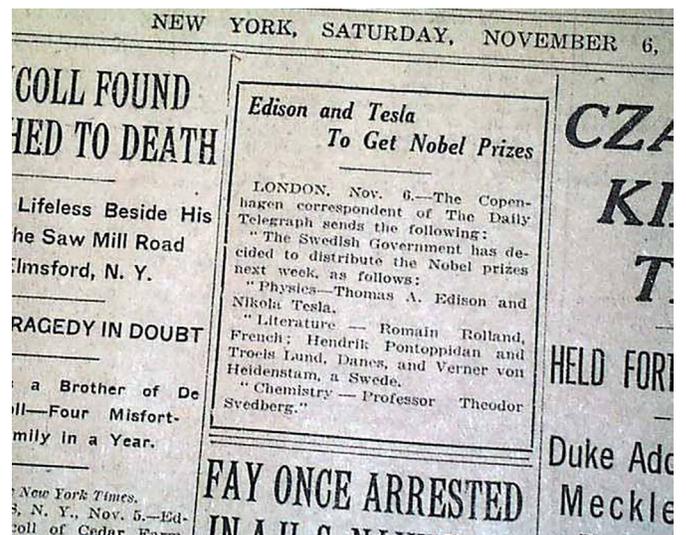


Figura 9 - Reportagem do jornal *The New York Times*. Fonte: <https://www.rarenewspapers.com/view/581867?imagemlist=1>.

miam que os documentos caíssem em mãos erradas. Como Nikola Tesla nunca se casou nem tinha filhos, em 1952, seu sobrinho reivindicou suas anotações. Algumas delas se encontram no museu Nikola Tesla em Belgrado, Sérvia (Fig. 10), outras jamais foram encontradas. No museu também estão as cinzas de Tesla, que foi cremado. Nikola Tesla foi autor de muitas invenções, tendo mais de 700 patentes registradas. Suas invenções e seus avanços na ciência possibilitaram, entre inúmeras outras coisas, a comercialização da energia elétrica em grande escala [27, 28]. Ele também recebeu diversas honrarias e homenagem após sua morte,



Figura 10 - Museu Nikola Tesla em Belgrado, Sérvia. Fonte: [http://ttnotes.com/nikola-tesla-museum.html#gal\\_post\\_39444\\_nikola-tesla-museum-belgrade-3.jpg](http://ttnotes.com/nikola-tesla-museum.html#gal_post_39444_nikola-tesla-museum-belgrade-3.jpg).



Figura 11 - Estátua de Nikola Tesla em cima de um motor nas Cataratas do Niágara. Fonte: <https://www.teslasociety.com/pictures/les/Tesla3041.jpg>.

entre elas: a unidade do Sistema Internacional de Unidades (SI), o T, que mede a densidade de fluxo magnético; uma de suas estátuas nas Cataratas do Niágara (Fig. 11); e a placa no hotel onde passou seus últimos anos de vida (Fig. 12). Tesla recebeu diversas outras homenagens, como nomes de rua, aeroportos, cratera lunar, central elétrica, asteroide, banda de rock, moedas e notas de dinheiro, músicas, filmes de ficção, prêmios e fabricante de veículos elétricos [21, 28].

#### 4. A física de uma mini bobina de Tesla

Nesta seção serão descritas a construção da mini bobina e uma discussão teórica a respeito dela.

##### 4.1. Construção de uma mini bobina de Tesla

A seguir listamos os materiais utilizados.

- 1 base de madeira 15 × 20 cm (Fig. 13);
- 1 cano 3/4 (25 mm) com 9 cm de altura (Fig. 14);
- 1 bateria de 9 V;
- 1 conector/clip de bateria 9 V;
- 1 interruptor de tato;
- lâmpada fluorescente (Fig. 15);
- 5 m de fio de cobre esmaltado 30 awg;
- 1 transistor 2N2222 ou BC548 ou BC337;



Figura 12 - Placa comemorativa erguida em 10 de julho de 2001 pela Tesla Memorial Society de Nova York e Hotel New Yorker. Fonte: <https://www.teslasociety.com/pictures/plaque.jpg>.



Figura 13 - Base de madeira.



Figura 14 - Lâmpada fluorescente.



Figura 15 - Peça de fio.

- 1 resistor de 22 k $\Omega$  nas cores vermelho, vermelho, laranja e dourado; ou de 27 k $\Omega$  nas cores vermelho, violeta, laranja e dourado;
- 1 fio de rígido (16 awg) com 30 cm de comprimento;
- ferro de solda;
- estanho;
- alicate de corte;
- pistola de cola quente;
- cola instantânea (sugerimos Super Bonder ®);
- pedaços de fios para as ligações.

#### 4.1.1. Como se faz

Primeiro, construa a bobina secundária, cuja base é o cano de PVC. Deixe aproximadamente 15 cm de fio de cobre esmaltado livre e enrole cinco voltas do fio, no mesmo sentido, no cano de PVC. Em seguida, passe a cola instantânea sobre as espiras para não desenrolar os fios e continue enrolando o fio por todo o comprimento do cano, colando o fio novamente ao final do cano. Deixe uma volta bem próxima da outra, porém as espiras não podem ser sobrepostas. Depois, a ponta do fio esmaltado deve ser raspada, lixada ou queimada para retirar o esmalte que protege o fio.

Usando a cola quente, fixe a bobina secundária na base de madeira. Em cima do enrolamento secundário é feito o enrolamento primário com o fio rígido (fio mais grosso), dando uma volta completa em torno da bobina secundária.

O circuito começará com o fio 1 saindo do polo negativo da bateria e ligando na entrada da ponta do interruptor. Coloque estanho para fazer a ligação. O fio 2 sairá do interruptor para o coletor do transistor. O fio 3 será ligado ao emissor do transistor e ao enrolamento da bobina primária. O fio 4 sairá da base do transistor e fará uma emenda com o fio 5, ambos ligados na perna

do resistor. A outra ponta do resistor será ligada a uma emenda feita pelos fios 6 e 7, onde o fio 6 será ligado ao polo positivo da bateria e o fio 7, ao enrolamento da bobina primária. A ponta que sobrou do fio 5 será o único fio ligado à bobina secundária (Fig. 16).

Os autores deste trabalho produziram um vídeo do aparato experimental que foi compartilhado no canal IFScience, na plataforma YouTube. Neste vídeo são descritos os materiais necessários e o passo a passo para a montagem do experimento. O vídeo encontra-se disponível no endereço eletrônico do IFScience.

## 4.2. Discussão acerca da mini bobina

A proposta de experimento é uma adaptação do modelo original criado por Tesla. Sendo assim, mais segura para utilização em sala de aula, pois trabalha com baixas correntes, diminuindo os riscos de acidentes na montagem e manipulação do experimento. Daqui em diante, trata-se o experimento como “mini bobina de Tesla”. Na Fig. 17, vê-se o arranjo experimental montado pelos autores e utilizado neste trabalho, e, na Fig. 18, o circuito elétrico dela. A seguir, faz-se uma descrição sucinta de cada um dos seus componentes e funcionalidades, mostrando os detalhes mais significativos com relação aos conceitos físicos envolvidos no funcionamento da mini bobina.



Figura 16 - Montagem.



Figura 17 - Mini bobina de Tesla montada.

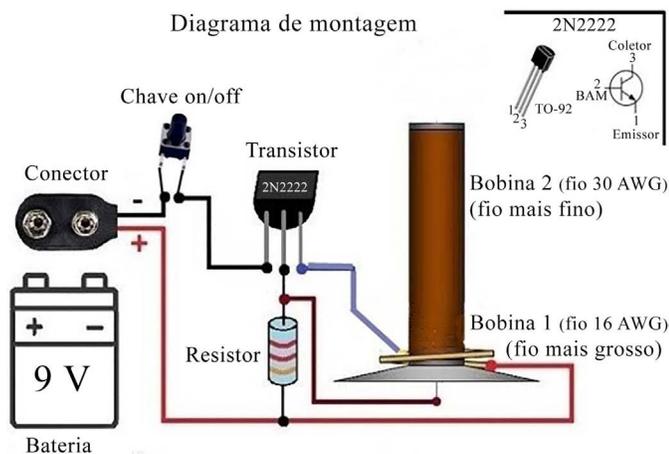


Figura 18 - Circuito elétrico da mini bobina de Tesla.

A mini bobina de Tesla proposta neste trabalho é constituída basicamente de um interruptor de tato, uma bateria de 9 V, um conector de bateria, um transistor NPN 2N2222, um resistor de 22 k $\Omega$ , uma bobina primária com 1,5 espiras e uma bobina secundária composta de 400 a 450 espiras e fios conectores. Existem outros arranjos de montagens para a mini bobina de Tesla, porém o modelo escolhido pelos autores deste artigo para a construção do experimento usa os componentes acima citados. A proposta de montagem da mini bobina que este trabalho propõe consiste no esquema mostrado na Fig. 17.

A proposta deste aparato experimental se assemelha à apresentada por Pinto [22], principalmente na adaptação para o uso em sala de aula. Pinto [22, p. 34] relata seu experimento e define a bobina de Tesla como:

um transformador elevador de tensão a núcleo de ar que opera em altas frequências e baixas correntes. Os modelos mais modernos são conhecidos como Bobina de Tesla do Estado Sólido (SSTC), que utilizam sistemas transistorizados para obter altas tensões; nos referiremos à SSTC simplesmente como bobina de Tesla. Nosso modelo desse experimento é uma adaptação, mais segura para utilização em sala de aula do modelo original criado por Tesla, pois trabalha com baixas correntes, diminuindo os riscos para os que estão manipulando o experimento. Esse aparato é constituído basicamente por uma bobina primária, uma secundária e um circuito ressonante transistorizado.

A função do conector de bateria é a de facilitar a conexão da bateria ao circuito. O interruptor de tato é o responsável por bloquear ou liberar a passagem da corrente no circuito quando é pressionado, ou seja, liga e desliga a mini bobina. Ao ligar o aparelho, a bateria, que é a fonte de alimentação para o circuito, fornece diferença de potencial (d.d.p.) ao aparato experimental. A função do resistor é a de limitar a passagem de corrente elétrica no circuito por meio do Efeito Joule. Um dos componentes cruciais no funcionamento da mini

bobina é o transistor, pois ele é o responsável por permitir o controle do fluxo de corrente. Em outras palavras, dependendo da corrente aplicada na base, ele controla a circulação de corrente do coletor para o emissor, funcionando como uma chave controladora, ora está saturado, ora vai a zero, o que acaba gerando pulsos de corrente e formando um circuito oscilante com a bobina primária [29, 30].

Em função de a relação do número de espiras entre bobina primária e secundária ser muito grande, sendo que no nosso aparato a bobina secundária é formada por muitas voltas (400-450) em uma única camada de espiras muito próximas, porém não sobrepostas, em oposição às 1,5 voltas (espiras) da bobina primária, consegue-se, por indução entre elas, um aumento de tensão, com alta frequência na bobina secundária [31, 32]. Com a mini bobina ligada, podemos perceber um intenso campo eletromagnético ao redor da bobina secundária, que, ao se aproximar de uma lâmpada fluorescente, consegue acendê-la sem o uso de fios conectores, conforme mostrado na Fig. 19.

Sobre o uso de uma lâmpada fluorescente para explorar o experimento, cabe dizer que, no interior de uma lâmpada fluorescente (que pode estar queimada), existe um gás à baixa pressão que, na presença do campo eletromagnético gerado pela bobina secundária, se ioniza. Portanto, a luminescência da lâmpada se torna mais intensa à medida que aproximamos a lâmpada do secundário da mini bobina de Tesla [22, 32]. Pinto [22, p. 35] comenta o funcionamento da bobina de Tesla:

Pelas equações de Maxwell, sabemos que um campo magnético variável gera um campo elétrico variável e perpendicular a ele, e vice e versa. Assim, observamos uma interação indissociável dos campos variáveis, a onda eletromagnética, que se propaga no espaço, transmite energia sem necessitar de um meio material para isso. Assim, quando falamos que a lâmpada acende pela influência do campo elétrico variável da bobina de Tesla, na verdade, estamos dizendo que isso acontece pela ação do campo elétrico da onda eletromagnética.



Figura 19 - Lâmpada fluorescente sendo acesa sem fio pela mini bobina de Tesla.

Também usaremos a mini bobina de Tesla, uma lâmpada fluorescente e uma lata de material metálico para explorar a blindagem eletrostática, ampliando, desta forma, a aplicação demonstrativa do experimento. Ao ligar a mini bobina de Tesla, constata-se que a lâmpada fluorescente acende fora da lata, ao contrário do que ocorre quando a lâmpada é inserida dentro da lata. Logo, a lata metálica (superfície condutora) cria blindagem ao campo elétrico na parte interna da lata, não sendo possível acender a lâmpada [33]. Ainda, de acordo com Laburú e Arruda [32], poderão ser realizadas, por meio da bobina de Tesla, diversas experiências ampliando seu uso em sala de aula, como: a “presença” do campo eletromagnético no espaço; o comportamento de isolantes sob altas tensões demonstrando o efeito corona (o efeito de pontas); uma aplicação da gaiola de Faraday (blindagem eletromagnética, o efeito de altas tensões em gases sob baixa pressão; diferenças entre descargas elétricas em um rio e no mar, entre outras).

## 5. A bobina de tesla em sala de aula: UEPS

Partindo do pressuposto de que o ensino básico tradicional tem se mostrado pouco eficaz na perspectiva de apropriação dos conteúdos estudados somente nos livros didáticos, esse artigo sugere a utilização de uma UEPS em qualquer nível de ensino. As UEPS foram propostas por Moreira [34] como sequências didáticas fundamentadas, principalmente, na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. Segundo Moreira, as UEPS podem ser organizadas seguindo aspectos sequenciais. Com base nesses aspectos é que se desenvolveu a UEPS “A física envolvida no experimento da bobina de Tesla em sala de aula”. Essa UEPS é formada por apresentações de slides, atividades experimentais, vídeo e roteiro experimental que perpassam as discussões. Nesse sentido, discutem-se a seguir os aspectos sequenciais sugeridos e pontos gerais da UEPS supracitada.

### 5.1. Definição do tópico específico a ser abordado

Seguindo o entendimento da UEPS, deve-se primeiramente determinar o tópico específico a ser estudado em sala de aula. A proposta didática a ser abordada será: A física envolvida no experimento da bobina de Tesla em sala de aula: uma proposta visando problematizar o desenvolvimento temporal do saber científico, mostrando que a ciência é uma construção humana, que está em constante desenvolvimento, não sendo uma verdade absoluta e imutável. Este conceito de ciência está alinhado com a moderna filosofia da ciência. Buscando alcançar os objetivos didáticos, pretende-se construir em sala de aula uma mini bobina de Tesla com materiais de baixo custo. Para tanto, serão apresentadas a vida e a obra de Nikola Tesla, evidenciando acontecimentos de sua infância, história acadêmica e trabalhos, buscando perceber como ele se

tornou um grande cientista e inventor no ramo do eletromagnetismo. Estudaremos, assim, conceitos físicos envolvidos no funcionamento de uma mini bobina de Tesla. Através da aplicação da UEPS, pretende-se que os alunos tomem significados dos conceitos ensinados durante a aula. Além disso, buscam-se a participação efetiva dos estudantes como agentes da construção e a apropriação de significados do novo conceito ensinado.

### 5.2. Criação de situações iniciais

Dando início à aula e com base na concepção de UEPS, parece ser favorável ao aprendizado dos alunos que seus conhecimentos prévios sejam levantados. Para isso, sugerem-se a utilização de experimentos, a visualização de vídeo e o levantamento de questões básicas de eletromagnetismo. É recomendável que os estudantes assistam ao documentário *Tesla – O mestre dos raios* e que construam o experimento “mini bobina de Tesla”. As perguntas contidas no roteiro de experiência acerca do acontecido na experimentação devem ser explicadas oralmente pelos alunos. Depois, os estudantes devem responder por escrito e com as próprias palavras o que ocorreu no experimento. Esta atividade deve ser entregue ao professor.

### 5.3. Proposição de situações-problema

Seguindo o conceito de UEPS e iniciando o contexto da aula em um nível introdutório, busca-se levantar questões aliadas ao conhecimento prévio do aluno que preparem o ambiente para o novo conceito que se pretende ensinar a ele. As perguntas podem funcionar como organizador prévio quando se aproximam de situações do cotidiano do aluno. As situações-problema introdutórias podem ser feitas por meio de situações do dia a dia, vídeos, demonstrações e OA (objeto de aprendizagem), bem como problemas costumeiros da matéria de ensino, por exemplo: “Por que alguns materiais dão choque elétrico e outros não?”, “É possível transmitir energia sem fio?”, “O que é indução?”.

### 5.4. Apresentação do conhecimento a ser abordado

Após a discussão das situações-problema, o passo seguinte é apresentar o conhecimento a ser aprendido. Nesta fase, deve-se levar em conta a diferenciação progressiva, ou seja, dar início ao tema com aspectos mais gerais e os separando em conceitos específicos. Para esta sequência, sugere-se a utilização de slides de maneira que professor e aluno interajam com o material instrucional da forma mais benéfica possível, abordando diferentes aspectos apresentados anteriormente, tais como: (i) Quem foi Tesla?; (ii) Apresentação de suas importantes contribuições na ciência; (iii) Abordagem da história da criação da bobina de Tesla; (iv) Exposição do funcionamento básico da bobina de Tesla.

## 5.5. Abordagem do conhecimento em um nível mais alto de complexidade

Dando continuidade à sequência da UEPS, parece adequado o aprofundamento de conceitos específicos que estão sendo estudados na unidade de ensino. Neste contexto, uma breve exposição oral com novos questionamentos sobre indução, ressonância, intensidade de campo eletromagnético e exemplo parecem ser válidos, ou seja, aprofundar os conceitos específicos com relação às aulas anteriores. Para isso, podem-se usar novamente a mini bobina e a lâmpada fluorescente para demonstrar uma aplicação da gaiola de Faraday (blindagem eletromagnética). Criamos um vídeo ilustrando tal fenômeno, que pode ser acessado no YouTube. Neste sentido, cabe ressaltar semelhanças e diferenças entre os exemplos e as condições já estudadas, ou seja, gerar a reconciliação integradora proposta na TAS.

## 5.6. Retomada das características mais relevantes

Continuando o processo de reconciliação integrativa, a fim de concluir a unidade de ensino, cabe neste momento retomar as situações-problema a fim de consolidar os conceitos discutidos, além de fazer uma discussão ou nova apresentação do conteúdo em um grau de complexidade mais elevado. Para isso, recomenda-se discutir novamente as situações-problema levantadas a partir do documentário e da construção do experimento, com o objetivo de que os estudantes atinjam as respostas das situações-problema de forma coletiva. Sem que se desvalorizem outras formas de conhecimento, o mediador do conhecimento, neste caso, o professor, deve conduzir a unidade de ensino de modo que as respostas construídas estejam de acordo com o que é cientificamente aceito. A leitura de um novo texto de apoio que aborda história e filosofia da ciência, uma nova apresentação de slides ou um recurso computacional são algumas opções que podem ser seguidas pelo professor, que, no caso, é o mediador do conhecimento.

## 5.7. Avaliação da aprendizagem na UEPS

A avaliação tradicional, e apenas ao final do estudo do conteúdo abordado em aula, deve ser evitada, assim como somente questões de múltipla escolha. Uma proposta é realizar a avaliação no decorrer da UEPS através das mais variadas atividades. O instrumento de busca de indícios de aprendizagem significativa podem ser somativas e, como exemplo, o docente pode aplicar novamente o experimento e pedir aos alunos que respondam outra vez às perguntas do roteiro para buscar indícios de aprendizagem significativa durante a aplicação de toda a UEPS. Segundo Moreira, é importante que haja uma avaliação escrita individual, que apresenta questões que levem o aluno a refletir sobre o tema, evidenciando a construção de significados e a

capacidade de transferência de seu conhecimento acerca do assunto estudado na unidade.

## 5.8. Avaliação da UEPS

Indícios e evidências de aprendizagem significativas devem ser notados para que a UEPS seja válida. Tendo em vista que a aprendizagem significativa é progressiva, a apropriação do campo conceitual também é gradativa, devendo-se buscar por evidências ao longo do processo de ensino e não apenas em seu término, segundo Moreira [16]. Caso não se encontrem vestígios de aprendizagem significativa, a UEPS tem que ser repensada e modificada, e o conjunto das atividades que foram aplicadas deve ser reavaliado.

## 6. Considerações finais

A educação nos dias atuais enfrenta um grande desafio: conseguir fazer com que os estudantes se interessem pelos conteúdos ensinados em sala de aula. Assim, buscou-se contribuir para o ensino de física através de uma sequência didática voltada para todos os níveis de ensino, por meio de uma UEPS. Para que o aluno tenha condições de aprender significativamente, é necessário criar-se um ambiente favorável para que isso ocorra. O uso de metodologias e experimentação alinhadas com a moderna filosofia da ciência propicia a formação crítica e científica dos estudantes.

A proposta buscou contribuir para o ensino de eletromagnetismo por meio da construção de uma mini bobina de Tesla, usando-a para acender uma lâmpada fluorescente e demonstrar uma aplicação da gaiola de Faraday (blindagem eletromagnética). Ressaltamos que em nosso trabalho houve uma abordagem histórico-filosófica sobre Nikola Tesla, suas contribuições e inventos para a evolução do eletromagnetismo e a construção da ciência.

Com este trabalho, pretende-se que a implementação e avaliação da UEPS em sala de aula não se limite somente à proposta nesta pesquisa; ela deve ser discutida, analisada, reconstruída e aprimorada de maneira coletiva por professores de física, procurando contemplar as diversas peculiaridades dos discentes e do contexto escolar em que ele está inserido. O experimento da mini bobina de Tesla usa componentes de baixo custo, por vezes podendo ser reutilizados de sucata eletrônica ou achados com facilidade em lojas de eletrônicos, sendo sua montagem simples e passível de ser feita em sala de aula com orientação e supervisão do professor de física. Além disso, também proporciona demonstrações fascinantes, que podem despertar o interesse e a curiosidade do estudante para a aprendizagem significativa crítica de conceitos do eletromagnetismo.

Recebido em: 31 de Março de 2023

Aceito em: 9 de Setembro de 2023

## Nota

<sup>1</sup>“Tesla – O mestre dos raios” que faz uma narrativa histórica acerca da vida e obra do cientista e serve como material introdutório para as demais etapas da UEPS.

## Referências

- [1] F.M. Laburú, O.H.M. Silva, C.E. Laburú, A Física na Escola **19**(2), 23 (2021).
- [2] R.L. Nogueira, T.A.S.M. Sampaio, A Física na Escola **19**(2), 28 (2021).
- [3] P.M.S. Roma, C.M.S. Roma, A Física na Escola **19**(2), 39 (2021).
- [4] C.F. Marcos, F. Damasio, S. Costa, A Física na Escola **20**, 220311 (2022).
- [5] N.T. Massoni, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **26**, 237 (2009).
- [6] J.A.F. Pinto, A.P.B. Silva, E.J.B. Ferreira, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **34**, 176 (2017).
- [7] A.T. Borges, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **3**, 291 (2002).
- [8] A.F.P. Martins, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **24**, 112 (2007).
- [9] W.T. Jardim, A. Guerra, Investigações em Ensino de Ciências **22**, 244 (2017).
- [10] J.Mcguire, B. Tuchanska, Revista Brasileira de História da Ciência **6**, 151 (2013).
- [11] C.B. Moura, A. Guerra, Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências **16**, 725 (2016).
- [12] M.A. Moreira, *A Teoria da Aprendizagem Significativa e sua Implementação em Sala de Aula* (Editora da UnB, Brasília, 2006).
- [13] J.A.F. Pinto, A.P.B. Silva, E.J.B. Ferreira, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **34**, 176 (2017).
- [14] R.A. Oliveira, A.F.P. Martins, A.P.B. Silva, Revista Brasileira de Ensino de Física **41**, e20180141 (2019).
- [15] M.A. Moreira (Org.), *A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, o Ensino de Ciências e a Investigação Nesta Área* (Instituto de Física da UFRGS, Porto Alegre, 2004).
- [16] F. Damasio, L.O.Q. Peduzzi, Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte) **20**, e2951 (2018).
- [17] M.A. Moreira, *Aprendizagem Significativa: A Teoria e Textos Complementares* (Livraria Editora da Física, São Paulo, 2011).
- [18] F. Damasio, L.O.Q. Peduzzi, Investigações em Ensino de Ciências **20**, 97 (2015).
- [19] C. Benjamim (ed.), *Dicionário de Biografias Científicas* (Contraponto, Rio de Janeiro, 2007).
- [20] J. Simmons, *Os 100 Maiores Cientistas da História* (Difel, Rio de Janeiro, 2002).
- [21] K. Haven, *As 100 Maiores Descobertas Científicas de Todos os Tempos* (Ediouro, São Paulo, 2008).
- [22] M.V. Nunes, *Nikola Tesla: Uma Breve História do Mestre dos Raios*. Trabalho de conclusão de curso de Licenciatura em Física, Universidade Estadual Paulista, 2015.
- [23] B.D.V. Pinto, *Proposta de Ensino da Transmissão de Energia por Ondas Eletromagnéticas*. Trabalho de conclusão de curso de Licenciatura em Física, Universidade Federal Fluminense, 2020.
- [24] E.A. Hahn, *Limites e Possibilidades na Utilização do Texto “Minhas Invenções”, de Nikola Tesla, na Discussão de Aspectos da Natureza da Ciência*. Trabalho de Conclusão de Curso de Licenciatura em Física, Universidade Federal da Fronteira Sul, 2016.
- [25] N. Tesla, *Minhas Invenções: A Autobiografia de Nikola Tesla* (Unesp, São Paulo, 2012).
- [26] L.B. Badur, XLIV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. 1 (2016).
- [27] A. A. Lima, *O Ressurgimento do Sujeito Pela Escrita Autobiográfica: O Caso de Nicola Tesla (1856-1943)*. (Dissertação de Mestrado em História, Universidade Federal de Goiás, 2017).
- [28] M. Machado, *Simplifísica - O universo de Nicola Tesla: Sua Vida e seu Legado*. 1 vídeo (1h06min49s). Publicado pelo Canal UFRGS TV. (2016).
- [29] A.Q. Souza, *Nikola Tesla e os estudos do Raio X: Releitura de uma história quase apagada*. Tese de Doutorado em História da Ciência, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2016.
- [30] R.L. Boylestad, *Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos*. (São Paulo, Pearson Prentice Hall, 2007).
- [31] I.S.R. Duarte, *Geração e detecção de campos eletromagnéticos por meio da bobina de Tesla: Uma proposta de ensino a partir de organizadores avançados ausubelianos*. Dissertação de Mestrado Profissional em Ensino de Física, Universidade de Brasília, 2019.
- [32] P.G. Hewitt, *Física Conceitual* (Porto Alegre, Bookman, 2002).
- [33] C.E. Laurú, S.M.A. Arruda, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **21**, 217, (2004).
- [34] D. Halliday, R. Resnick, R. Walker. *Fundamentos de Física* (LTC, Rio de Janeiro, 2009).
- [35] M.A. Moreira, Aprendizagem Significativa em Revista **6**, 1 (2016).

## Endereços de internet

Youtube. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=E3msPQqvDQE>

IFScience, Aparato experimental. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=eZNDrxEoVSY>