



**Universidade de Brasília**

**FACULDADE UnB PLANALTINA  
LICENCIATURA EM CIÊNCIAS NATURAIS**

**UMA NOVA PROPOSTA DE RECURSO DIDÁTICO: A  
BOBINA DE TESLA PARA USO EM TEMAS DO  
ELETROMAGNETISMO**

**AUTOR: JÉSSICA RAYANE ALVES BARRETO**

**ORIENTADOR: PROF. ISMAEL V. L. COSTA**

**Planaltina - DF**

**Junho 2014**



**Universidade de Brasília**

**FACULDADE UnB PLANALTINA  
LICENCIATURA EM CIÊNCIAS NATURAIS**

**UMA NOVA PROPOSTA DE RECURSO DIDÁTICO: A  
BOBINA DE TESLA PARA USO EM TEMAS DO  
ELETROMAGNETISMO**

**AUTOR: JÉSSICA RAYANE ALVES BARRETO**

**ORIENTADOR: PROF. ISMAEL V. L. COSTA**

*Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora, como exigência parcial para a obtenção de título de Licenciado do Curso de Licenciatura em Ciências Naturais, da Faculdade UnB Planaltina, sob a orientação do Prof. Ismael V. L. Costa.*

**Planaltina - DF**

**Junho 2014**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a meus pais e a minha irmã pelo apoio, pela paciência e persistência diante das dificuldades enfrentadas durante essa fase da minha vida, a graduação; ao meu orientador professor Ismael Costa, por me direcionar na construção do conhecimento e pelo entusiasmo com a construção da bobina de Tesla; a minha grande amiga Anna Clara, por ter contribuído de forma efetiva na construção da bobina e por ter me auxiliado na escolha do orientador e do tema; ao Wenderson Andrade por estar presente nesse grande momento da minha vida, pelo apoio e por acreditar na minha capacidade; aos amigos que fiz durante a graduação e a todos que contribuíram direta e indiretamente no meu trabalho de conclusão de curso. Finalmente agradeço Deus, por ser essencial em minha vida e permitir que eu alcançasse essa grande conquista.

## O USO DA BOBINA DE TESLA COMO RECURSO DIDÁTICO EM TEMAS DO ELETROMAGNETISMO

Jéssica Rayane Alves Barreto<sup>1</sup>

Ismael V. L. Costa<sup>2</sup>, orientador

### RESUMO

Pensando nas dificuldades encontradas por alunos do ensino médio na disciplina de Física, uma bobina de Tesla foi construída com o objetivo de ser utilizada como um recurso didático no auxílio dos assuntos do eletromagnetismo. O presente trabalho traz os materiais utilizados na construção da bobina e como proceder com a sua montagem. Quatro experimentos sobre eletromagnetismo foram elencados e a partir daí foi discutido como trabalhar com os experimentos usando a bobina. Considerando que o professor não deve tomar a postura de transmissor do conhecimento, mas construí-lo com os estudantes, entendeu-se a bobina de Tesla como um recurso didático inovador. Apesar de inovadora, não se pode concluir com essa pesquisa questões acerca a aprendizagem significativa.

Palavras-Chave: Nikola Tesla; Bobina de Tesla; Eletromagnetismo; Ensino de Física.

### 1. INTRODUÇÃO

O eletromagnetismo é uma disciplina da Física ministrada no terceiro ano do ensino médio. Souza e Silva (2012, p. 12) aponta o auxílio de uma metodologia adequada de ensino pode ser usado por professores de Física com o objetivo de contornar as dificuldades enfrentadas pelo mesmo em sala de aula. A escolha do assunto eletromagnetismo se fez pelo fato de considerarmos esse conteúdo abstrato, pois a linguagem matemática existente em alguns temas dessa disciplina é complexa para os alunos do ensino médio sem uma base matemática sólida. Podemos exemplificar o estudo de vetores, pois ao trabalhar com magnetismo corriqueiramente é necessário lidar com vetores dispostos em três dimensões, como nos casos envolvendo forças magnéticas. Outro exemplo consiste no entendimento da Lei de Lenz, onde é necessário compreender a relação entre a variação do campo magnético externo e o campo magnético criado pela corrente induzida. Um terceiro exemplo é a dificuldade que os alunos possuem de vislumbrarem os campos elétricos e magnéticos. Desse modo, esta área da Física costuma não ser bem

---

<sup>1</sup> Licenciatura em Ciências Naturais – UnB

<sup>2</sup> Universidade de Brasília - UnB

compreendida e visualizada pelos estudantes, pois ao incluir a descrição matemática no fenômeno eletromagnético, o conteúdo se torna confuso para eles.

Devido a este problema, decidimos utilizar um experimento de grande apelo junto aos estudantes que é a bobina de Tesla. Este dispositivo cria fortes faíscas e estalos devido à alta voltagem gerada em seus terminais. Com este experimento objetivamos demonstrar que a bobina de Tesla pode ser utilizada como um recurso didático para auxiliar no aprendizado de diversos assuntos do eletromagnetismo. Para isto, mostraremos como construir e como funciona a bobina de Tesla, além de discutir diversos experimentos possíveis de serem realizados.

De acordo com Laburú e Arruda (2004, p. 217):

*A bobina de Tesla nos dá a oportunidade de visualizar certos efeitos elétricos interessantes, em virtude de ampliá-los e simulá-los, estimulando, de certo modo, a curiosidade pelo estudo em pauta. Apesar de os fenômenos eletromagnéticos ligados à bobina se basearem em princípios eletrodinâmicos, analogias podem ser feitas à eletrostática, ampliando a aplicação demonstrativa do aparelho.*

Os materiais para a construção de uma bobina de Tesla são facilmente encontrados no mercado. O uso da mesma como recurso didático permite ao professor trabalhar com a interdisciplinaridade, pois alguns experimentos envolvem conceitos de outras disciplinas. O campo eletromagnético formado pela bobina de Tesla permite demonstrações elétricas fascinantes para os alunos.

Porém, como um recurso didático a bobina de Tesla também precisa de intervenções feitas pelo professor. O mesmo, ao fazer uso desse recurso didático deve associar o conhecimento construído em sala de aula com assuntos do dia-a-dia dos alunos. Segundo Moreira e Masini (1982, apud Praia, 2000, p. 123) “é um processo pela qual a nova informação se relaciona com um aspecto relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo.”

A partir dessas considerações, busca-se responder a seguinte pergunta: Como utilizar a bobina de Tesla para auxiliar nos estudos sobre conteúdos relacionados ao eletromagnetismo?

Podemos seguir vários caminhos para responder a pergunta. Assim, partimos das hipóteses que a bobina de Tesla pode auxiliar o professor em sala de aula dos seguintes modos:

1) Usando todas as partes da bobina ou separando a bobina em pontos-chaves para explicar conteúdos específicos. Por exemplo, pode-se usar o transformador da bobina de Tesla para trabalhar temas como transformação de tensão, a corrente nos circuitos de corrente alternada nos quais é instalado, ou mesmo o assunto de indução eletromagnética. A mesma ideia se estende aos outros elementos como capacitor, ao fio terra, ao centelhador etc. Assim, a estrutura do experimento já envolve uma série de questões e conceitos de eletromagnetismo tais como transformadores, diferença entre corrente alternada e contínua, capacitância, indução eletromagnética, aterramento, polarização de núcleos de ferro entre outros.

2) Podemos ainda utilizar a bobina de Tesla como um aparelho que permite realizar experimentos e discutir temas a partir deles. Assim, pelo funcionamento do experimento podem-se trabalhar ainda outros assuntos tais como rompimento do dielétrico do ar, correntes em sólidos, líquidos e gases, poder das pontas, produção de ondas eletromagnéticas e etc. Cada um desses assuntos é uma conexão para um leque de outros conceitos e aplicações do eletromagnetismo. Deste modo, a partir de um experimento é possível perpassar por assuntos das áreas da eletrostática, correntes elétricas, magnetismo e eletromagnetismo. Em outras palavras, é possível se aprofundar em um experimento de modo a incluir todos os temas do eletromagnetismo. “É um aparelho ideal para explorar nos alunos e no público leigo dimensões emocionais de modo motivador e desafiador. Contribuindo e servindo, assim, como facilitador da aprendizagem formal e informal.” (Souza e Silva, 2012, p.13)

A relevância dessa pesquisa encontra-se em proporcionar ao professor novas maneiras de explicar ou complementar os assuntos abordados em sala de aula. Neste trabalho não se procura verificar questões relacionadas a aprendizagem significativa, somente as possíveis demonstrações que poderão ser abordadas pelo professor em sala de aula.

## **2. OBJETIVOS**

**2.1 OBJETIVO GERAL:** Utilização da bobina de Tesla como um recurso didático para auxiliar o professor na explanação de diversos temas da eletricidade e magnetismo do ensino médio.

## 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

**2.2.1** Apresentar a construção e descrição do funcionamento da bobina de Tesla;

**2.2.2** Apresentar experimentos alternativos de eletrostática e corrente em sólidos, líquidos e gases utilizando a bobina.

## 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Inicialmente apresentaremos resumidamente quem foi Nikola Tesla e, em seguida, informações a respeito da construção, estrutura e funcionamento da bobina de Tesla, e posteriormente realizaremos estudos sobre os experimentos e seu emprego em sala de aula. Como esse trabalho se trata do uso da bobina de Tesla no ensino do eletromagnetismo, conteúdos que estejam ligados diretamente a esse assunto serão selecionados para posteriormente serem estudados detalhadamente. São eles:

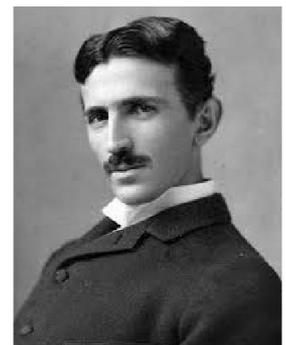
- Quebra da rigidez dielétrica do ar;
- Centelhamento e ruído;
- Lâmpada fluorescente e ionização do ar: globo de plasma;
- Criação de elementos: ozônio.

Os experimentos foram desenvolvidos no laboratório de Geociências e Física da Faculdade UnB Planaltina da Universidade de Brasília com o objetivo de verificar se seriam bem sucedidos e de fácil demonstração em sala de aula por professores que decidam utilizar a bobina como um recurso didático.

## 4. QUEM FOI NIKOLA TESLA

De acordo com o livro *Minha invenções – A autobiografia de Nikola Tesla*, o mesmo foi um inventor e cientista croata, responsável por diversas contribuições na área do eletromagnetismo. Diversos equipamentos elétricos

Figura 1 - Nikola Tesla



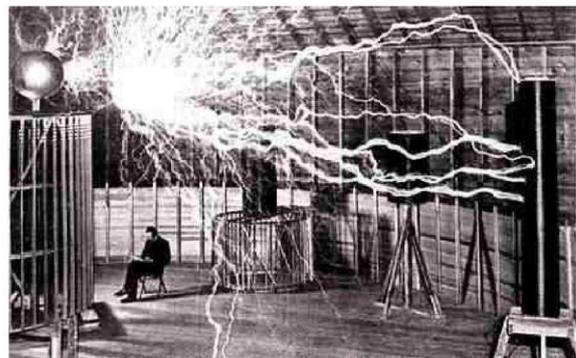
Fonte 1:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Nikola\\_Tesla](http://en.wikipedia.org/wiki/Nikola_Tesla)

conhecidos atualmente, tais como um simples controle remoto até os modernos sistemas de produção e distribuição de eletricidade transmitida em corrente alternada, foram o resultado de estudos feitos por Nikola Tesla. Além de ter influenciado os estudos sobre a eletricidade, ele acreditava que seria possível transmitir energia elétrica sem necessidade de fios para todo o planeta.

Nikola Tesla nasceu na Croácia no dia 10 de julho de 1856 à meia-noite, e segundo informação dele próprio, em meio a uma forte tempestade de raios. Em 1884, quando Tesla se mudou para os Estados Unidos foi contratado pelo inventor Thomas Edison. Uma das atividades desenvolvidas por Tesla era redesenhar os geradores elétricos da empresa de Edison por cinquenta mil dólares. Porém, ao terminar seu trabalho dos geradores, Edison não pagou o que devia a Tesla, e esse pediu demissão. A rede elétrica da cidade era formada por muitos fios e cabos, o que deixava Nikola Tesla incomodado. Naquela época o sistema elétrico funcionava pelo uso da corrente contínua, que é o fluxo ordenado de elétrons em uma única direção. Motivado pelo desejo de descobrir uma maneira de transmitir corrente elétrica sem a utilização de muitos fios, Tesla iniciou novos estudos para inventar um sistema de rede elétrica mais eficaz. A corrente contínua não era capaz de ser transmitida por grandes distâncias, pois a perda de energia na resistência ao longo dos cabos é grande. Para aumentar a eficiência da transmissão é necessário diminuir a corrente, e essas mudanças não são simples em corrente contínua. Tesla, junto a George Westinghouse, desenvolveram um sistema de transmissão de eletricidade em altas voltagens utilizando a alternância no sentido da corrente elétrica em pequenos intervalos de tempo. Isto possibilitava a transmissão de corrente elétrica por longas distâncias de modo mais eficiente. Esse tipo de corrente é a chamada corrente alternada. Com a descoberta da corrente alternada, Tesla construiu um gerador que alternava a corrente elétrica, em sessenta ciclos por segundo, entre os polos positivo e negativo.

Thomas Edison ao descobrir a invenção de Tesla, lançou uma propaganda publicitária mostrando o quão perigosa poderia ser a corrente

Figura 2 - Nikola Tesla e a Bobina de Tesla



Fonte 2:  
<http://www.feiradeciencias.com.br/cientistas/tesla.asp>

alternada, alegando que se faziam experiências eletrocutando animais com uso da mesma. Na primeira pena de morte por eletrocussão, Edison convenceu as autoridades para usarem a corrente inventada por Tesla. Desse modo, Thomas Edison convenceu a população que a corrente alternada era perigosa para tê-la em suas redes elétricas domésticas.

Como uma de suas ideias era a transmissão de energia elétrica sem fio pelo planeta Terra, em 1891, Tesla patenteou uma invenção na qual ele acreditava poder transmitir a energia elétrica para todo o mundo, invenção essa conhecida por bobina de Tesla. A bobina de Tesla tem a função de aumentar a voltagem por ela recebida, mas para isto, ela diminui a corrente recebida. Tesla tinha em mente usar a própria Terra como um condutor de eletricidade para enviar energia para qualquer lugar do planeta, utilizando sua invenção da bobina para isso. Tesla fez alguns experimentos no estado do Colorado, EUA. Com uma bobina de Tesla ligada na rede elétrica do Colorado, ele conseguia produzir mais de doze milhões de volts. Dessa maneira, Tesla conseguiu acender lâmpadas em até um quilômetro e meio de distância.

Em 1893, Tesla venceu a licitação para iluminar a feira mundial de Chicago. Thomas Edison se recusou a deixar Nikola Tesla usar a sua patente das lâmpadas elétricas, e para isso ele precisou inventar uma nova lâmpada elétrica para ser usada na iluminação da feira. Edison patenteou o método de levar energia da base de rosca da lâmpada e da selagem retirando o ar. Tesla, por sua vez, fez uma base de vidro em sua lâmpada e os fios passavam por entre a base. Dessa maneira Tesla criou uma nova lâmpada para ser usada na iluminação da feira de Chicago. Nesse mesmo evento, Tesla apresentou a lâmpada fluorescente, que durava mais tempo que a lâmpada de Edison e esquentava menos.

Em 1901, Tesla iniciou a construção da rede sem fio de energia. Havia um laboratório, uma estação de energia elétrica e uma torre de 57 metros de altura, a Wardenclyffe. A estação enviava energia para uma bobina de Tesla

Figura 3 - Torre Wardenclyffe



Fonte 3:<http://www.asfaltika.mx/2013/07/nicola-tesla-el-nerd-con-corazon.html>

que estava localizada na torre e abaixo da mesma haviam barras enterradas a trinta e cinco metros de profundidade para transmitir a voltagem no solo. Para que houvesse energia sem fio circulando pelo planeta, seria necessária a construção de outros projetos hidroelétricos espalhados pelo mundo. Porém, para que Tesla terminasse a construção da Wardenclyffe era necessário que alguém investisse em seu projeto. Tesla pediu ao empresário J.P. Morgan que investisse na torre, alegando que essa o renderia muito dinheiro com as transmissões que seriam feitas. No entanto, Guglielmo Marconi, utilizando dezessete patentes de Tesla, conseguiu transmitir um sinal de rádio pelo atlântico. Dessa forma, Morgan não investiu na construção da torre de Tesla e pela falta de dinheiro, o projeto Wardenclyffe foi abandonado e destruído.

O gerador de energia padrão do mundo também foi criação de Nikola Tesla. Trata-se de um motor de indução que é usado em diversos eletrodomésticos e fábricas industriais. Usando a energia fornecida pela queda da água nas cataratas do Niágara, Tesla construiu um conjunto de sistemas de geradores para produzir corrente alternada. Além dessas criações, Nikola Tesla criou a ignição elétrica para motores a gás, criou o controle remoto usando ondas de rádio, entre outras invenções. Tesla fez experiências com radiação de raios-X anos antes de Wilhelm Roentgen anunciar sua descoberta do uso dos raios-X. Com base em seus estudos, ele previu que o uso inconsciente do combustível fóssil, acabaria com o mesmo rapidamente e que se precisariam encontrar outras fontes renováveis de energia. Em 1931, escreveu um artigo chamado “O futuro da energia, uma análise de como usar os recursos naturais da Terra” para a revista do The New York Times.

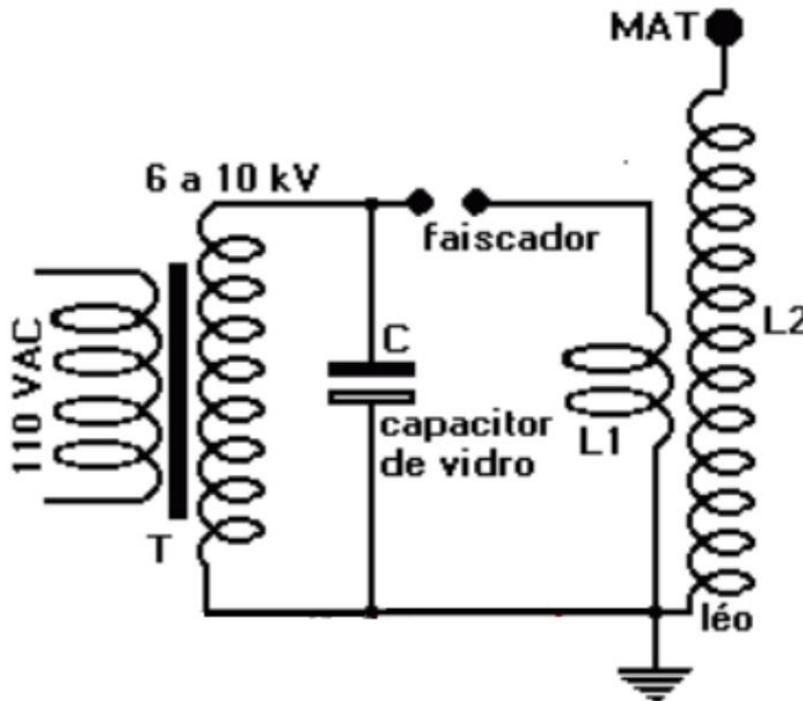
Tesla faleceu sozinho no quarto de hotel em que morava, porém não se sabe ao certo a data do seu falecimento. Depois de sua morte, as autoridades americanas confiscaram suas anotações, pois temiam que as informações caíssem em mãos erradas. Algumas de suas anotações se encontram no museu Nikola Tesla em Belgrado, Sérvia, outras estão desaparecidas.

## **5. FUNCIONAMENTO DA BOBINA DE TESLA**

A bobina de Tesla, construída por volta de 1890, eleva a tensão recebida pela rede elétrica a milhares de vezes. O esquema da bobina está apresentado na figura 4.

Um fio advindo da rede elétrica, passa, primeiramente, por um transformador (T) que eleva a voltagem elétrica de 220V até 12.000V em média. O valor de saída pode variar, de modo que existem bobinas que utilizam 6kV, 15kV etc. E quase

Figura 4 - Circuito Esquemático



Fonte 4: [http://www.feiradeciencias.com.br/sala14/14\\_01.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/sala14/14_01.asp)

sempre é utilizado um transformador de lâmpadas neon muito usado em painéis luminosos de lojas.

A saída do transformador está ligada em paralelo a um capacitor (C) que tem a função de armazenar energia, e o circuito está aberto na região do faiscador (também chamado de centelhador). A medida que a energia

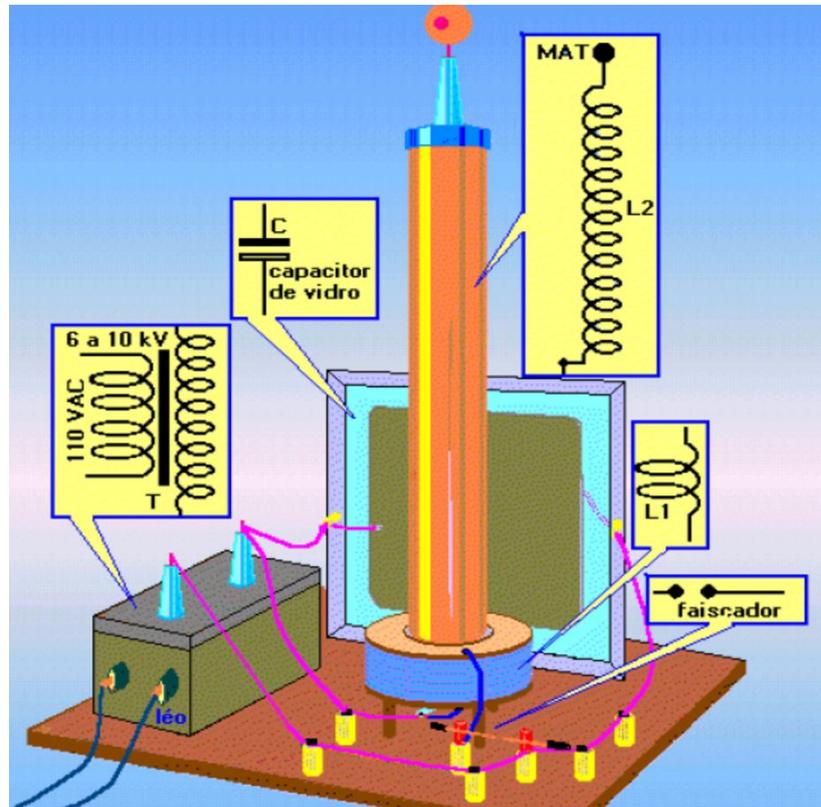
armazenada aumenta, proporcionalmente, aumenta a voltagem do capacitor, e em consequência, a voltagem entre as pontas do faiscador. A voltagem aumenta até atingir a tensão que provoca a ruptura do dielétrico do ar. Quando isso acontece, o circuito se fecha pelo faiscador e ocorre um pico de corrente elétrica, visualmente provocando uma faísca.

Neste pico de corrente elétrica ocorre uma grande variação do campo magnético criado pela bobina primária (L1). Esta variação do campo magnético atingirá a bobina secundária (L2), o que causará uma indução eletromagnética na bobina secundária provocando uma voltagem induzida nas suas extremidades. Esta voltagem é muito alta, pois a variação do campo magnético de L1 é muito grande, e o número de espiras da bobina secundária é alto, cerca de 1000 espiras. A tensão elevada na bobina secundária pode atingir 250.000 volts.

## 6. CONSTRUÇÃO DA BOBINA DE TESLA

A bobina de Tesla pode ser dividida em seis partes: base, bobina primária, bobina secundária, capacitor, centelhador e transformador de néon. Abaixo seguem os materiais utilizados na construção da mesma:

Figura 5 - Legenda sobre as partes da bobina



Fonte 5: [http://www.feiradeciencias.com.br/sala14/14\\_01.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/sala14/14_01.asp)

#### Base:

Madeira compensada de 60cm x 60cm x 2 cm;  
4 rodas de nylon;

#### Bobina Primária:

Tubo de PVC com 6 polegadas de diâmetro e 11 centímetros de comprimento;  
Fio condutor número 12;

#### Bobina Secundária:

Tubo de PVC com 4 polegadas de diâmetro e 1 metro de comprimento;  
Fio de cobre esmaltado #22 ou #24 ou #26;  
Duas tampas plásticas para as extremidades do fio;  
Objeto esférico encapado com papel alumínio;

**Capacitor:**

- Placa de vidro plano de 45x45 cm;
- Duas folhas de alumínio 38x38 cm;
- 4 cantoneiras

**Centelhador:**

- Fio condutor número 12 para fazer o terminal metálico (o mesmo usado na bobina primária);
- 2 bases de madeira ou plástico;
- Isolador cerâmico ou um prendedor de roupas plástico;

**Transformador:** 110/220 V de entrada e 10kV, 30 mA de saída;

**Materiais para uso geral:**

- Verniz;
- Fita isolante;
- Parafusos auto atarr. com ponta ab;
- Cola quente.

Para a montagem de base foram aplicados 3 demãos de verniz na madeira compensada. Cada roda de nylon foi fixada em um canto da madeira.

**Figura 6 - Base de madeira**



**Fonte 6 - Elaborado pelos autores**

Em seguida, será montada a bobina secundária. Assim como na base, o tubo de PVC também precisou ser envernizado, seis demãos são recomendadas para esse processo. O fio de cobre esmaltado #22 foi usado para ser enrolado ao tubo de PVC, ocupando uma extensão de aproximadamente 86 cm. Nesse momento da montagem, o fio de cobre deve ficar bem esticado e com as espiras bem unidas. É importante que uma espira não fique sobreposta a outra e que não tenha espaços entre elas. Após enrolar o fio de cobre e prender as suas extremidades com uma fita

isolante aos espaços livres do cano, novas demãos de verniz foram passadas no mesmo. Para finalizar, as tampas plásticas foram encaixadas nas extremidades do cano de PVC e o tubo foi afixado na base.

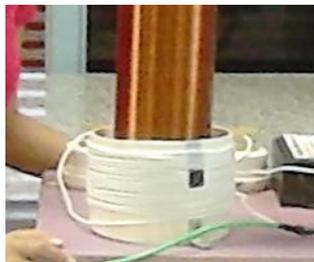
**Figura 7 - Bobina Secundária**



**Fonte 7 - Elaborado pelos autores**

A bobina primária foi a última a ser montada. Primeiro esse foi fixado na base de madeira com duas cantoneiras. Com o fio condutor, quinze voltas foram dadas no cano de PVC, ocupando um espaço de 7 cm, como pode ser observado na figura 8.

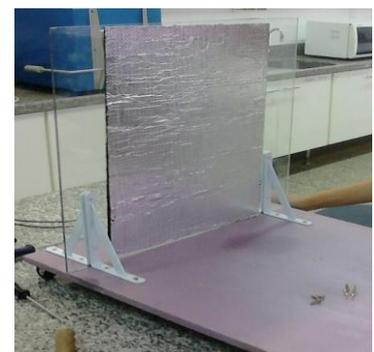
**Figura 8 - Bobina Secundária**



**Fonte 8 - Elaborado pelos autores**

Na montagem do capacitor, as duas folhas de alumínio foram coladas na placa de vidro, uma em cada face do vidro. As cantoneiras foram fixadas na base de madeira de duas a duas, de modo que a placa de vidro se encaixasse entre elas. Veja na figura 9.

**Figura 9 - Capacitor**

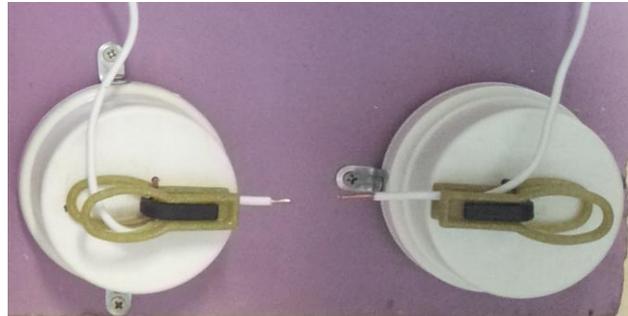


**Fonte 9: Elaborado pelos autores**

Para montar os terminais elétricos do centelhador, foi necessário desencapar o fio de cobre grosso encapado. As duas bases de plástico foram presas a base de madeira com aproximadamente 5 cm de

distância, e sobre elas, os prendedores de roupas foram fixados. Um em cada base. Os terminais elétricos encontram-se presos aos prendedores de roupas.

**Figura 10: Centelhador**



**Fonte 10: Elaborado pelos autores**

Finalizando a construção da bobina de Tesla, o transformador de néon foi atado a base de madeira. As ligações elétricas necessárias para o funcionamento da bobina seguem o esquema apresentado na seção 5 (funcionamento da bobina de Tesla).

**Figura 11 - Aspecto Final da Bobina de Tesla**



**Fonte 11: Elaborado pelos autores**

## 7. PERIGOS

Deve-se tomar muito cuidado, primeiramente, com a saída do transformador. Evitar ajustar a bobina quando essa estiver conectada a tomada, principalmente ajustes em relação ao espaço da centelha do faiscador.

A intensidade da corrente da bobina é de poucos centésimos do

microampères embora a tensão de saída seja da ordem de 30 a 40 kV não é mortal, mas pode causar pequenos choques. Quando em funcionamento, evitar a aproximação de crianças sem o acompanhamento de um instrutor.

Aconselha-se não deixar a bobina ligada por muito tempo e trabalhar com a mesma em local arejado, pois a bobina de Tesla produz ozônio.

## 8. EXPERIMENTOS

Nesta seção apresentaremos diversos temas importantes de serem trabalhados utilizando a bobina de Tesla.

### 8.1 Por que saem raios da bobina? Quebra da rigidez dielétrica do ar.

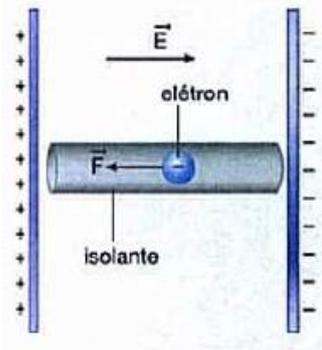
Nesta subseção apresentaremos o motivo de saírem raios da bobina de Tesla. Diversos conceitos podem ser trabalhados e aprofundados para se responder a esta questão, como: condutores e isolantes elétricos, rigidez dielétrica de um material, campo elétrico, corrente elétrica, raios em geral, para-raios, etc.

O conceito de dielétrico está relacionado a um corpo isolante. Um material será considerado isolante se não houver elétrons livres no mesmo, o que não permite o livre movimento das cargas elétricas. Em outras palavras, os elétrons de um material isolante ou dielétrico estão presos ao núcleo dos átomos. Porém, se um corpo isolante for submetido a um determinado valor de campo elétrico, esse campo exercerá uma força sobre os elétrons e próton que tenderá alongar o átomo. Este processo é chamado de polarização e está representado pela figura 12. Porém, se o campo elétrico for forte o suficiente, é possível arrancar os elétrons da atração ao núcleo. Quando ocorre isto, o material que era isolante se torna um condutor elétrico.

Assim, denominamos *rigidez dielétrica de um material* como sendo o valor máximo do campo elétrico que um corpo isolante pode suportar sem se tornar condutor. Cada material isolante possui um valor distinto para a sua rigidez dielétrica.

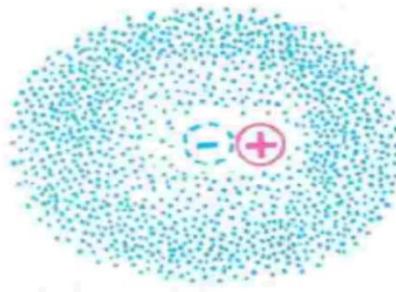
O ar é considerado isolante, porém sua rigidez dielétrica tem o valor de  $3 \times 10^6$  N/C, ou seja, quando esse valor de campo elétrico é ultrapassado o ar se torna um condutor. Ao se tornar um condutor, o ar apresentará uma grande quantidade de elétrons livres e íons positivos. Na figura 14 nota-se que esses íons são atraídos pelas placas carregadas positiva e negativamente e movimentam-se através do ar.

Figura 12



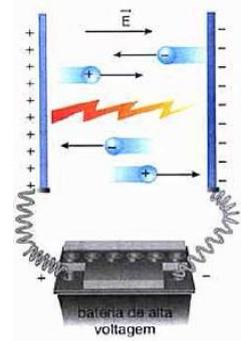
Fonte 12: Alvarenga, Beatriz (2006); Física Ensino Médio volume 3 São Paulo; Editora Scipione

Figura 13



Fonte 13: Hewitt cap. 22 (eletrostática)

Figura 14



Fonte 14: Alvarenga, Beatriz (2006); Física Ensino Médio volume 3 São Paulo; Editora Scipione

Esse movimento provoca uma descarga elétrica de uma placa para a outra. Esse fato é facilmente observado por meio dos relâmpagos, figura 15 onde uma nuvem fica carregada negativamente e induz uma carga positiva na superfície da Terra formando um campo elétrico cujo valor ultrapassa a rigidez dielétrica do ar, provocando o relâmpago.

Utilizando a bobina de Tesla, a quebra da rigidez dielétrica do ar é facilmente percebida quando essa está em funcionamento, figura 16. A esfera encapada com papel alumínio, localizada na parte superior da bobina secundária, libera descargas elétricas. Isso ocorre porque a alta tensão gerada na bobina secundária gera um campo elétrico de valor maior do que os  $3 \times 10^6$  N/C suficiente para romper o dielétrico do ar.

Figura 15 – Raio



Fonte 15:  
<http://ultradownloads.com.br/listagem/fenomenos-da-natureza/12,118,2,,,2,2,1.html>

Figura 16 – Bobina de Tesla em funcionamento



Fonte 16: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Bobina\\_de\\_Tesla](http://pt.wikipedia.org/wiki/Bobina_de_Tesla)

## 8.2 Por que os raios são luminosos e barulhentos? Centelhamento e ruído

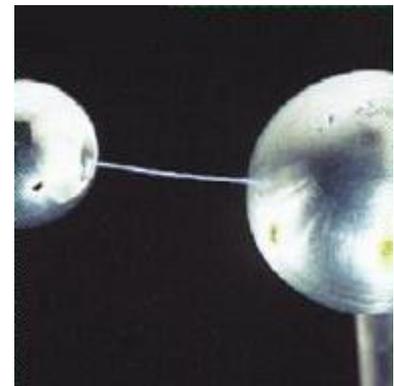
Ainda sobre a questão dos raios emitidos pela bobina de Tesla, podemos trabalhar sobre os motivos dos raios serem luminosos e emitirem um som. A questão parece simples, mas diversos assuntos podem ser trabalhados a partir destes pequenos fenômenos, como por exemplo: configuração atômica, excitação e relaxação atômica, níveis energéticos do átomo, linhas de emissão de um elemento, dilatação, efeito joule, ondas de pressão e som, etc.

Quando ocorre uma descarga elétrica no ar, tal como analisamos na subseção anterior, surge uma corrente de elétrons livres e íons positivos. Os elétrons livres por serem mais leves, alcançam grandes velocidades, e se chocam com átomos do ar. Neste choque há uma transferência de energia aos átomos, de modo que os elétrons atômicos mais internos passam a ocupar camadas mais externas. Este processo é chamado de excitação atômica. Quando o elétron decai para camadas mais internas, há uma emissão de onda eletromagnética.

Quando a emissão de ondas eletromagnéticas é na faixa do visível, ou seja, luz, ocorre o fenômeno chamado centelhamento. O centelhamento pode ter vários nomes dependendo do fenômeno, por exemplo, relâmpago quando é no caso do raio, faísca em eletrostática.

Quando ocorre a descarga elétrica o recém condutor, ou seja, o ar, se aquece pela corrente elétrica que passa. Este fenômeno de aquecimento devido a corrente elétrica é chamado de efeito Joule. Quando o ar é aquecido ocorre uma súbita dilatação dele, o que gera uma expansão brusca, criando uma onda de pressão do ar, ou seja, som. Como a dilatação foi brusca, o som é recebido pelo observador como um estrondo, um ruído. Na escala atmosférica é o trovão, em eletrostática são os estalos das faíscas, na bobina de Tesla, são ruídos. A figura 17 ilustra esse fato.

**Figura 17 - Centelhamento**



**Fonte 17:**  
<http://www.mecatronicaatual.com.br/educacao/1318-centelhamento>

O centelhamento e ruído na bobina de Tesla ocorrem por meio da esfera encapada com papel alumínio localizada na extremidade da bobina secundária. A trajetória luminosa do raio liberado na esfera representa o centelhamento, e que por

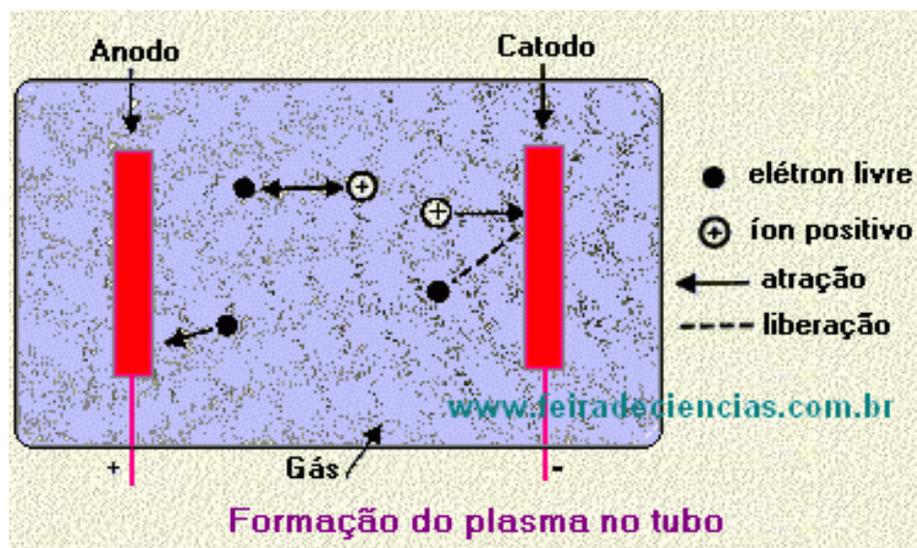
consequência vem acompanhado do barulho que é o ruído. Ainda utilizando a bobina, podem-se demonstrar esses fenômenos quando o circuito da bobina de Tesla se fecha pelo centelhador liberando uma faísca.

### 8.3 Lâmpada fluorescente e ionização do ar: globo de plasma

O fenômeno dos raios na bobina de Tesla provoca a seguinte reflexão: seria possível criar um aparelho onde os raios fossem emitidos de modo contínuo, controlado e que com isto fornecesse luz? Sim, é possível, e uma aplicação são as lâmpadas fluorescentes.

No interior de uma lâmpada fluorescente há um gás de mercúrio a baixa pressão. Ao analisar a figura 18 abaixo, observa-se que há dois eletrodos. Quando aplicado uma tensão suficientemente alta formam-se íons e elétrons livres, em outras palavras, devido a alta voltagem, o gás no interior da lâmpada fluorescente se torna condutor.

Figura 18 - Formação do plasma em um tubo



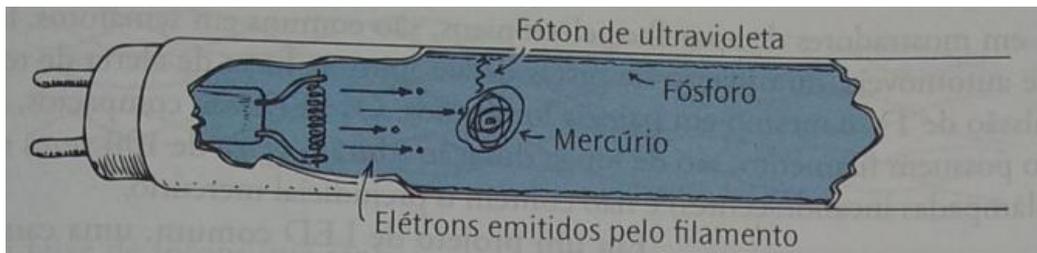
Fonte 18: [http://www.feiradeciencias.com.br/sala14/14\\_19.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/sala14/14_19.asp)

Analisemos primeiramente a constante criação de íons na lâmpada fluorescente. Os íons positivos e os elétrons tenderão a se mover respectivamente em direção ao eletrodo carregado negativamente (catodo) e positivamente (anodo). Os íons se chocarão entre si e contra o eletrodo, e como consequência, haverá liberação de elétrons que por sua vez serão acelerados provocando ionização de novos átomos. Dessa forma constantemente há a criação de novos pares íons/elétrons. O mesmo acontece aos elétrons quando se chocam no eletrodo, pois

ocorrerá a liberação de elétrons secundários e conseqüentemente, acelerará o processo de ionização. Essa substância formada por íons e elétrons livres é denominada por plasma.

Levando em consideração o movimento de cargas, esse gás se torna condutor. Porém, para que uma lâmpada fluorescente acenda, é necessário que ocorra emissão de radiação eletromagnética acompanhado dos outros processos. Um efeito causado pelo choque é a excitação de átomos, e quando estes relaxam há a emissão de radiação eletromagnética. No caso do mercúrio, ocorre emissão, principalmente, na faixa do ultravioleta. Para converter o ultravioleta em luz visível, há um revestimento de fósforo na parte interna da lâmpada. O fósforo absorve o ultravioleta e decai aos poucos emitindo luz na faixa do visível.

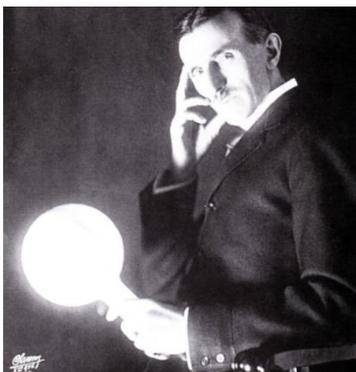
**Figura 19 - Lâmpada Fluorescente**



**Fonte 19:** Hewitt cap. 30 (emissões luminosas).

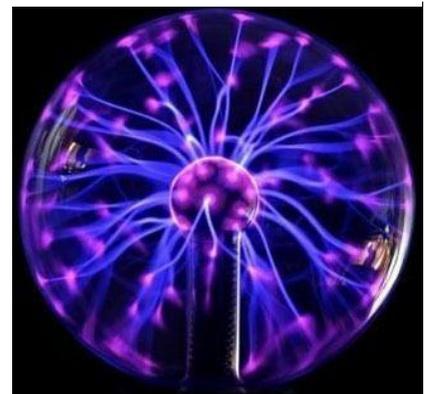
Para ilustrar esse fenômeno usando a bobina de Tesla, basta aproximar uma lâmpada fluorescente da mesma. Não é necessário encostar a lâmpada na bobina. O forte campo elétrico gerado pela bobina acelera os elétrons livres e íons no interior da lâmpada, provocando o mesmo processo que ocorreria se a lâmpada estivesse ligada na tomada. Esta é a explicação de como Tesla conseguia acender uma lâmpada somente segurando nelas, atitude que na época causava grande admiração, figura 20.

**Figura 20 - Tesla ascendendo uma lâmpada**



**Fonte 20:**  
<http://www.bpiropo.com.br/fpc20090105.htm>

**Figura 21 - Globo de plasma**



**Fonte 21:**  
<http://www.preciolandia.com/br/plasma-ball-globo-de-plasma-light-sphere-8ja4ol-a.html>

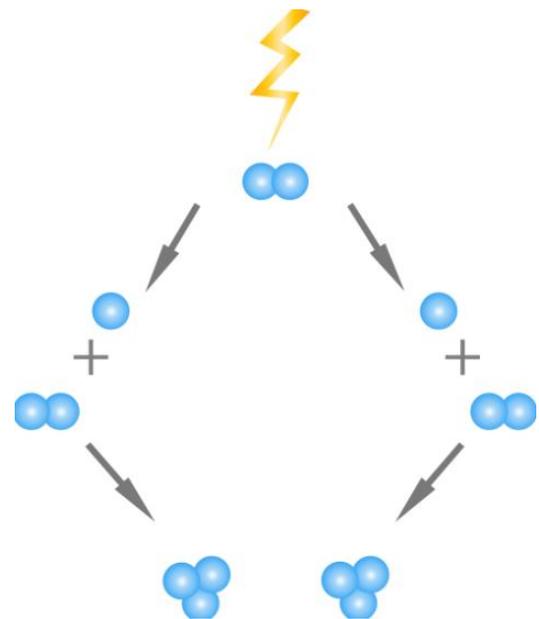
Analisamos o funcionamento de uma lâmpada fluorescente, porém o mecanismo é igualmente usado em diversas aplicações como lâmpadas de neônio e os globos de plasmas, figura 21.

#### 8.4 Criações de moléculas. Ozônio

Na região onde ocorrem as descargas na bobina de Tesla há uma grande corrente elétrica formada tanto por elétrons livres quanto íons. A corrente provoca uma série de choques com as moléculas do ar, e provoca a formação de moléculas. Como exemplo, há a geração de ozônio ( $O_3$ ), pois nesse processo, algumas moléculas de oxigênio ( $O_2$ ) são quebradas, ou seja, uma molécula do gás oxigênio é dividida em dois átomos de oxigênio. Esses átomos se ligam a outras moléculas de  $O_2$  que não foram quebradas, e devido a isto há formação de ozônio, figura 22.

Na estratosfera da Terra, em média entre 20 e 35 km de altitude, existe uma camada com alta concentração ozônio. A camada de ozônio possui uma importância vital para a vida no planeta, pois filtra os energéticos raios ultravioletas, e assim protege os organismos vivos contra a sua exposição. O ozônio atmosférico dessa camada é formado pelo mesmo processo do que o apresentado na bobina de Tesla. Isso porque a Terra recebe do espaço interplanetário os chamados raios cósmicos, que são feixes de partículas e íons altamente energéticos advindos principalmente dos ventos solares. Esses raios se chocam com as partículas na alta atmosfera, e através do mesmo processo analisado anteriormente gera-se ozônio criando assim uma camada de ozônio.

Figura 22 - Formação do ozônio



Fonte 22:  
[http://ozoniobras.ind.br/centro\\_ver.php?id=11](http://ozoniobras.ind.br/centro_ver.php?id=11)

## 9. DISCUSSÕES

A criação de uma bobina de Tesla com o objetivo de ser utilizada como um

recurso didático no ensino do eletromagnetismo se faz necessária pelo fato de os alunos poucos se interessarem pela disciplina de Física no ensino médio. Uma metodologia adequada de ensino pode transformar a visão de que a Física é algo difícil, e despertar nos estudantes o interesse na busca desses conhecimentos (Souza e Silva, 2012).

Utilizar experimentos como recursos didáticos nas aulas de eletromagnetismo ainda são pouco frequentes nas escolas, e muitas vezes, nunca realizados. Dentre os motivos enumera-se a falta de equipamentos para demonstração de alguns experimentos (Laburú e Arruda, 2004), a falta de laboratórios em algumas escolas, falta de preparo dos professores em sua formação acadêmica para trabalhar com experimentação, entre outros motivos. Não se busca nesse trabalho investigar se a bobina de Tesla contribui ou não para que ocorra a aprendizagem significativa, mas sim trazer uma alternativa para auxiliar na construção do aprendizado acerca do eletromagnetismo.

Os quatro experimentos propostos aqui são apenas uma amostra diante do que se pode trabalhar com a bobina de Tesla. Cada experimento permite que o aluno visualize alguns conceitos teóricos e façam associações com acontecimentos do dia-a-dia. Um bom exemplo sobre isso é a questão do rompimento do dielétrico do ar, os alunos estão acostumados a verem raios e trovões em dias chuvosos, mas muito deles não sabem ao certo como isso ocorre. A visualização dos raios liberados pela bobina de Tesla predispõe a ocorrência desse tipo de associação.

Questões sobre a camada de ozônio são abordadas na escola, mídia, internet, jornais e outros meios de comunicação, mas nem sempre fica claro aos alunos como o ozônio é formado. A bobina de Tesla produz ozônio e os alunos poderão sentir seu cheiro característico. Aproveitando esse fenômeno, o professor poderá induzir os alunos na investigação do caso. Pesquisas poderão ser feitas sobre o processo de formação do ozônio, bem como produção de relatórios sobre essa formação pela bobina de Tesla.

Questões sobre o campo eletromagnético também são facilmente abordadas no experimento com a lâmpada fluorescente, tais como intensidade, ionização do ar e de gases, altas frequências, anodo e catodo, e tantos outros. Em centelhamento e ruído, abordagens sobre os pequenos choques que às vezes pode-se sentir ao abrir a porta do carro, ou tocando na maçaneta de uma porta serão mais bem vislumbrados pelos estudantes, assim como a justificativa de porque isso acontece.

Trabalhar com a observação, a investigação, a identificação de problemas a serem resolvidos, e a partir de então, compreender os acontecimentos a nossa volta, é o que os experimentos, incluindo a bobina de Tesla, podem proporcionar. A disciplina de Física tem suas próprias peculiaridades de compreender o mundo, e de acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais – PCN's (BRASIL, 1997) “aprender essa maneira de lidar com o mundo envolve competências e habilidades específicas relacionadas à compreensão e investigação em Física”.

Segundo Marques (2002):

Os efeitos produzidos pelas altas voltagens geradas pela Bobina de Tesla são uma das mais espetaculares ilustrações que se pode realizar em Física ou em Engenharia Elétrica e ainda permite a exploração de conceitos como a quebra da rigidez dielétrica do ar/ionização de gases (relâmpagos artificiais, plasmas), circuitos ressonantes e transmissão e recepção de energia pelo ar através de ondas eletromagnéticas, ilustrando os princípios da rádio difusão.

Para melhorar a qualidade dos dados dessa pesquisa, talvez fosse necessário fazer uma pesquisa sobre a aprendizagem significativa que a bobina de Tesla pode promover com alunos do ensino médio. Porém, como recurso didático, acreditamos que a bobina é uma alternativa muito válida para despertar o interesse dos estudantes, pelo motivo de ser algo diferente do usual e pela sua grandiosidade na abordagem de inúmeros assuntos.

## **10. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A relevância dessa pesquisa encontra-se na utilização de uma bobina inventada por Nikola Tesla por volta do ano de 1890, como um recurso didático para auxiliar o ensino de temas do eletromagnetismo, despertando o interesse dos alunos do ensino médio para esses conteúdos específicos da Física. No processo educativo é muito importante que o professor busque novas maneiras de abordagem dos conteúdos que não se baseiem somente em aulas expositivas.

Muitos conteúdos de física, não só o eletromagnetismo, teriam suas dificuldades sanadas se fossem tratados de maneira mais experimental de modo que os estudantes se familiarizassem com os conteúdos. A bobina de Tesla é capaz

de promover essa familiaridade visto que os alunos poderão manusear alguns dos experimentos e os conteúdos abstratos serão mais bem compreendidos e assimilados. Outro ponto importante é o fato de não ser preciso o uso de um laboratório para realizar as experimentações, essas podem ser feitas em sala de aula.

Apesar dos objetivos terem sido alcançados, novas pesquisas devem ser realizadas a respeito da aprendizagem significativa. Um recurso didático precisa aproximar o estudante da realidade, oferecer informações, ilustrar noções mais abstratas, propor novas conexões e a bobina de Tesla cumpre com esses requisitos. No entanto, um recurso didático precisa favorecer a fixação da aprendizagem, e por essa pesquisa não foi possível aferir se a bobina cumpre com essa função. Apesar da carência no que tange a aprendizagem significativa, a pesquisa aqui realizada poderá servir como suporte para aqueles professores que buscam uma maneira alternativa de ensinar questões sobre o eletromagnetismo.

## 11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, Beatriz; MÁXIMO, Antônio, **Física Ensino Médio Volume 3** – 1ª Ed. São Paulo: Scipione, 2006

BRASIL, Ministério da Educação e Cultura - Secretaria de Educação Básica. **Parâmetros Curriculares Nacionais – do Ensino Médio – PCNEM+**. Brasília, SEF/MEC, 2000.

HEWITT, P. G, **Física Conceitual**. 9ª Edição. Porto Alegre: Bookman, 2002.

LABURÚ, Carlos Eduardo; ARRUDA, Sérgio de Mello. **A Construção de uma bobina de Tesla para o uso em demonstrações na sala de aula** – Cad. Bras. Ens. Fís., v.21, n. especial: p. 217-226. 2004

MARQUES, Gustavo Pires, **Bobina de Tesla: Dos Circuitos Ressonantes LC aos Princípios das Telecomunicações** – Disponível em: <[http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530\\_F590\\_F690\\_F809\\_F895/F809/F809\\_sem1\\_2002/981298GustavoP\\_DavidM\\_Bobina.pdf](http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem1_2002/981298GustavoP_DavidM_Bobina.pdf)> Acesso em: 06 de Junho de 2013

NETO, Luiz Ferraz, **Bobina de Tesla** – Disponível em: <[http://www.feiradeciencias.com.br/sala14/14\\_01.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/sala14/14_01.asp)> Acesso em: 13 de Janeiro de 2014

PRAIA, João Félix, **Aprendizagem significativa em D. Ausubel: Contributos para uma adequada visão da sua teoria e incidências no ensino** – Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 2000.

SOUZA E SILVA, Domingos Sávio, **A versatilidade da bobina de Tesla na prática docente do ensino do eletromagnetismo** - Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, Curso de Física, Fortaleza, 2012.

TESLA, Nikola **Minhas invenções – A autobiografia de Nikola Tesla**, Editora Unesp, 2012