



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ – UECE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA – CCT
CURSO DE LICENCIATURA PLENA EM FÍSICA**

DOMINGOS SÁVIO DE SOUZA E SILVA

**A VERSATILIDADE DA BOBINA DE TESLA NA PRÁTICA DOCENTE DO ENSINO
DO ELETROMAGNETISMO**

FORTALEZA-CE

2012

S586v Silva, Domingos Sávio de Souza
A versatilidade da bobina de Tesla na prática docente do ensino do
eletromagnetismo / Domingos Sávio de Souza Silva . – 2012.
66f. : il. color, enc. ; 30 cm.

Monografia (Graduação) – Universidade Estadual do Ceará,
Centro de Ciências e Tecnologia, Curso de Física, Fortaleza, 2012.
Orientação: Prof^a. Dr^a. Eloisa Maia Vidal.

1. Ensino. 2. Eletromagnetismo. 3. Fenômenos de alta-tensão. 4.
Eletrostática. 5. Eletrodinâmica. 6. Bobina de Tesla. Título.

CDD: 530.11

DOMINGOS SÁVIO DE SOUZA E SILVA

**A VERSATILIDADE DA BOBINA DE TESLA NA PRÁTICA DOCENTE DO ENSINO
DE FÍSICA**

Monografia apresentada ao Curso Acadêmico de Licenciatura Plena de Física do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de licenciado em Física.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Eloísa Maia Vidal

FORTALEZA - CEARÁ
2012

DOMINGOS SÁVIO DE SOUZA E SILVA

A VERSATILIDADE DA BOBINA DE TESLA NA PRÁTICA DOCENTE DO ENSINO
DE FÍSICA

Monografia submetida à Coordenação do Curso de Licenciatura de Física do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de licenciado em Física.

Conceito Obtido: _____

Defesa em: 28/06/2012

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Eloísa Maia Vidal (Orientadora)
Universidade Estadual do Ceará – UECE
Orientadora

Prof. Dr. Emerson Mariano da Silva
Universidade Estadual do Ceará – UECE

Prof. Dr. Antônio Carlos Santana dos Santos
Universidade Estadual do Ceará – UECE

DEDICATÓRIA

A Deus, à minha querida mãe que nunca me deixou desistir, à minha amada esposa e aos meus filhos que, às suas maneiras, me mostraram que amar não é anular-se pelo outro.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me levar nos braços a maior parte da minha estrada.

À minha querida mãe Luiza, pelo incentivo em todos os momentos, principalmente naqueles em os revezes da vida me faziam pensar em desistir.

Ao meu inesquecível pai Gerardo, pelo legado de ensinamentos e valores que hoje norteiam minha vida.

À minha amada esposa Neide, minha metade boa, minha inseparável companheira, amiga presente e auxiliadora, na saúde e na doença, na alegria e na tristeza.

Aos meus filhos Samuel, Sâmia e Sara, pela ajuda decisiva no trabalho manual do protótipo da Bobina de Tesla.

Ao meu irmão José Maria, primeiro incentivador e apoiador e a todos os outros irmãos, pois todos me ajudaram e estimularam, cada um de sua forma, e de maneira relevante.

À Prof^a. Dr^a. Eloísa Maia Vidal, que me orientou neste trabalho, com paciência e profissionalismo.

Meus agradecimentos especiais a Universidade Estadual do Ceará e aos seus professores, que nos incentivam na caminhada da produção científica e na continuação dos alunos na vida acadêmica.

A todos que aqui não foram citados, mas de algum modo contribuíram para que este trabalho fosse concluído da melhor maneira possível.

“Há muito tempo resolvi estudar Física para, racionalmente, negar a existência de Deus, desmascarar os crédulos e zombar dos gnósticos. Efeito inverso! A lógica da causa e efeito me revelou, muito claramente, uma inteligência infinita subjacente a cada Lei da Física que torna possível a existência do universo. Hoje percebo Deus em cada maravilha da natureza que me cerca, e, mais nitidamente, o vejo nas lentes dos telescópios e dos microscópios.”

John Nobody

RESUMO

Na expectativa de contribuir de alguma forma para facilitar a aquisição de métodos e recursos didáticos para munir os professores de Física do ensino médio, no que se refere ao desafio contemporâneo de buscar propostas interessantes de tornar esse ensino mais atrativo e dinâmico, elaborou-se esse trabalho, cujo cerne é apresentar um aparelho elétrico que provou ser, não só um importante subsídio no que diz respeito a motivar os alunos, mas também muito interessante a partir de um ponto de vista científico. Para o desenvolvimento do projeto, fundamentou-se na teoria de aprendizagem de Piaget, inteligências múltiplas de Gardner, LDB e PCNs, técnicas de ensino de práticas experimentais, com ênfase na abordagem pedagógica do uso de experimentos físicos na escola. Nesta proposta, mostra-se, embasado em experiência em sala de aula, que a Bobina de Tesla, instrumento há muito conhecido pelos aficionados pela eletricidade e praticamente desconhecido em sala de aula, vem se adequar perfeitamente ao ensino de Física na área de Eletromagnetismo e que a confecção desse dispositivo pelos alunos, a teoria do seu funcionamento geral e modular, assim como a demonstração de seu funcionamento, auxiliará sobremaneira a apropriação dos conhecimentos do Eletromagnetismo por parte dos alunos.

PALAVRAS CHAVE: Ensino, Eletromagnetismo, fenômenos de alta-tensão, eletrostática, eletrodinâmica, Bobina de Tesla..

ABSTRACT

Hoping to contribute in some way to facilitate the acquisition of methods and teaching resources to equip teachers of physics in high school, with regard to the contemporary challenge of interesting proposals seek to make this teaching more attractive and dynamic, this was elaborated work, whose core is to provide an electrical device which proved to be not only an important allowance in respect of motivate students, but also very interesting from a scientific point of view. To develop the project, was based on learning theory of Piaget, Gardner's multiple intelligences, LDB and PCNs, teaching techniques of experimental practices, with emphasis on the pedagogical approach of using physical experiments in school. In this proposal, it is shown, based on experience in the classroom, the Tesla coil, an instrument long known by aficionados for electricity and virtually unknown in the classroom, has fit perfectly into the teaching of physics in the area of Electromagnetism and the manufacture of this device by the students, the general theory of its operation and modular, as well as demonstration of its operation, greatly assist the appropriation of knowledge of electromagnetism by the students.

KEYWORDS: Teaching, electromagnetics, high-voltage phenomena, electrostatics, electrodynamics, Tesla Coil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Esquema Modular da Bobina de Tesla	34
Figura 2	Indicação das dimensões do toróide	40
Figura 3	Janela do Software Tesla Map (Parâmetros de Entrada e Características do Circuito Primário)	44
Figura 4	Janela do Software Tesla Map (Características do Circuito Secundário e da Carga Capacitiva do Topo)	44
Figura 5	Janela do Software Wintesla (Parâmetros de Entrada e Características do NST)	45
Figura 6	Janela do Software Wintesla (Características do Primário)	45
Figura 7	Janela do Software Wintesla (Características do Faiscador)	46
Figura 8	Janela do Software Wintesla (Características do Secundário)	46
Figura 9	Janela do Software Tesla Map (Características Carga de Topo).....	47
Figura 10	Janela do Software Tesla Coil Cad (Parâmetros de Entrada)	47
Figura 11	Janela do Software Tesla Coil Cad (Características do Primário).....	48
Figura 12	Janela do Software Tesla Coil Cad (Características do Secundário)..	48
Figura 13	Janela de Software Tesla Coil Cad (Janela de Resumo).....	49
Figura 14	Diagrama esquemático do experimento da “ressonância”	50
Figura 15	Esquema do assessorio para incrementar o efeito corona	51
Figura 16	Esquema do experimento “para-raios”	52
Figura 17	Diagrama esquemático do circuito de uma BT convencional	60
Figura 18	Carregamento do capacitor do primário	61
Figura 19	Disparo do faiscador e descarga do capacitor pela bobina primária...	62
Figura 20	Indução de alta tensão no secundário e efeito corona	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	– Alternative Current (Corrente Alternada)
AO	– Objeto de Aprendizagem
BT	– Bobina de Tesla
EAD	– Ensino à Distância
EUA	– Estados Unidos da América
IES	– Instituto de Ensino Superior
MIT	– Massachusetts Institute of Technology (Instituto de Tecnologia de Massachusetts)
MPD	– Material Paradidático
NST	– Neon Signal Transformer (Transformador de Letreiro Neon)
PCN	– Parâmetros Curriculares Nacionais
PCNEM	– Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio
PFC	– Fator de Correção de Potência
PSSC	– Physical Science Study Committee (Comitê de Estudo de Ciências Físicas)
PUC/SP	– Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
SEE/BA	– Secretaria de Estado de Educação da Bahia
SG	– Spark Gap (Centelhador ou Faiscador)
UFSC	– Universidade Federal de Santa Catarina
UNIVASF	– Universidade Federal do Vale do São Francisco

LISTA DE FOTOS

Foto 1	Centelhador	64
Foto 2	Capacitor de garrafas	64
Foto 3	Primário, secundário e carga de topo	65
Foto 4	Transformadores NST	65
Foto 5	Protótipo da Bobina de Tesla montada e operacional	66

SUMÁRIO

	RESUMO	6
	ABSTRACT	7
	LISTA DE FIGURAS	8
	LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	9
	LISTA DE FOTOS	10
1	INTRODUÇÃO	12
1.1	O projeto	12
1.2	Descrição dos capítulos.....	13
1.3	Objetivos	14
1.3.1	Objetivo geral	14
1.3.2	Objetivos específicos	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1	A formação de professores de Física e a importância do ensino de Física na educação básica	16
2.2	Uso de experimentos de baixo custo no ensino de Física	19
2.3	Um breve panorama sobre o uso de novas tecnologias no ensino de Física	21
2.4	Alternativas inovadoras e criativas para o ensino de Física	24
3	MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1	Aplicação do projeto numa escola pública	29
3.2	Segurança	31
3.2.1	Perigos mais significativos	32
3.2.2	Cuidados e precauções	33
3.3	Descrição e Cálculos de uma Bobina de Tesla genérica	33
3.3.1	Descrição de cada módulo	34
3.3.2	Calculando a Bobina de Tesla	37
3.3.3	Lista do material principal	41
3.4	Softwares para os cálculos de uma Bobina de Tesla	42
3.4.1	Janelas do Software TeslaMap	43
3.4.2	Janelas do Software WinTesla	45
3.4.3	Janelas do Software Tesla Coil Cad	47
3.4.4	Criando uma planilha específica	49
3.5	Sugestões de experimentos com o uso da Bobina de Tesla	50
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
	REFERÊNCIAS	56
	ANEXOS	
I –	Teoria Básica de uma Bobina de Tesla	59
II –	Fotos do protótipo	64

1 INTRODUÇÃO

O conceito que, em geral, as pessoas têm da Física é criado na escola e é consequência do ensino praticado nesta disciplina. Na prática pedagógica da maioria dos professores, o que prevalece é o caráter formal, em detrimento do contato com a fenomenologia. Justamente esse lado da Física que mais atrai as pessoas, é pouco apreciado e, por vezes, até mesmo completamente omitido. Focaliza-se excessivamente a Física matemática em detrimento de uma Física mais conceitual, mais experimental e com mais significado para a vida das pessoas.

Esse padrão de ensino é um dos fatores responsáveis pelo fato de os alunos pouco ou nada aprenderem da Física. O que comumente aprendem é a não gostar dela, levando esse estigma consigo para o resto da vida. Para muitas pessoas, falar em Física significa resgatar recordações desagradáveis, sendo até muito comum ouvir-se expressões como esta: “Física é coisa para louco!”, reveladora da imagem que os estudantes formam da Física na escola.

No domínio do que poderia ser feito no sentido de fornecer recursos para que as pessoas formem uma imagem mais positiva da Física, para que os estudantes tenham mais interesse pelo seu estudo e, assim, melhorem seu aprendizado, são de grande importância fatores de cunho metodológico, que têm a ver com a maneira como a Física é ensinada. Muitas das dificuldades enfrentadas pelo professor de Física em sala de aula, principalmente as relacionadas com a questão do gostar e do aprender, a meu ver podem ser contornadas por ele mesmo, com o auxílio de uma metodologia adequada de ensino.

1.1 O projeto

Uma estratégia de ensino compatível com essa visão de ensino-aprendizagem constitui-se da construção e demonstração do funcionamento de uma Bobina de Tesla (BT). Trata-se de uma ferramenta de relativo baixo custo e com um incrível potencial didático, que envolve ampla interdisciplinaridade e transversalidade no ensino de Física. Perfeitamente adequada à didática do eletromagnetismo, uma BT é um poderoso instrumento didático, nas mãos de um professor que domine o conhecimento no âmbito da fenomenologia eletromagnética. Um catalizador eficaz

para o ensino de conceitos que, geralmente, são transmitidos pelo professor de maneira abstrata, como indução eletromagnética, corrente alternada, ressonância, capacitância, rigidez dielétrica do ar, efeitos fisiológicos do choque elétrico, campo eletromagnético, altas tensões com as altas frequências, emissão de ondas de rádio, circuitos ressonantes, ionizações de gases, produção de ozona, etc.

Com uma BT são possíveis demonstrações elétricas das mais empolgantes. Devido ao campo eletromagnético formado, uma BT pode acender lâmpadas fluorescentes e lâmpadas de néon a vários metros de distância do aparelho, só dependendo da potência. Produz visíveis efeitos elétricos como, efeito corona, faíscas brilhantes e ruidosas, as descargas idênticas a relâmpagos e brilhantes descargas corona proporcionam um efeito espetacular e digno de um laboratório de filmes de ficção científica. Por causa de sua alta frequência, uma BT provê um modo relativamente seguro para demonstrar fenômenos que envolvem alta tensão.

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.

1.2 Descrição dos capítulos

Os próximos capítulos compõem a estrutura do trabalho que está assim disposto:

No capítulo 2 foi desenvolvida a revisão bibliográfica, que resume importantes abordagens teóricas e metodológicas de conceituados autores, nas quais é embasado o escopo deste trabalho. O primeiro subitem do capítulo tece algumas reflexões sobre a formação de professores de física no Brasil e a importância do ensino de física no ensino básico. O segundo subitem aborda referências sobre o uso de experimentos de baixo custo no ensino de Física. No terceiro subitem é feito um breve panorama sobre o uso de novas tecnologias aplicadas ao ensino de Física. O quarto subitem tem como assunto as alternativas inovadoras e criativas para o ensino de Física.

O capítulo 3 discorre sobre a metodologia e como se processa a aplicação do projeto em uma escola pública, apresentando os recursos teóricos que embasam o projeto e sugerindo todas as etapas práticas desde o começo até a avaliação do projeto pelo professor. No primeiro subitem priorizamos importantes recomendações no que diz respeito à segurança na construção e operação da BT, visto que trata-se de um equipamento que opera com altas tensões elétricas e, portanto, requer cuidados mais exacerbados. O segundo subitem descreve a topologia, características e parâmetros de um BT genérica, assim como apresenta e aplica as fórmulas para se determinar essas propriedades. O terceiro subitem do capítulo 3 apresenta três softwares que auxiliam na determinação das características de uma BT a partir de alguns parâmetros de entrada. O quarto subitem finaliza o capítulo sugerindo e descrevendo alguns experimentos que podem ser realizados com o auxílio de uma BT.

No quarto capítulo, apresenta-se as conclusões qualitativas, perspectivas e expectativas quanto a aplicação do projeto.

Finaliza-se com a apresentação da bibliografia e anexos.

1.3 Objetivos

1.3.2 Objetivo geral

Apresentar alternativas metodológicas e recursos que venham a contribuir para formar uma nova visão do ensino de Física, com ferramentas que valorizem os conteúdos e a criação de atividades de aprendizagem significativa, por meio do uso de experimentos mais motivadores.

2.3.2 Objetivos específicos

Projetar e construir um equipamento e utilizá-lo em demonstrações experimentais e cálculos de equações de eletricidade.

Conceber propostas metodológicas que auxiliem na compreensão dos conteúdos de ensino e aprendizagem de Física, especialmente eletrostática, eletrodinâmica e eletromagnetismo.

Despertar a investigação crítica, criatividade, interesse, participação e pesquisa nos assuntos científicos e tecnológicos.

Desenvolver competências e habilidades dos alunos no aprendizado de Física, como visualizar e manusear o experimento para entender os conceitos e problemas propostos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A formação de professores de física e a importância do ensino de Física na educação básica

Não há como falar sobre ensino de Física no Brasil sem mencionar também o cenário internacional (MOREIRA, 2000). A partir de referências nas experiências de outros países, o autor cita que um bom exemplo para a mudança de paradigma no que diz respeito ao ensino de Física no ensino médio é o curso de Física do PSSC (*Physical Science Study Committee*) nos EUA. Trata-se de um projeto de renovação do currículo de Física no ensino médio iniciado em 1956, no MIT, fruto de uma grande insatisfação, particularmente entre os físicos, com o ensino da disciplina naquela época, nas escolas desse mesmo país.

Por influência do PSSC, na mesma época surgiram em outros lugares, projetos curriculares para o ensino médio. No entanto o paradigma dos projetos não durou muito, pois, segundo Moreira, o ensino e aprendizagem são interdependentes; por mais que sejam os materiais instrucionais do ponto de vista de quem os elabora, a aprendizagem não é uma consequência natural.

Ele mostra outro paradigma na questão da aprendizagem que é em relação a pesquisa do ensino de Física, em que ocorre várias mudanças durante as décadas, além de iniciativas e contribuições importantes como a utilização de abordagens que enfocassem a Física do cotidiano, o uso de equipamentos de baixo custo, as relações Ciência, Tecnologia e Sociedade, a História e Filosofia da Ciência, e recentemente Física contemporânea e novas tecnologias. Nesta parte o autor explica que cada uma dessas vertentes tem seu valor, mas também suas limitações, e até mesmo prejuízos para o ensino da Física, na medida em que sejam trabalhadas de modo exclusivo.

O autor ainda sugere uma significativa mudança curricular na graduação em Física com urgência, pois é uma questão de sobrevivência, e completa afirmando que as perspectivas para o ensino de Física no Brasil são de grandes e necessárias mudanças no ensino de graduação e no ensino médio.

Além das mudanças radicais sugeridas por Moreira (2000) nos currículos de Física também se torna necessária uma análise profunda no processo de formação de professores de Física do ensino básico. Segundo Borges (2006), é imperativo aumentar a quantidade de professores formados anualmente, bem como qualificá-los melhor. Mas no caminho da melhoria do ensino de Física, há problemas e resistências que podemos e devemos enfrentar. Para contornar esses problemas o autor sugere um currículo cujos propósitos sejam fazer com que o estudante possa

- i. conhecer os principais modelos da ciência,
- ii. ter aprendido a modelar fenômenos, eventos e situações e
- iii. ter desenvolvido a capacidade e adquirido o hábito de buscar, avaliar e julgar a qualidade dos argumentos e das evidências disponíveis para a produção de conhecimento novo sobre os fenômenos e problemas tratados.

Mas o autor reconhece que existem muitas fontes de dificuldades para se implementar esse tipo de currículo, das quais pode-se destacar o fato de que os professores de Física enfatizam demais a memorização de fatos e fórmulas, assim como a sua aplicação na resolução de exercícios de fim de capítulo, em detrimento do desenvolvimento do pensar científico.

Outra das dificuldades está ligada à abordagem e ao uso dos modelos nos materiais de ensino e na sala de aula. Raramente os modelos são usados como ferramentas efetivas para se pensar sobre sistemas e fenômenos físicos. Os modelos não são explorados como ferramentas para o raciocínio, mas como meros recursos auxiliares para o ensino de fatos e teorias científicas.

Uma terceira dificuldade é que em sala de aula, em geral, os professores não se empenham em desenvolver o pensar científico e em ensinar sobre como planejar e conduzir investigações, em desenvolver as habilidades de argumentação e de comunicação de ideias científicas para pessoas do mesmo nível cultural.

Mostrando as raízes desse problema, Borges (2006) se apoia em citações de físicos reconhecidos na comunidade norte-americana, como Wieman, Hestenes, Mazur e DeHaan que estão a clamar por mudanças na forma de ensinar para formar não apenas cientistas, mas também aqueles que não atuarão em carreiras científicas nas ciências naturais.

Para superar essas dificuldades, o autor refere os caminhos apontados por esses mesmos físicos: basear o ensino em métodos e técnicas cientificamente pesquisados, bem como utilizar, de forma mais vigorosa, os recursos proporcionados pelas modernas tecnologias.

Na esteira dessas constatações, boas iniciativas têm eclodido em diversos setores acadêmicos, onde destacamos as que Angotti (2006) apresenta, contextualiza e discute. São projetos inovadores para formação do Educador em Física nos regimes presencial e à distância, a saber:

- Projeto Complementação em Licenciatura para Docentes graduados em áreas afins de Matemática, Química, Biologia e Física, Estado da Bahia, Convênio UFSC - Secretaria de Estado da Educação da Bahia (SEE/BA);
- Projeto Licenciatura Plena em Física a Distância, sediado na UFSC;
- Produção de material paradidático (MDP) digital livre e aberto, a partir de originais de licenciandos em Física da UFSC.

Frisa o autor que essas iniciativas não tratam de "cumprir tabela ou cobrir lacunas", mas sim de garantir o acesso à licenciatura, aos sujeitos interessados, com o mesmo potencial daqueles que frequentam nossos IES, excluídos porque residem e trabalham em locais distantes dos centros formadores desta área.

Outros autores, como Schroeder (2007) em seu artigo, extrapola a importância das aulas de Física desde as primeiras séries do ensino fundamental. Infere que esta importância está muito mais no auxílio ao desenvolvimento da autoestima e da capacidade de aprender a aprender das crianças do que em aspectos utilitários, tais como preparar os estudantes para os conteúdos do ensino médio. O autor propõe alguns exemplos de atividades que podem ser indicadas a crianças com idades entre sete e dez anos, nas quais a possibilidade de explorar a física pode ser útil para o desenvolvimento da capacidade de aprender a aprender.

Destaca que a possibilidade de participar de atividades nas quais os estudantes manipulem, explorem, interajam com materiais concretos, ao invés de somente se dedicar a aulas expositivas e leituras de textos, é essencial para o desenvolvimento e o aprendizado das crianças. Ainda, segundo Schroeder, a física ainda está longe das salas de aula das quatro primeiras séries, fato esse que

determina a visão distorcida que os alunos do ensino médio têm em relação à Física.

Esse mesmo tipo de constatação é abordada em um artigo de Ricardo e Freire, (2007) que apresenta e discute os resultados de um estudo exploratório realizado com alunos do nível médio de duas escolas do Distrito Federal. O objetivo do estudo foi identificar as concepções dos alunos a respeito do ensino da física e elaborar um cenário de investigação para futuros professores de física.

2.2 Uso de experimentos de baixo custo no ensino de Física

É muito comum, nas escolas do ensino médio, depararmos com professores de Física com dificuldades em construir, de forma prazerosa, contextualizada e funcional, o conhecimento físico em suas salas de aula. Por causa da não assimilação dos conceitos físicos no decorrer do curso, a Física é vista como uma disciplina complexa de ser lecionada, gerando o desinteresse dos educandos e muitas dificuldades na aprendizagem dos conteúdos.

É complicado para o professor ensinar conceitos físicos com aulas exclusivamente expositivas, uma vez que estes conceitos exigem cada vez mais do professor e só com aulas dinâmicas e criativas é que é possível despertar o interesse dos alunos. Além disso, mesmo que o aluno aprenda a física na escola, ele não consegue associar o conhecimento assimilado à sua realidade, com isso, não assimila os conceitos e, por consequência, não aprende o conteúdo.

Esta observação é reiterada por Araujo e Abib (2003), que afirmam que as dificuldades e problemas que afetam o sistema de ensino em geral e particularmente o ensino de Física não são recentes e têm sido diagnosticados há muitos anos, levando diferentes grupos de estudiosos e pesquisadores a refletirem sobre suas causas e consequências.

Os autores ainda apontam que, o uso de atividades experimentais como estratégia de ensino de Física tem sido apontado por professores e alunos como uma das maneiras mais frutíferas de se minimizar as dificuldades de se aprender e de se ensinar Física de modo significativo e consistente.

A introdução da física, através da experimentação de fácil compreensão, pode dar aos alunos a motivação para aprenderem essa disciplina, além de colocá-los em contato com a ciência, despertando o pensamento crítico e aperfeiçoando a percepção dos fenômenos por meio da observação. Mas é fundamental a utilização de estratégias metodológicas adequadas, que privilegiem a reflexão e a formulação de hipóteses por parte dos alunos. Segundo Araújo e Abib,

A utilização adequada de diferentes metodologias experimentais, tenham elas a natureza de demonstração, verificação ou investigação, pode possibilitar a formação de um ambiente propício ao aprendizado de diversos conceitos científicos sem que sejam desvalorizados ou desprezados os conceitos prévios dos estudantes. Assim, mesmo as atividades de caráter demonstrativo, (...) que visam principalmente à ilustração de diversos aspectos dos fenômenos estudados, podem contribuir para o aprendizado dos conceitos físicos abordados, na medida em que essa modalidade pode ser empregada através de procedimentos que vão desde uma mera observação de fenômenos até a criação de situações que permitam uma participação mais ativa dos estudantes, incluindo a exploração dos seus conceitos alternativos de modo a haver maiores possibilidades de que venham a refletir e reestruturar esses conceitos (p. 190).

Nessa linha, Catelli et al. (2010) sugerem, para o estudo da cinemática do ensino médio, onde estuda-se os movimentos uniformes e acelerados, com sua invariável coleção de fórmulas e gráficos, o uso de câmeras digitais comuns, substituindo a utilização de equipamentos didáticos sofisticados de alto custo e que necessitam de treinamento para operá-los, como equipamentos com fotocélula, detectores de movimento de ultrassom, polias informatizadas, e outros.

Outros conceitos difíceis de transmitir são os princípios da Ondulatória, cuja aprendizagem e compreensão das propriedades é grandemente facilitada, com os aparatos desenvolvidos em Piubelli et al. (2010).

Acreditamos que as demonstrações, que podem ser realizadas com o dispositivo que desenvolvemos, facilitarão a aprendizagem e a compreensão das propriedades das ondas mecânicas e da dependência da velocidade de propagação destas com o meio.(p. 1501-1)

Proposta também interessante e didaticamente atraente é o trabalho de Iachel et al. (2009) para o ramo da Astronomia, cujo propósito é utilizar-se da montagem e aplicação de instrumentos simples, como é o caso de uma luneta astronômica, para apresentar e discutir ações que promovam o ensino de Astronomia de maneira eficiente, pouco dispendiosa e, sobretudo motivadora.

Destacamos também o artigo de Monteiro et al. (2009), que propõe uma atividade de baixo custo, de simples construção e de fácil utilização em sala de aula,

para uma abordagem de conceitos relativos à Segunda Lei da Termodinâmica (entropia), conteúdo esse que é normalmente abstrato.

Essas abordagens fazem com que os alunos consigam contextualizar o conhecimento que estão aprendendo e interagindo, saindo da postura de quem somente recebe informação para construir seu próprio conhecimento. As aulas provavelmente serão mais proveitosas e interativas além do professor estar contribuindo para a formação de pessoas mais críticas.

2.3 Um breve panorama sobre o uso de novas tecnologias no ensino de Física

Nas últimas quatro décadas as mídias tornaram-se parte de nossa rotina e estão presentes na vida de professores e estudantes, porém seu uso no ensino ainda é muito limitado ou, muitas vezes, inexistente. Desde a década de 70, muitas coisas mudaram em termos do uso das tecnologias da informação e comunicação na vida das pessoas, principalmente em relação às mídias, mas pouca coisa mudou em relação ao seu uso no ensino de física.

O fracasso no ensino-aprendizagem da física, tanto no ensino médio como no ensino superior, motivou várias pesquisas sobre novas metodologias de ensino. Entre elas as metodologias que empregam as mídias para tentar superar o método tradicional de ensino, no qual o professor deve falar e os alunos devem ouvir e copiar as anotações feitas no quadro.

As mídias nos permitem compreender conceitos mobilizando vários tipos de inteligências que possuímos, estimulando as habilidades potenciais que temos, não só a inteligência lógico-matemática, como também todos os níveis das múltiplas inteligências¹, por meio de estímulos visuais e auditivos.

Existem inúmeros trabalhos que procuram discutir o uso das mídias – tendo como máximo representante o computador – de forma mais efetiva para o ensino de física. Sabe-se que seu uso somente não garante a aprendizagem dos conceitos físicos por parte dos estudantes. É necessário desenvolver software,

¹ Howard Gardner e sua equipe da Universidade de Harvard quando, nos anos 80, descobriu e propôs que o ser humano teria não uma ou duas, mas **várias** inteligências, relacionadas a habilidades específicas que iam da montagem de blocos à música, à pintura e ao autoconhecimento.

vídeos, simulações ou ambientes virtuais de aprendizagem baseados nas teorias da aprendizagem mais recentes.

Para arrefecer o dogmatismo de que o computador seria o “santo graal” do sistema de ensino-aprendizagem no que diz respeito principalmente à Física, Dwyer et al. (2008) vem nos mostrar um estudo cujos resultados demonstram que, para os alunos de todas as séries e para todas as classes sociais o uso intenso do computador diminui o desempenho escolar.

Para alunos da 4ª série, das classes sociais mais pobres, mesmo o uso moderado do computador piora o desempenho nos exames de português e matemática. Esses resultados também indicam claramente que é preciso repensar o papel do computador no ensino, sobretudo para os alunos mais pobres, para quem o uso do computador, ainda segundo os autores, está surpreendentemente associado a uma piora nas suas notas. O referido estudo teve como foco a resposta da questão: “O investimento em informática tem trazido melhoras no desempenho dos alunos?”.

Outro agravante é que, por falta de informação e/ou formação de professores, o uso dos recursos do computador nas metodologias de ensino-aprendizagem é ainda extremamente subestimado, principalmente nos laboratórios das escolas. No entanto, Cavalcante et al. (2009) relata que desde 2005 é desenvolvido na disciplina de Instrumentação para o Ensino de Física do curso de Licenciatura em Física da PUC/SP sistemas de aquisição extremamente simples em que os sinais são coletados através da entrada de microfone dos microcomputadores. A análise e coleta de dados são realizadas através de versões shareware e/ou freeware de softwares de análise de som disponíveis na rede mundial de computadores.

No trabalho dos autores dois experimentos são propostos: um deles possibilita determinar a frequência da rede elétrica e o outro é destinado ao estudo de lançamento horizontal e a determinação da aceleração da gravidade local. Os resultados obtidos são bastante satisfatórios principalmente se levarmos em conta a relação custo benefício do sistema proposto. Considerando a simplicidade e os bons resultados apresentados, o sistema proposto, segundo os autores, contribui de maneira significativa para uma nova abordagem no ensino de física no século XXI

permitindo transformar a sala de aula em um ambiente de investigação, valorizando os objetivos educacionais e não meramente instrucionais.

Outro trabalho que merece destaque é o estudo de Veit e Teodoro (2002) que discute a importância da modelagem no ensino-aprendizagem de Física em conexão com os novos parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio (PCNEM). O estudo apresenta as características essenciais do software Modellus, concebido principalmente para modelagem em ciências físicas e matemática sob uma visão de ensino que destaca, no processo de aprendizagem, a exploração e a criação de múltiplas representações de fenômenos físicos e de objetos matemáticos.

Na mesma linha de exploração de Objetos de Aprendizagem (OA), Sales et al. (2008) nos apresenta o Pato Quântico, software destinado à modelagem exploratória aplicada ao ensino de Física Quântica. O estudo apresenta resultados da utilização do software como metáfora para a compreensão das leis quânticas envolvendo o efeito fotoelétrico e possibilita o cálculo da constante de Planck. Os autores, utilizando o software Pato Quântico, realizaram um experimento com estudantes do ensino médio. Como resultado, ficou perceptível que a construção ou a manipulação de um modelo não depende exclusivamente de como os alunos dominam a lógica empregada na ferramenta computacional, mas sim do entendimento sobre o fenômeno físico e suas habilidades em relacioná-lo com o objetivo da atividade desenvolvida.

Ainda no mesmo foco, destacamos a contribuição de Werlang et al. (2008). Utilizando como referencial teórico a teoria L. S. Vygotsky sobre a interação entre os alunos e entre os alunos e o professor, respeitando a zona de desenvolvimento proximal² dos alunos, os autores criaram um hipertexto que utiliza recursos tecnológicos como vídeos, animações em Flash, Applets Java, figuras, textos e atividades práticas que tratam da física de fluidos.

Segundo os autores foi observado que os alunos que utilizaram este material didático estavam mais predispostos ao processo ensino-aprendizagem do que os alunos que não o utilizaram, obtendo em um teste sobre os conteúdos

² É a distância entre as práticas que uma criança já domina e as atividades nas quais ela ainda depende de ajuda. Para Vygotsky, é no caminho entre esses dois pontos que ela pode se desenvolver mentalmente por meio da interação e da troca de experiências. Não basta, portanto, determinar o que um aluno já aprendeu para avaliar seu desempenho.

desenvolvidos um ganho maior do que os alunos que não utilizaram o material didático.

Nesse contexto, é fundamental que os professores se adaptem às novas tecnologias, fazendo cursos de capacitação, a fim de poder utilizá-las com todo o seu potencial promissor sem cometer equívocos na sua utilização como ferramenta pedagógica. As novas tecnologias já fazem parte das vivências dos alunos e tornaram-se um sistema de signos para eles. Portanto, cabe ao professor adequar-se a essa nova realidade e utilizá-la em favor do processo ensino-aprendizagem.

Quanto ao papel da escola, apesar de alguns autores em artigos apontarem para problemas relacionados ao uso dos computadores, acredita-se que a escola não pode ignorar as contribuições que podem advir dos possíveis usos das ferramentas computacionais para o ensino em geral e, em especial, para o ensino de Física. Entretanto, para que esses recursos possam ser adequadamente inseridos nesses ambientes devem ser adotadas metodologias de ensino que se apoiem na utilização dos computadores como meros instrumentos para expor conteúdos substituindo o giz e a lousa, reproduzindo, assim, o ensino tradicional.

2.4 Alternativas inovadoras e criativas para o ensino de Física

São muitas e as mais variadas possíveis as dificuldades encontradas pelos professores de Física, em nível fundamental e médio, no que diz respeito à escolha de condições de aprendizagem que sejam apropriadas à sua proposta e à realidade de seus alunos. É certo que se deve admitir que a baixa variedade de materiais disponíveis inclui-se, sem dúvida, entre elas. O problema se torna ainda maior quando o professor decide adotar estratégias de ensino que proporcionem a obtenção do conhecimento de forma divertida e agradável, ou seja, permita que o aluno associe o aprendizado ao prazer.

O professor possui um papel importante no processo educativo, no qual deve propiciar aos seus alunos o desenvolvimento físico e intelectual e promover situações de aprendizagem em que o estudante possa expor o que sabe, de maneira a compreender e familiarizar-se com os conteúdos estudados. Porém, para que estas expectativas sejam atingidas é indispensável a utilização de atividades de ensino.

No entanto a seleção de atividades que atendam a essa perspectiva não é um processo simples, pois muitos professores preferem continuar usando métodos poucos eficientes a tentar algo novo que não estejam preparados. Outra situação que torna o ensino pouco produtivo é a resistência dos alunos, principalmente aquelas relacionadas com a questão da implantação de inovações didáticas.

Porém essa situação pode ser contornada com o auxílio de uma metodologia compatível, principalmente, com seus interesses e conhecimentos. É nesse sentido que este trabalho procura destacar alguns exemplos de alternativas para apresentar uma saída possível para que isto ocorra trazendo ao professor propostas pedagógicas que cativem os alunos para que se engajem ativamente no processo de mudança.

Começamos por referir um projeto que traz uma abordagem diferenciada para o ensino do conceito de “campo” em sala de aula. Trata-se de uma mudança paradigmática quanto à abordagem desse conceito, dando destaque ao enfoque histórico-conceitual ao que tradicionalmente era abordado com o crivo matemático-conceitual.

Segundo Rocha (2006), o conceito de campo é uma das ideias fundamentais da Física e pode produzir um proveitoso debate em sala de aula sobre as noções básicas desta ciência. Apesar de sua importância, numa aula sobre o mesmo, geralmente somente seus aspectos matemático-conceituais são enfatizados deixando-se em segundo plano os aspectos histórico-conceituais, quando estes não são simplesmente ignorados.

O autor ainda frisa que uma apresentação com ênfase apenas matemático-conceitual deste conceito não explora toda a sua potencialidade. Mostra que o conceito de campo, na forma que o entendemos hoje, derivou de um complexo processo de fusão de duas concepções: a noção de campo como algo responsável pela mediação de interação entre os corpos e a noção de campo como uma função matemática das coordenadas e do tempo.

Igualmente podemos ver a criatividade de Oliveira (2006), num projeto inovador em que o autor leva em consideração que super-heróis sempre foi um tema que “circulou” na mente dos adolescentes. Possivelmente todos nós temos o nosso “super-herói preferido”. Com o aumento de filmes envolvendo super-heróis exibidos

nos cinemas nos últimos anos, esse tema se tornou ainda mais presente na vida dos adolescentes.

Dessa forma, sabendo que o aluno constrói o conhecimento com propriedade quando a sua aprendizagem é significativa, o projeto visou relacionar a disciplina de Física com os super-heróis, mais especificamente com o Homem-Aranha, tendo como objetivo principal permitir a construção de conhecimentos de Física por parte dos estudantes através da análise das cenas do filme e sua associação com conceitos, princípios e leis da Física, bem como propiciar atitudes de investigação, pesquisa e socialização de conhecimento.

Ainda considerando as abordagens lúdicas na exposição de temas de Física, vale a pena citar o projeto de Carvalho (2006), em que a Física e, mais especificamente, a Astronomia é examinada de maneira empolgante em forma de peça teatral. Com esse projeto, que já foi transformado na adaptação “Uma Viagem pelas Estrelas”, a autora mostra que o teatro científico é mais uma possibilidade de fazer educação de forma diferente e criativa e tem atingido o objetivo de promover inovações nas interpretações de peças que buscam uma estreita relação entre arte e ciência. A peça, em sua forma adaptada, tornou-se itinerante como o grupo “Ciência Cênica” e acompanhada por educadores do Espaço de Ciência e Cultura da UNIVASF (Universidade Federal do Vale do São Francisco).

Dando continuidade as alternativas às abordagens tradicionais no ensino de Física, vale a pena comentar um artigo que mostra que deficiência visual não é um empecilho para o aprendizado de Física. Camargo (2007), mostra que é possível ensinar, utilizando-se de abordagens adequadas, a Física para alunos com deficiência visual parcial ou total. Segundo o autor, é compreensível que estudantes com deficiência visual apresentem dificuldades com os procedimentos metodológicos do ensino de Física, visto que os mesmos, em boa parte fundamentam-se em referenciais funcionais visuais.

Apesar dos outros sentidos serem importantes para os indivíduos, o sentido visão parece ser pré-requisito para toda e qualquer atividade que se realize no ambiente escolar. Anotações no caderno, a utilização da lousa para a realização de tarefas como transcrição de textos ou explicações de exercícios, provas escritas,

medições, entre outras, sentenciam o aluno com deficiência visual ao fracasso escolar e à não socialização.

O referido artigo apresenta atividades que por meio de questões abertas, textos falados e equipamentos de referencial observacional tátil e auditivo, abordam o conceito de aceleração. É apresentada também uma análise da aplicação dessas atividades a um grupo de alunos com deficiência visual. O autor também entende que as atividades e os materiais expostos no artigo, não fornecem “fórmulas prontas” ao que se refere à generalização de tal prática, pois são os contextos de sala de aula que indicarão aos seus participantes o “caminho a seguir”.

Pode-se reportar ainda, considerando o contexto multimidiático que permeia atualmente, com facilidade, o nosso cotidiano, um artigo (Rohling et al. 2002) que apresenta formas de produzir filmes didáticos e CD-ROMs para o ensino de Física. Comenta o autor que, não são poucos os filmes disponíveis no mercado que tratam de conceitos da Física. Tais filmes normalmente possuem uma mesma linha diretiva: procuram ser autossuficientes na comunicação direta com os alunos, ou seja, autoexplicativos, desconsiderando a necessidade da presença do professor. Os filmes de média e longa metragem são comumente baseados numa longa série de ideias, onde alguns buscam desenvolver vários conteúdos de Física, como a série “O Universo Mecânico”.

Tais vídeos já trazem o modelo de aula pronto, e deixam duas alternativas ao professor: adaptar sua estrutura de aula ao material audiovisual, ou adaptar o vídeo para o conteúdo de sua disciplina. Tanto em um caso, como em outro, os vídeos são apenas um instrumento de trabalho pouco flexíveis.

Essa forma de trabalho com vídeoaula pode ter sido interessante no passado, pois os professores não tinham condições de produzir os próprios vídeos, que atendessem diretamente seus interesses. Hoje em dia, com o desenvolvimento e o barateamento dos computadores pessoais, os elevados custos que se tinha na produção de vídeos já não são mais problema intransponível, não há também a necessidade de trabalhar com uma grande equipe para se produzir um vídeo. Neste trabalho pretende-se mostrar que os meios de produção estão disponíveis e acessíveis a qualquer professor que se interesse pelo assunto.

Pode-se esperar diversas vantagens educativas quando o professor passa a trabalhar com a construção do próprio material audiovisual de apoio. Por exemplo, dada a realidade cultural de determinada escola, um vídeo ali desenvolvido por um professor pode, além de atender imediatamente suas necessidades, ser difundido e usado por outros colegas, em contextos e condições de trabalho semelhantes. Desta forma, cada escola pode ter disponível uma videoteca virtual que atenda diretamente as necessidades dos planos curriculares adotados por elas e, até mesmo, difundida pela Rede Mundial de Computadores (Internet), segundo Rohling et al (2002).

Assim, apresentou-se novas alternativas e a necessidade de abordagens metodológicas inovadoras para o ensino de ciências, mais especificamente de física e a importância de vincular ciência com arte. A escolha das abordagens apresentadas tem como objetivo principal o fato de tornar o processo de ensino e aprendizagem mais atrativo e prazeroso, no sentido de despertar o interesse e a motivação dos estudantes pela Física.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Aplicando o projeto numa escola pública

De acordo com as orientações contidas nos PCN's, mais especificamente, Ciências da Natureza – Física (2008),

[...] que os jovens adquiram competências para lidar com as situações que vivenciam ou que venham a vivenciar no futuro, muitas delas novas e inéditas. Nada mais natural, portanto, que substituir a preocupação central com os conteúdos por uma identificação das competências que, se imagina, eles terão necessidade de adquirir em seu processo de escolaridade média (p. 61)

Neste sentido pode-se afirmar que para que haja o desenvolvimento das competências analiticamente e com criticidade, serão necessárias outras práticas implementadas pelo professor em sala de aula, que despertem as discussões, análises e realização de demonstrações para gerar habilidades em investigação e pesquisa científica, bem como criatividade para elaboração e construção de experimentos.

O projeto tem como recursos didáticos as aulas expositivas que incluirão conceitos de eletrostática e eletrodinâmica da Física do 3º ano, constando:

Conteúdos de Eletrostática:

- força elétrica;
- campo elétrico;
- trabalho e potencial elétrico;
- capacidade de condutores;
- capacitores.

Conteúdos de Eletrodinâmica:

- corrente elétrica;
- resistores;
- geradores e receptores.

Em seguida o professor usará de suas habilidades e competências para que os alunos possam se envolver e compreender as orientações, dar início aos

preparativos, iniciar a construção do experimento, e determinar o prazo para entrega, cuja avaliação ocorrerá dentro do 3º período letivo (bimestre).

Dessa forma, na continuidade das aulas, os alunos, sob um rigoroso monitoramento e presença constante do professor, poderão manuseá-lo e aplicá-lo nos seus conhecimentos e cálculos das equações ou fórmulas de Física que serão ensinadas no eletromagnetismo e em cujo programa deverão constar os conteúdos:

- Campo Magnético;
- Força Magnética
- Indução Eletromagnética.

O início da construção da BT se dará quando os alunos já estiverem com as suas habilidades desenvolvidas nas aulas de eletrostática e eletrodinâmica, distribuídos em tantas equipes quanto forem necessárias, que construirão (adquirirão) separadamente as seguintes partes:

- Capacitor de topo.
- Bobina primária.
- Bobina secundária.
- Plataforma do Experimento.
- Faiscador.
- Aspirador do Faiscador.
- Capacitor de vidro.
- Transformador de entrada (NST).

Todas as equipes receberão um plano geral da Bobina, definido em duas ou três reuniões específicas para deliberar todos os detalhes de dimensões e características elétricas de todo o equipamento. Depois dessas reuniões, as equipes serão separadas e incumbidas de suas contribuições no plano geral, quando receberão, cada uma, um plano detalhando sua tarefa. As equipes também receberão um cronograma para a realização das etapas da construção e apresentação do experimento.

É necessária também a orientação do professor aos grupos, para a aquisição dos materiais, do local ou dos locais que tenham os materiais padronizados, procurando investigar e pesquisar com antecedência onde consegui-los e trazer comprovantes, que facilitem a localização dos objetos e peças.

3.2 Segurança

Antes de iniciar o desenvolvimento propriamente dito do projeto, é recomendável ponderar sobre um dos aspectos mais importantes no que diz respeito à construção e operação de uma BT: a segurança.

Bobinas de Tesla são potencialmente fatais. No que se refere a esse tipo de equipamento, jamais subestime essa característica e nunca superestime sua própria experiência. Assim, enfatiza-se veementemente que a construção de um dispositivo como uma BT necessita da presença ostensiva e monitoramento rigoroso de pessoal qualificado em operações de circuitos de altas voltagens.

A não observação destas recomendações pode resultar em acidentes fatais. Portanto, é importante advertir aos professores que tenham a intenção de por em prática este projeto, encetar esforços em capacitar-se para adquirirem o conhecimento necessário no que diz respeito aos imprescindíveis procedimentos de segurança em operações com equipamentos de alta-tensão. Para tal, recomendo o estudo dos documentos *Electrical Safety* (Segurança Elétrica) e *Tesla Coils Safety Information* (Bobinas de Tesla – Informações de Segurança).

Ao se trabalhar com Bobinas de Tesla é provável que se esteja exposto a tensões e correntes muito altas, capacitores carregados, fiação exposta, fortes campos elétricos e magnéticos, correntes induzidas, perigos de incêndio, perigos químicos e explosão, ozônio, luz ultravioleta e ruído alto.

Ao operar uma BT deve-se ter certeza de ter ventilação adequada, proteção auditiva e evitar olhar diretamente para os faiscadores quando estes estiverem em ignição. Tentar não trabalhar sozinho e nunca manusear uma BT quando estiver cansado ou sob a influência de álcool, drogas ou medicamentos. Ter sempre um extintor de incêndio e óculos de segurança perto. Bobinas de Tesla podem interferir com marca-passos.

Os arcos elétricos gerados por uma BT são perigosos. Eventualmente, podem-se ver pessoas que tocam os arcos ou, em contato com a bobina, lançando arcos para fora de seus dedos, mas eles são especialistas experientes usando condições cuidadosamente controladas. Sem as devidas precauções, os arcos podem facilmente queimar ou matar. O "efeito pele" vai oferecer alguma proteção,

mas não a proteção completa em todas as situações. Pode-se olhá-la, mas não se deve tocá-la!

Bobinas de Tesla podem gerar forte interferência de Radio Frequência. Geralmente isso não é um problema, mas pode ser um problema em potencial, e que deve ser levado em consideração, quando se operar uma BT nas proximidades de aeroportos, onde o campo eletromagnético pode interferir nos sinais de navegação. Nesse caso, a interferência pode ser reduzida ou eliminada com ligação à terra adequada e da utilização de uma gaiola de Faraday.

3.2.1 Perigos mais significativos

Alta tensão: a principal precaução que se deve ter é com a saída do transformador (NST). Nessa parte, como em todo o circuito primário existem corrente elétricas consideráveis que podem acarretar choques fatais. O NST é especialmente perigoso, pois fornece vários milhares de volts e, ao operar uma BT, se estará trabalhando em estreita proximidade com ele. É fácil acidentalmente deixá-lo ligado, pois, exceto por um zumbido quase imperceptível, não há nenhuma indicação de que está ligado. Em relação à tensão de saída em **L2** os riscos são menores. A corrente é de alta frequência (MHz) e, embora da ordem de 100 a 1000 kV, não é mortal. Porém, dependendo da potência de saída (variável com a maior ou menor aproximação entre os terminais do fuscador) ela pode queimar a pele.

Ozônio: Quando em operação, os terminais de **L2** ionizam o ar circundante e, conseqüentemente, produzem ozônio; um gás que, em grande concentração, é altamente tóxico para seres humanos. A produção de ozônio é decorrência da alternância da liberação e captura de elétrons nos terminais de **L2**. É aconselhável se fazer as demonstrações em lugar ventilado e não deixar a bobina ligada mais que alguns minutos. (O ideal seria aspirar o ar vizinho à bobina com um exaustor.)

3.2.2 Cuidados e precauções

A seguir, enumera-se uma série de precauções para minimizar o risco de acidentes:

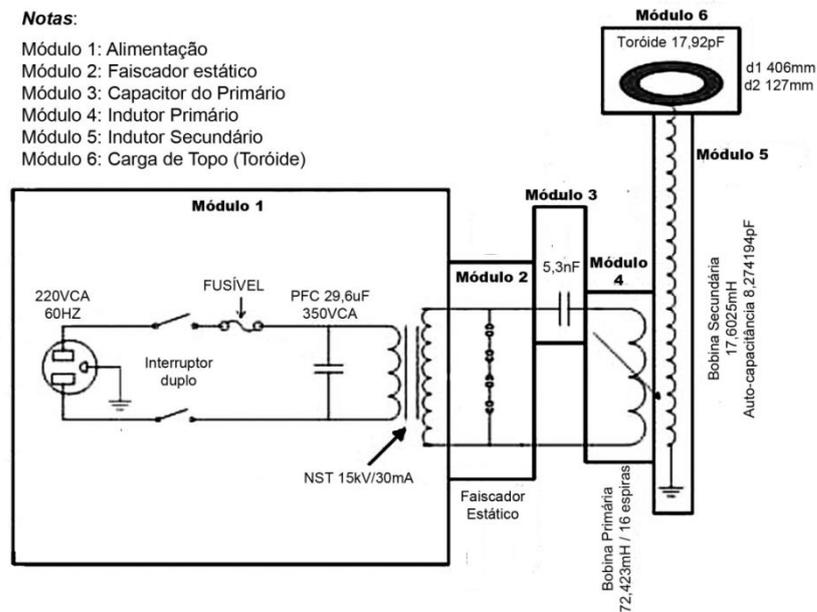
- Nunca ajustar uma BT quando o aparelho estiver ligado.
- Capacitores de alta tensão pode manter a carga por muito tempo após alimentação ser desligada. Sempre descarregue os capacitores antes de ajustar um circuito primário.
- Verifique se as caixas de metal de transformadores, motores, painéis de controle e outros itens associados com bobinas de Tesla estão devidamente aterrada.
- Certifique-se de que você esteja suficientemente longe da descarga corona para que ela não possa atingir você. Não entrar em contato com objetos metálicos que podem estar sujeitos a uma indução elétrica a partir do secundário.
- O circuito de baixa tensão primária é extremamente perigoso! Estas voltagens são especialmente letais para os seres humanos. Certifique-se que esses circuitos estão bem isolados para que os usuários não entrem em contato com a tensão da linha AC.
- Uma chave de segurança deve ser usada no circuito de baixa tensão para evitar a utilização não autorizada.
- Use fusível adequado na alimentação e/ou disjuntores para limitar a corrente máxima do circuito. Não confie em seu fusível ou disjuntor doméstico para garantir uma proteção adequada!
- Nunca utilize uma BT em chão molhado.
- Não utilize uma BT quando animais de estimação ou crianças estiverem por perto.
- Gaste algum tempo isolando adequadamente os circuitos da BT. Cola quente, fitas adesivas ou deixar fios elétricos expostos são métodos rápidos e fáceis, mas podem ser fatais.

3.3 Descrição e Cálculos de uma Bobina de Tesla genérica

A seguir, procura-se descrever as partes do equipamento e os cálculos para a construção de uma BT de tamanho médio, que servirá como base para a efetivação

do projeto pelos professores alvos deste trabalho. O diagrama a seguir mostra o circuito completo da BT dividido em módulos, para auxiliar uma eventual divisão das atribuições aos grupos de trabalho.

Figura 1 – Esquema modular da Bobina de Tesla



3.3.1 Descrição de cada módulo

Módulo 1 – Alimentação

É o sistema de fornecimento de energia para o circuito primário (indutor). O principal componente é um transformador para letreiros neon (NST). A tensão típica do NST é de 15kV por 30mA. O capacitor para correção de fator de potência (PFC) é utilizado para otimizar a transferência de potência e minimizar a carga indutiva sobre a rede elétrica externa. É recomendado o uso de um interruptor duplo paralelo na entrada, para ligar/desligar ambos os lados da linha de alimentação CA, por razões de segurança.

Módulo 2 – Faiscador Estático

O Faiscador é o interruptor para transferir a energia do capacitor para a bobina primária (indutor). Consiste, geralmente, de dois cilindros de latão presos a suportes isolantes (de acrílico, p. ex.), sendo um deles fixo e o outro ajustável (acoplado a um cabo isolante de vidro ou acrílico), de modo que a separação entre eles possa ser regulada. Variando-se a distância entre os cilindros, altera-se a potência de saída da bobina (a qual diminui com a aproximação das mesmas) e pode-se regular o aparelho de acordo com a experiência que vai ser realizada. Embora o faiscador possa ser exposto, é melhor encerrá-lo em um recipiente (tipo redoma) para diminuir o ruído do faiscamento.

Módulo 3 – Capacitor do primário

Esse capacitor é usado para armazenar a energia do transformador e, em seguida, rapidamente, transferi-la para o enrolamento primário (indutor) pelo faiscador (interruptor). Os cálculos para a determinação dos valores do capacitor serão discutidos mais adiante. Os requisitos principais para a escolha do capacitor são: resistência dielétrica à alta tensão, baixa perda em altas frequências, capacidade para suportar pulsos elevados de corrente e variação de temperatura.

Existem quatro técnicas principais para se construir um capacitor que satisfaça essas exigências:

1. Um tipo bastante eficiente é o capacitor de placas planas com camadas de folhas de plástico polivinil, alternado com folhas de papel-alumínio e imerso em um óleo de alta tensão. Desvantagem: trata-se de um processo muito demorado.
2. Capacitores de garrafa – Podem ser feitos com garrafa de cerveja (tipo A) com uma folha de alumínio em torno dela do lado de fora, cheio de água salgada concentrada e imerso em um tanque cheio de água salgada. A vantagem é que é simples e barato para construir. A principal desvantagem é que se trata de um dielétrico pobre e que, por isso, pode proporcionar grandes perdas.
3. MMC (Multi-Mini-Capacitores) Este é o processo mais utilizado atualmente pelos aficionados pela construção de Bobinas de Tesla.

Consiste no uso de vários capacitores de pulso de alta tensão, opção que sai bem mais barato do que se usar um só capacitor de pulso equivalente. Eles são colocados em série e em paralelo, até que a tensão de isolamento necessária e a capacitância sejam alcançadas.

4. Uma das alternativas mais baratas, porém de razoável eficiência, é a confecção de um capacitor plano com placas de folhas de alumínio com dielétrico de lâmina de vidro. O vidro deve ser de boa qualidade (sem bolhas) para que não haja uma eventual ruptura do dielétrico.

Módulo 4 – Bobina Primária (indutor)

Esta, combinada com o capacitor primário, forma o circuito de ressonância primária da BT. É geralmente construída utilizando-se tubos de cobre para ar condicionado, mas outros tipos de fios podem ser utilizados. O fator principal para o bom desempenho da bobina primário é utilizar um fio com uma grande área de superfície devido à elevada frequência envolvida. Isso, devido ao efeito pelicular da alta frequência que determina um maior fluxo de corrente elétrica na superfície do condutor e pequeno e até desprezível fluxo através do núcleo central. É por isso que um tubo de cobre oco, mas de diâmetro considerável (grande área de superfície), além de mais barato, é mais eficiente.

Módulo 5 – Bobina Secundária (induzido)

Esta, combinada com o módulo 6 (carga de topo), formam o segundo circuito ressonante. Tanto o sistema primário como o secundário tem de ser calculados para terem a mesma frequência de ressonância, para que ocorra a máxima transferência de potência. Os passos para esses cálculos também serão discutidos mais adiante. Esta bobina é constituída por muitas voltas (800-1500) numa única camada de espiras em oposição aos 8-15 espiras do primário. Uma BT não se comporta da mesma maneira que um transformador convencional. Em primeiro lugar, a transferência de energia não é feita através da permeabilidade magnética do ferro como em um transformador de núcleo de ferro, mas baseia-se no acoplamento de campos eletromagnéticos entre o primário e o secundário, característica dos transformadores ressonantes com núcleo de ar. Essa

característica possibilita menores perdas devido ao acoplamento ferromagnético em altas frequências de operação. Em um transformador convencional a relação potência de entrada/potência de saída é proporcional ao número de espiras do primário e do secundário. Porém, em uma BT essa relação está conexas ao fator de acoplamento (k) entre o primário e o secundário. Quanto maior o fator k mais eficiente é a transferência de energia entre as bobinas e maior rendimento de energia será obtido. No entanto, é necessário considerar um intervalo adequado para a aplicação prática do fator k . Um acoplamento muito estreito (fator k alto) vai produzir “arcos” elétricos entre as duas bobinas que poderão literalmente queimar o secundário. Se for muito aberto (fator k baixo), a transferência de potencia decairá. O enrolamento primário deve ser colocado no nível mais inferior do secundário. A partir daí, vai-se movendo o primário e para cima para baixo em relação a esta posição, para sintonizar a bobina para o melhor fator k .

Módulo 6 - Carga Superior ou Carga de Topo (capacitor toróide ou esférico).

Fornece parte da carga capacitiva do secundário e, junto com este, estabelece a frequência de ressonância do secundário. A forma toroidal é ideal devido à maior área de superfície, um melhor controle do campo e menor fuga de eletricidade através de flâmulas corona.

3.3.2 Calculando a Bobina de Tesla

Duas técnicas principais são utilizados para se construir uma BT. Uma delas é projetar o sistema secundário primeiro e depois o primário (de cima para baixo). A segunda é a concepção da fonte de alta tensão para o secundário (de baixo para cima). A primeira escolha é baseada na concepção de uma bobina com uma potência de saída específica ou um comprimento desejado de raios elétricos. No entanto, este é um problema se você não tem acesso aos componentes requeridos para o projeto. Em outras palavras, você pode acabar com um projeto que requer um transformador de tamanho específico que é difícil de obter. O método 2 é utilizado quando você já tiver um NST (como no nosso caso). Esta estratégia faz com que o projeto torne-se mais simples de ser efetivado.

Especificações do NST:

$$V \text{ (tensão de entrada)} = 220V$$

$$E \text{ (tensão de saída)} = 15kV$$

$$P \text{ (potência)} = 450W$$

$$I = 30mA \text{ (450VA)}$$

$$f = 60Hz$$

Passo 1: Módulo 1 e Módulo 2 – *Determinando a capacitância do capacitor do circuito primário.* Neste projeto utilizamos um faiscador estático. Por isso devemos calcular a capacitância do capacitor do circuito primário em função da frequência de trabalho do NST (60Hz), assim, temos:

- Determinação da impedância (Z) do NST:

$$Z = \frac{E}{I} = \frac{15.000V}{0,03A} = 500K\Omega \quad (1)$$

- Determinação da reatância capacitiva (C):

$$C = \frac{1}{2\pi fZ} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 60 \cdot 500.000} = 0,000\ 000\ 005\ 305\ F = 5,305nF \quad (2)$$

Passo 2: Neste momento, vamos omitir a concepção da bobina primária, pois o tamanho e a forma da bobina secundária já são conhecidas, e são essas características que irão basear a frequência de ressonância do primário no secundário.

Cálculos da bobina secundária:

Parâmetros de forma de bobina secundária:

- Diâmetro externo = 11,0cm
- Comprimento (altura) da bobina = 52,8cm.

Estes parâmetros são baseados em uma razão 4,8:1 (comprimento da bobina / diâmetro exterior), proporção empírica para dimensionamento ideal,

baseada em projetos de outras BTs. AWG (bitola do fio) = 24 (0,02246pol ou 0,57054mm). voltas/centímetro = 1/0,057054 centímetros = 17,52725 voltas/cm.

$$L = \frac{\pi DAH}{100} = \frac{\pi \cdot 11,0 \cdot 17,52725 \cdot 52,8}{100} = \mathbf{319,3553m (AWG 24)} \quad (3)$$

$$V = AH = 17,52725 \cdot 52,8 = \mathbf{924 espiras} \quad (4)$$

Onde:

L = Comprimento do fio de cobre em metros.

D = Diâmetro externo da bobina secundária em centímetros.

H = Altura da bobina em centímetros.

A = Números de voltas por centímetros.

T = Total de voltas (espiras).

Passo 3: Cálculo da indutância da bobina secundária e auto-capacitância, baseado nos valores do passo 2:.

$$L = \frac{(NR)^2}{9R + 10H} = \frac{(924 \cdot 2,165354)^2}{9 \cdot 2,165354 + 10 \cdot 20,7874} = \mathbf{0,0176025H ou 17,6025mH} \quad (5)$$

Onde:

L = Indutância da bobina em microhenrys (μ H).

N = Número de espiras = **924** (equação 4)

R = Raio da bobina em polegadas = (110 mm/25,4) / 2 = **2,165354"**.

H = Altura da bobina em polegadas = (528 mm/25,4) = **20,7874"**.

C (auto-capacitância) =

$$0,29H + 0,41R + 1,94 \sqrt{\frac{R^3}{H}} = \mathbf{8,27194pF} \quad (6)$$

Passo 4: Cálculo para frequência de $\frac{1}{4}\lambda$:

$$1/(\text{comprimento do fio}/(186000 \cdot 5280))/4 = \mathbf{234,391\text{kHz}} \quad (7)$$

Onde:

$$\text{Comprimento do fio} = 319,3553 \cdot 3,27997933\text{pé/m} = \mathbf{1047,48\text{pés.}}$$

Utiliza-se essa frequência de $\frac{1}{4}$ de comprimento de onda para determinar a capacitância requerida da carga capacitiva de topo.

Reatância Capacitiva de ressonância do secundário:

$$C = \frac{1}{4\pi^2 F^2 L} = \mathbf{26,19281\text{pF}} \quad (8)$$

$$L = \mathbf{17,6025\text{mH}} \text{ (da equação 5)}$$

$$F = \mathbf{234,391\text{kHz}} \text{ (da equação 7)}$$

Capacitância necessário à carga de topo = $26,19281\text{pF} - 8,27194\text{pF} = \mathbf{17,92\text{pF}}$

Dimensões de um capacitor toroidal para $\sim 17,92\text{pf}$

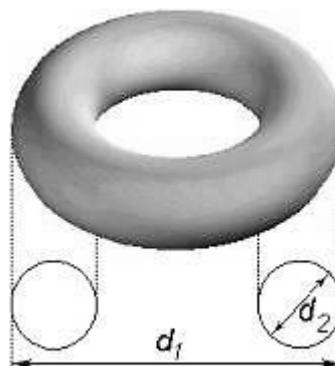
Diâmetro externo (maior) – $d_1 = \mathbf{406\text{ mm}}$

Diâmetro interno (menor) – $d_2 = \mathbf{127\text{ mm}}$

A capacitância do toróide em função dos diâmetros interno e externo é dada por:

$$C_{(d_1,d_2)} = \frac{2,8 \left(1,2781 - \frac{d_2}{d_1}\right) \sqrt{\frac{\pi}{4} (d_1 - d_2) d_2}}{25,4} \quad (9)$$

Figura 2 – Dimensões do toróide



Passo 5: Cálculo da indutância necessária à bobina primária:

$$L = \frac{1}{4\pi^2 F^2 C} = \mathbf{86,911\mu H} \quad (10)$$

Onde:

$F = \mathbf{234,391kHz}$ (da equação 7)

$C = \mathbf{0,005305\mu F}$ (da equação 2)

Especificações físicas da bobina primária:

- Diâmetro de tubo de cobre – 6,3mm
- Número de espiras – 16
- Distância entre as espiras – 8mm
- Distância entre o primário e o secundário – 25mm
- Diâmetro interno da bobina primária – 160mm
- Diâmetro total ~ 60cm
- Indutância máxima na 15ª espira – 79.5895μH
- Tomada entre a 14ª e 15ª espira para obter a indutância de 72.423μH

3.3.3 Lista do material principal

- Módulo 1:
 - 1) Transformador para letreiros Neon (NST) 15kV/30mA.
 - 2) Interruptor duplo.
 - 3) Fusível de 3A.
 - 6) Cabo de força e tomada.
 - 9) Capacitor para correção de fator de potência – 29,6uF/350V
- Módulo 2:
 - 1) Hastes de tungstênio ou latão para o faiscador (ajustável).
 - 2) Ventilador ou ventoinha para resfriar os eletrodos do faiscador (opcional mas recomendado).
 - 3) Lâminas de Acrílico, PVC ou PETg para confeccionar a base.

- Módulo 3:
 - 1) 19 capacitores de pulso para alta tensão 0,1 μ F/1500V
 - 2) 19 resistores 10M Ω ohms/ ½ watt
 - 3) Placa de fenolite para circuito impresso.
- Módulo 4:
 - 1) ~21 metros de tubo de cobre para ar condicionado de 6,3mm de diâmetro.
 - 2) Espaçadores de Nylon para a montagem das espiras.
 - 3) Placa para a base (madeira, PVC, PETg ou acrílico) da montagem das bobinas primária e secundária.
 - 4) Fios para conexões de alta voltagem (10-14 AWG).
- Módulo 5:
 - 1) 60cm de Tubo de PVC 110mm de diâmetro.
 - 2) 2 tampas de PVC para o tubo de 110mm.
 - 3) Verniz de poliuretano e pincel fino.
 - 4) 400 metros de fio de cobre esmaltado 24AWG.
 - 5) Suporte para a montagem do toróide.
- Módulo 6:
 - 1) Toróide: 406mm (diâmetro maior), 127mm (diâmetro menor).
 - 2) Tubo de alumínio corrugado para ar condicionado.
 - 3) Peça central de madeira, PETg, Acrílico ou PVC (cobertos com folha de alumínio) para a montagem do toróide à bobina secundária.

3.4 Softwares para os cálculos de uma Bobinas de Tesla

Existem disponíveis na internet vários bons softwares para cálculos dos parâmetros de uma BT. A base do funcionamento de todos esses programas é uma planilha eletrônica programada com as diversas fórmulas que vinculam as diversas características interdependentes da BT, fórmulas essas que por sua vez são derivações e adaptações das fórmulas do eletromagnetismo.

As diferenças observadas nos parâmetros de saída dos diferentes softwares, ao inserirmos os mesmos parâmetros de entrada, devem-se às características das arquiteturas dos programas que podem multiplicar ou potencializar erros gerados pelos arredondamentos nas variáveis das fórmulas devido aos encadeamentos das

fórmulas na planilha. Para cálculos mais confiáveis sugiro usar manualmente cada fórmula.

Em seguida, destaco três desses softwares, *TeslaMap*, *WinTesla* e *Tesla Coil Cad*, que foram usados para determinar as características da bobina projetada.

Esses programas podem ser baixados nos respectivos sites referidos nas referências deste trabalho. As janelas mostradas a seguir são somente as principais, pois todos esses programas trazem recursos acessórios que facilitam enormemente a determinação das características físicas e elétricas de uma BT. Um exemplo disso é o programa *TeslaMap* que traz o recurso (na guia Ajuda MMC) do cálculo e do esquema da malha série paralelo dos capacitores MMC, bem como o valor e tensão de isolamento de cada um desses capacitores, dado o valor do capacitor do primário e a tensão de saída do NST.

3.4.1 Janelas do Software TeslaMap

Inserem-se arbitrariamente os parâmetros da BT no painel da esquerda (campos ativos) e obtêm-se os resultados no painel da direita da janela (campos passivos). O programa só aceita os parâmetros dentro dos limites teóricos de uma BT funcional.

Figura 3 – Parâmetros de Entrada e Características do Circuito Primário

TeslaMap

Archivo Opciones ?

NST, MMC, Bobina Pri Bobina Sec, Carga Super Salida Programa de Ayuda Bobina Primaria Ayudar a Carga Superior MMC Ayuda AWG / mm

NST Parámetros de Entrada

NST Entrada de Tension V

NST Frecuencia Hz

Tension de Salida kV

Corriente de Salida mA

MMC Parámetros de Entrada

Capacitancia Primaria nF

Bobina Pri. Parámetros de Entrada

Diámetro del Alambre cm

Separacion del Alambre cm

Diámetro del agujero cm

Angulo de inclinacion deg

Voltaje de Entrada del NST: El voltaje suministrado a la toma de corriente o la entrada de voltaje del NST. Los valores típicos: 120 en EE.UU y 220 en Europa.

NST, MMC Parámetros de Salida

NST PFC Tapa uF ?

NST Vatios W

Longitud de Arco Max cm ?

Optima LTR Syncn Tapa nF ?

Optimo Tapa Resonante nF ?

Optima LTR Tapa Estatica nF ?

Parámetros de la Bobina Sec.

Giro de la Bobina Sec ?

Sec H/W Relacion ?

Longitud de Alambre m ?

Peso del Alambre g ?

Diámetro del Alambre mm ?

Capacitancia de la Bobina pF

Inductancia de la Bobina mH

Parámetros de la Carga Superior

Tapa Optimia de Carga pF ?

Capacidad de Carga pF

Frecuencia de Resonancia kHz ?

Parámetros de Salida de la Bobina Primarios

Giro de la Bobina Primaria ?

Inductancia Necesaria uH ?

Mostrar las Filas Impares

Gira	Diámetro	Altura	Longitud	Inductancia
1	18,9 cm	0,6 cm	0,6 m	0,3 uH
2	21,7 cm	0,6 cm	1,3 m	1,3 uH
3	24,6 cm	0,6 cm	2 m	2,8 uH
4	27,4 cm	0,6 cm	2,9 m	5 uH
5	30,3 cm	0,6 cm	3,9 m	7,7 uH
6	33,2 cm	0,6 cm	4,9 m	11,1 uH
7	36 cm	0,6 cm	6 m	15,2 uH
8	38,9 cm	0,6 cm	7,3 m	20,1 uH
9	41,7 cm	0,6 cm	8,6 m	25,9 uH
10	44,6 cm	0,6 cm	10 m	32,4 uH
11	47,5 cm	0,6 cm	11,5 m	40 uH
12	50,3 cm	0,6 cm	13 m	48,5 uH
13	53,2 cm	0,6 cm	14,7 m	58 uH
14	56 cm	0,6 cm	16,5 m	68,7 uH
15	58,9 cm	0,6 cm	18,3 m	80,5 uH
16	61,8 cm	0,6 cm	20,3 m	93,5 uH
17	64,6 cm	0,6 cm	22,3 m	107,8 uH
18	67,5 cm	0,6 cm	24,4 m	123,4 uH
19	70,3 cm	0,6 cm	26,6 m	140,4 uH
20	73,2 cm	0,6 cm	28,9 m	158,9 uH
21	76,1 cm	0,6 cm	31,3 m	178,8 uH
22	78,9 cm	0,6 cm	33,8 m	200,2 uH
23	81,8 cm	0,6 cm	36,4 m	223,3 uH
24	84,6 cm	0,6 cm	39 m	248 uH
25	87,5 cm	0,6 cm	41,8 m	274,5 uH

Figura 4 – Características do Circuito Secundário e da Carga Capacitiva do Topo

TeslaMap

Archivo Opciones ?

NST, MMC, Bobina Pri Bobina Sec, Carga Super Salida Programa de Ayuda Bobina Primaria Ayudar a Carga Superior MMC Ayuda AWG / mm

Bobina Sec. Parámetros de Entrada

Alambre Esmaltado Construcción Sencilla
 Construcción Heavy

Diámetro del Alambre (1-40 AWG)

Altura de la Bobina cm

Diámetro de la Forma cm

Parámetros de Carga Superior

Toroide 1

Diámetro del Anillo cm

Diámetro Total cm

Toroide 2

Diámetro del Anillo cm

Diámetro Total cm

Diámetro de Esfera cm

Voltaje de Entrada del NST: El voltaje suministrado a la toma de corriente o la entrada de voltaje del NST. Los valores típicos: 120 en EE.UU y 220 en Europa.

NST, MMC Parámetros de Salida

NST PFC Tapa uF ?

NST Vatios W

Longitud de Arco Max cm ?

Optima LTR Syncn Tapa nF ?

Optimo Tapa Resonante nF ?

Optima LTR Tapa Estatica nF ?

Parámetros de la Bobina Sec.

Giro de la Bobina Sec ?

Sec H/W Relacion ?

Longitud del Alambre m ?

Peso del Alambre g ?

Diámetro del Alambre mm ?

Capacitancia de la Bobina pF

Inductancia de la Bobina mH

Parámetros de la Carga Superior

Tapa Optimia de Carga pF ?

Capacidad de Carga pF

Frecuencia de Resonancia kHz ?

Parámetros de Salida de la Bobina Primarios

Giro de la Bobina Primaria ?

Inductancia Necesaria uH ?

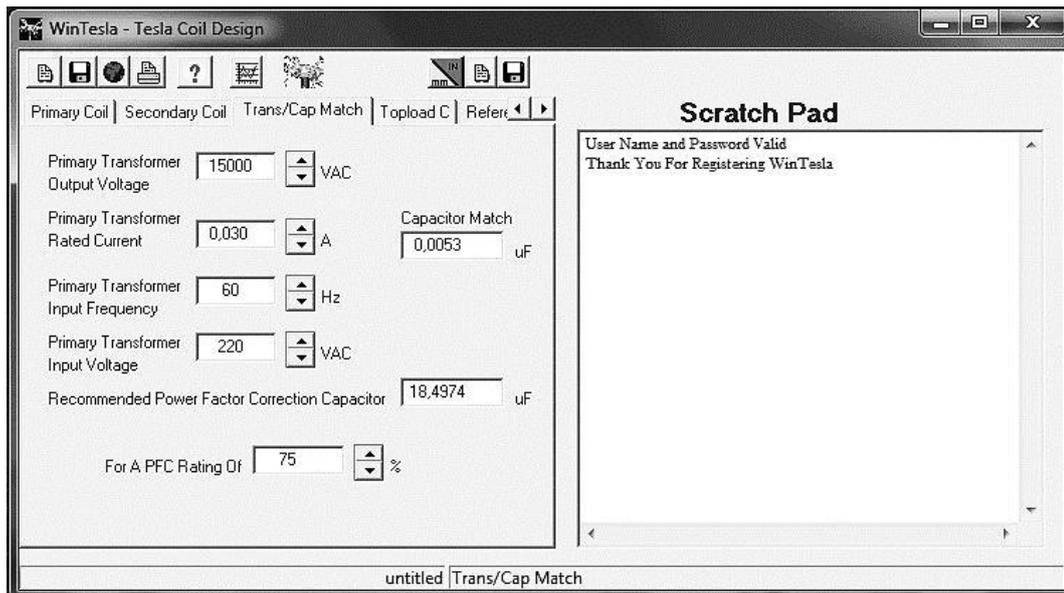
Mostrar las Filas Impares

Gira	Diámetro	Altura	Longitud	Inductancia
1	18,9 cm	0,6 cm	0,6 m	0,3 uH
2	21,7 cm	0,6 cm	1,3 m	1,3 uH
3	24,6 cm	0,6 cm	2 m	2,8 uH
4	27,4 cm	0,6 cm	2,9 m	5 uH
5	30,3 cm	0,6 cm	3,9 m	7,7 uH
6	33,2 cm	0,6 cm	4,9 m	11,1 uH
7	36 cm	0,6 cm	6 m	15,2 uH
8	38,9 cm	0,6 cm	7,3 m	20,1 uH
9	41,7 cm	0,6 cm	8,6 m	25,9 uH
10	44,6 cm	0,6 cm	10 m	32,4 uH
11	47,5 cm	0,6 cm	11,5 m	40 uH
12	50,3 cm	0,6 cm	13 m	48,5 uH
13	53,2 cm	0,6 cm	14,7 m	58 uH
14	56 cm	0,6 cm	16,5 m	68,7 uH
15	58,9 cm	0,6 cm	18,3 m	80,5 uH
16	61,8 cm	0,6 cm	20,3 m	93,5 uH
17	64,6 cm	0,6 cm	22,3 m	107,8 uH
18	67,5 cm	0,6 cm	24,4 m	123,4 uH
19	70,3 cm	0,6 cm	26,6 m	140,4 uH
20	73,2 cm	0,6 cm	28,9 m	158,9 uH
21	76,1 cm	0,6 cm	31,3 m	178,8 uH
22	78,9 cm	0,6 cm	33,8 m	200,2 uH
23	81,8 cm	0,6 cm	36,4 m	223,3 uH
24	84,6 cm	0,6 cm	39 m	248 uH
25	87,5 cm	0,6 cm	41,8 m	274,5 uH

3.4.2 Janelas do Software WinTesla

Os parâmetros desejados são inseridos mudando-se os valores de entrada com as setas para cima ou para baixo. Os outros campos são os campos passivos que retornam os valores dependentes.

Figura 5 – Parâmetros de Entrada e Características do NST



Observar que já é sugerido o valor do capacitor de fator de correção de potência para o NST, dados seus parâmetros de entrada e saída.

Figura 6 – Características do Primário

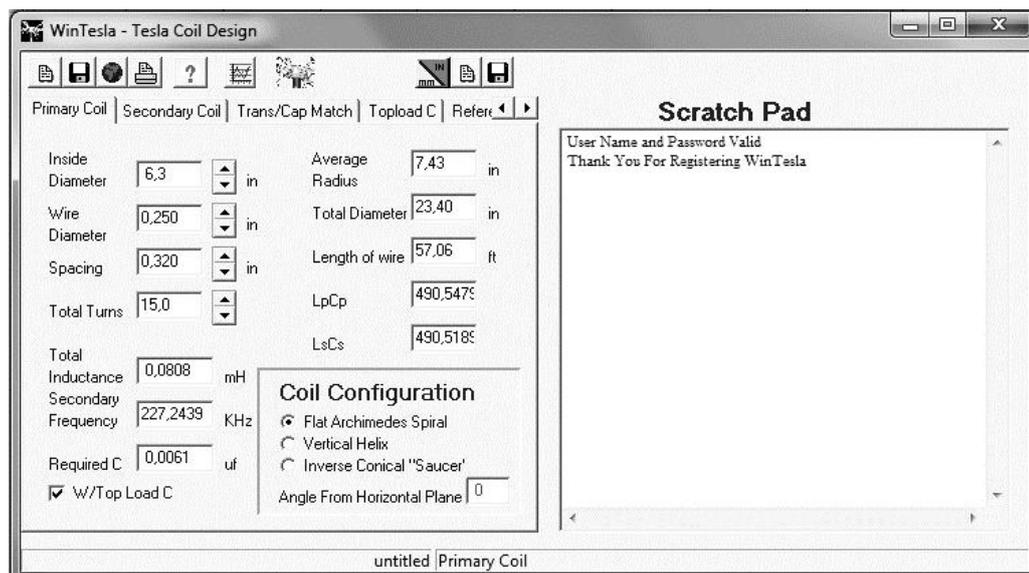


Figura 7 – Características do Faiscador

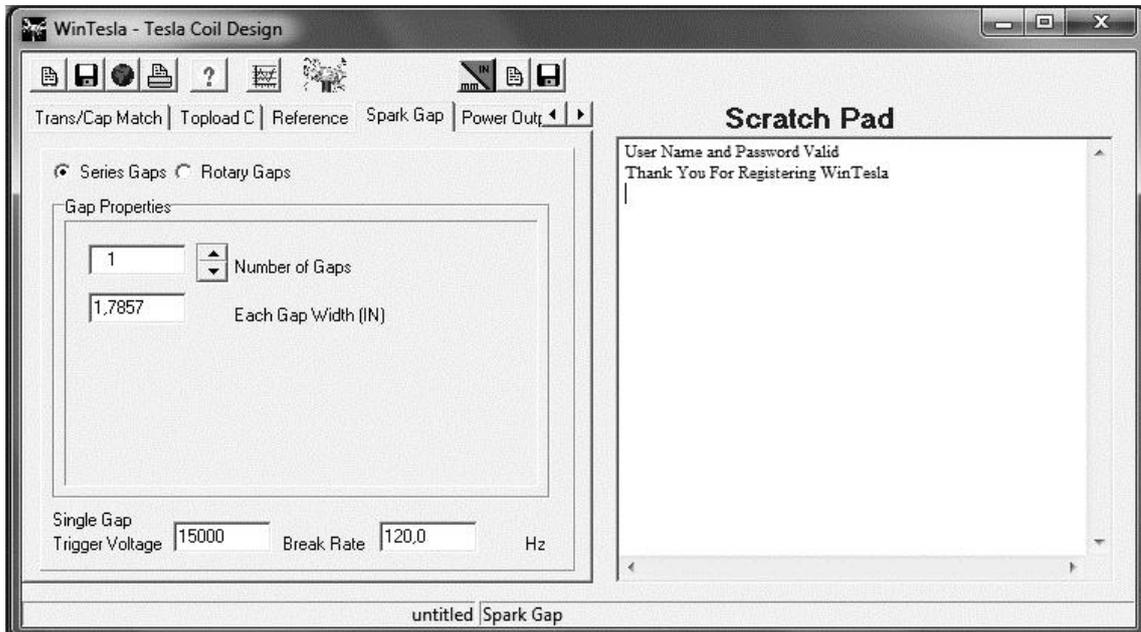


Figura 8 – Características do Secundário

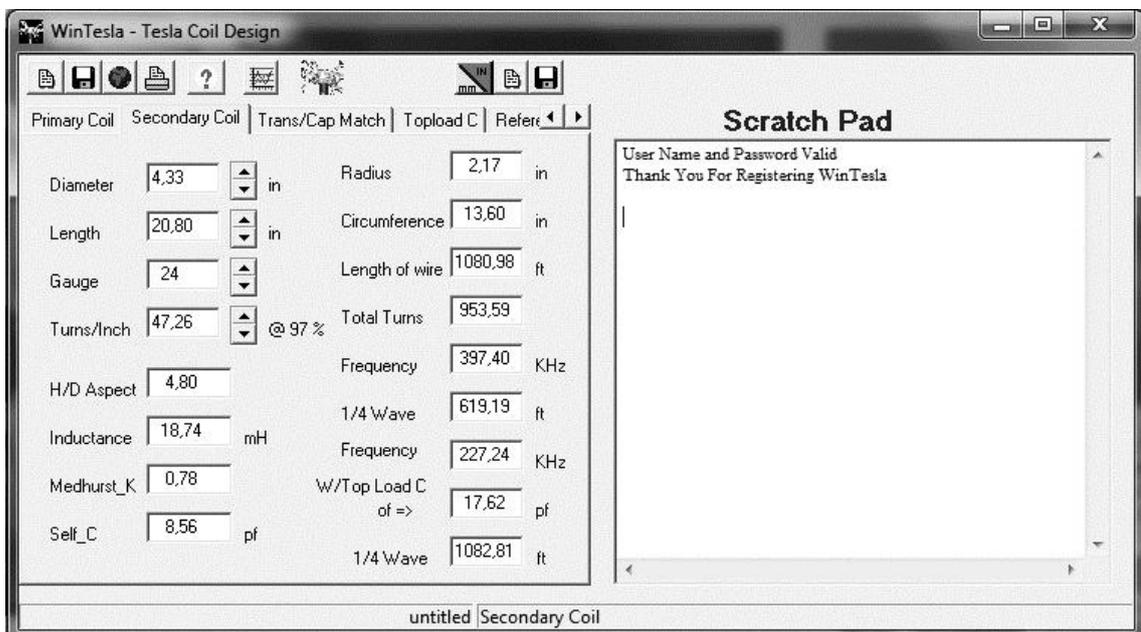
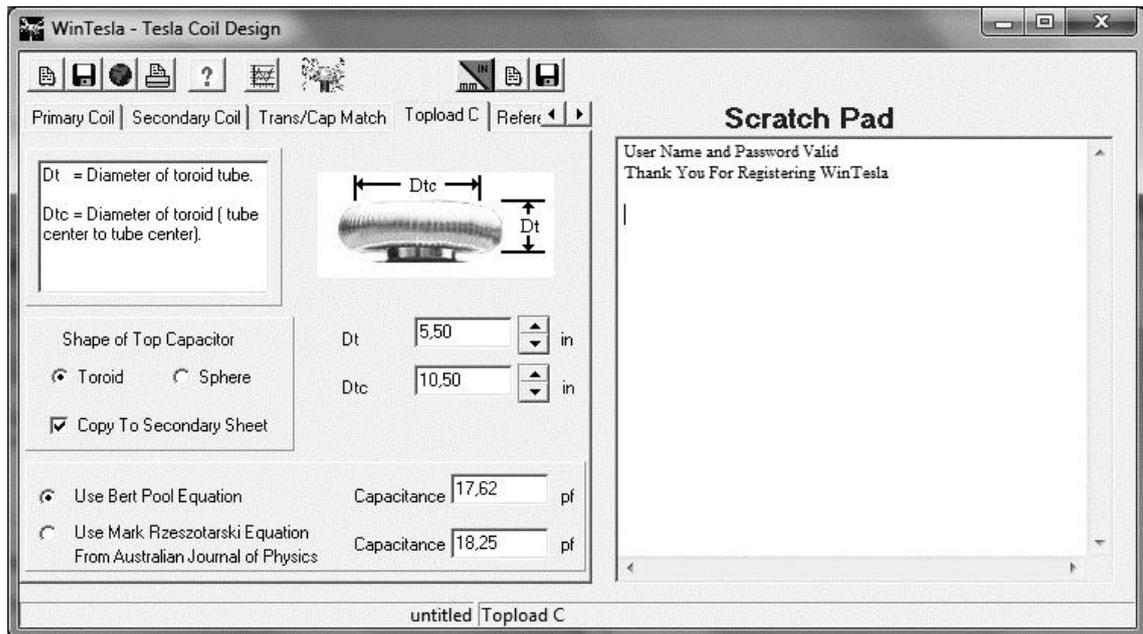


Figura 9 – Características da Carga de Topo



3.4.3 Janelas do Software Tesla Coil Cad

Figura 10 – Parâmetros de Entrada

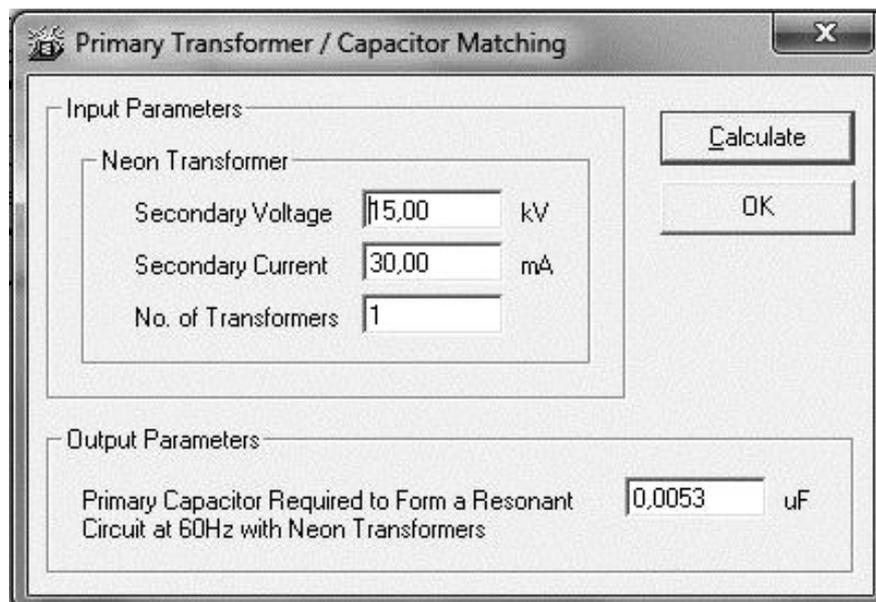


Figura 11 – Características do Primário

Primary Coil Calculations

Input Parameters

Use Design Information

- Primary Circuit Capacitor
- Secondary Coil Resonant Frequency
- Secondary Coil Diameter

Primary Capacitance: 0,0053 uF

Primary Resonant Frequency: 224,47 kHz

Secondary Coil Diameter: 110,00 mm

Primary Conductor Diameter: 6,00 mm

Primary Turn to Turn Spacing: 8,00 mm

Spacing Between the Secondary and the Inside Turn of the Primary: 47,00 mm

Output Parameters

The primary will need to be tapped between turn 14 and turn 15 to form a resonant circuit at 224,47kHz

Approximate inductance:

Turn 1	0,48uH
Turn 2	1,77uH
Turn 3	3,78uH
Turn 4	6,51uH
Turn 5	9,97uH
Turn 6	14,20uH
Turn 7	19,25uH
Turn 8	25,15uH
Turn 9	31,96uH
Turn 10	39,74uH
Turn 11	48,53uH
Turn 12	58,39uH

Calculate OK

Figura 12 – Características do Secundário

Secondary Coil Calculations

Input Parameters

Diameter of Secondary Coil: 110,00 mm

Winding Height of Secondary Coil: 528,00 mm

Wire Diameter for Secondary Coil: 0,5461 mm

Spacing Between Windings: 0,00 mm

Calculate OK

Output Parameters

Aspect Ratio: 4,80 : 1

Secondary Turns: 966,00

Secondary Wire Length: 334,12 m

Secondary Inductance: 19,28 mH

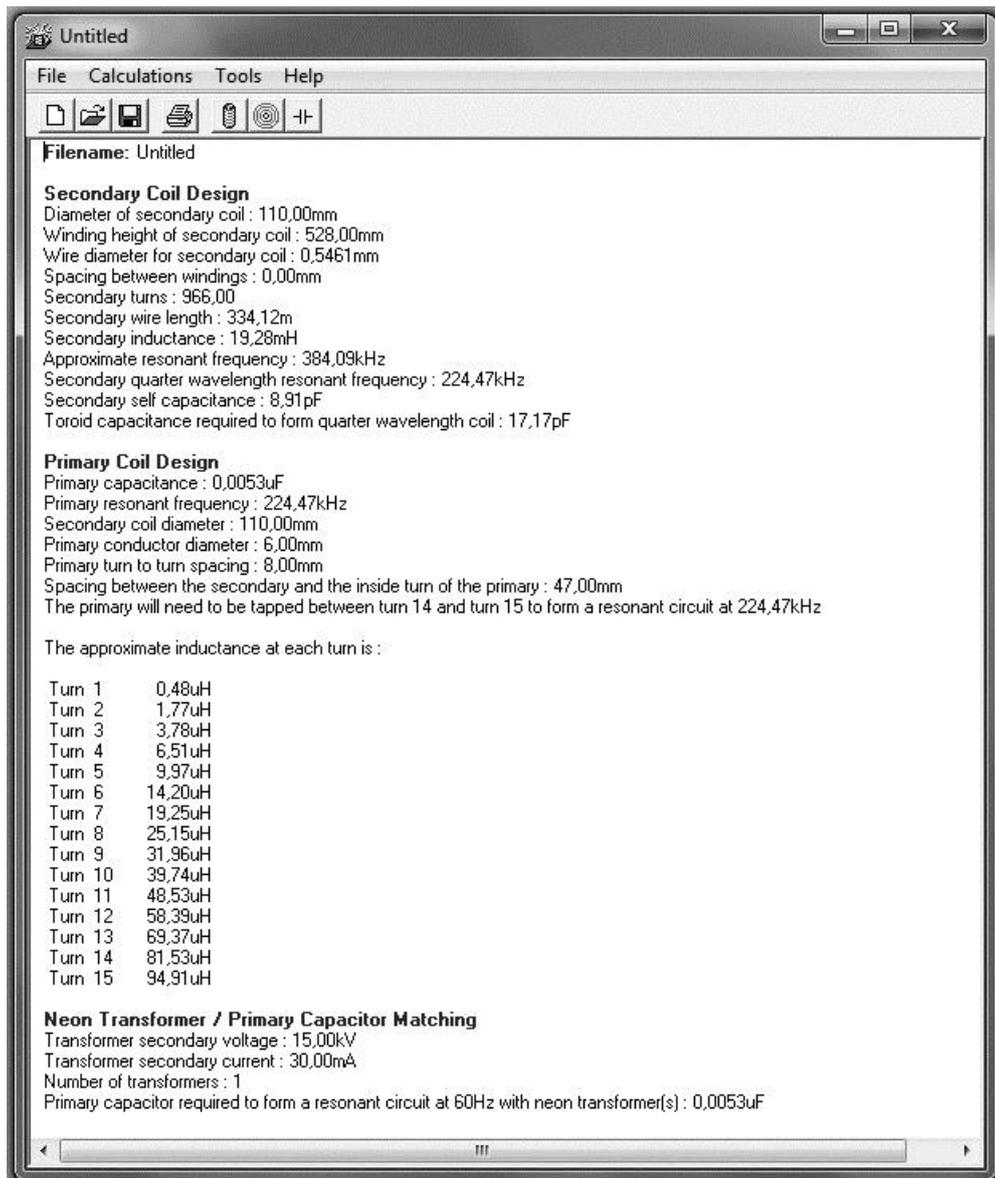
Approximate Resonant Frequency: 384,09 kHz

Secondary Quarter Wavelength Resonant Frequency: 224,47 kHz

Secondary Self Capacitance: 8,91 pF

Toroid Capacitance Required to Form Quarter Wavelength Coil: 17,17 pF

Figura 13 – Tela Resumo



3.4.4 Criando a uma planilha específica

Sugere-se como um excelente exercício de interdisciplinaridade e o, atualmente, imprescindível aprendizado e familiarização dos alunos com os princípios das planilhas eletrônicas, a criação, com a intervenção de um professor de informática, de uma planilha eletrônica específica para o projeto. As fórmulas para a programação dessa planilha serão as referidas no tópico 3.3: Descrição e Cálculos de uma BT genérica.

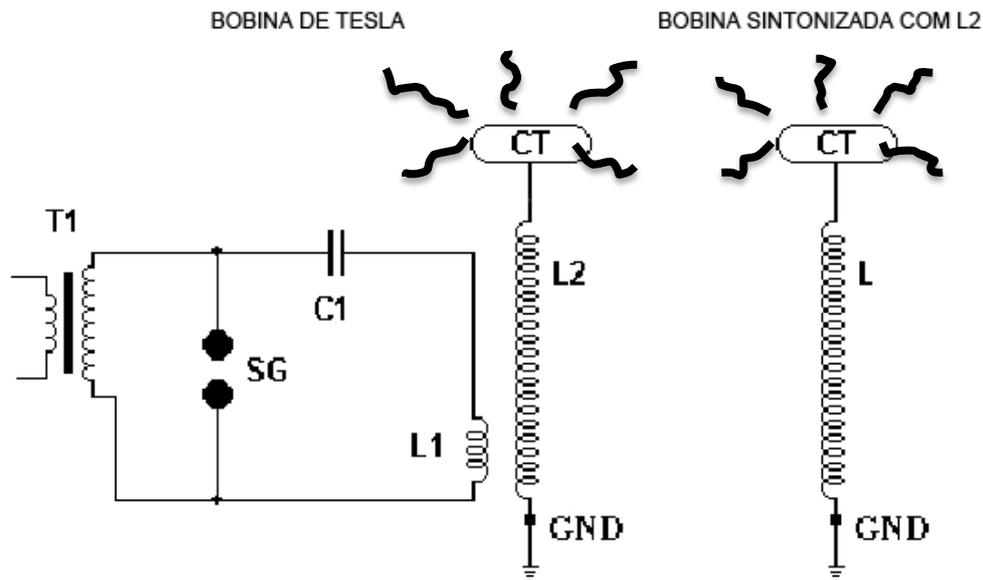
3.5 Sugestões de Experimentos com o uso da Bobina de Tesla

As possíveis demonstrações que podem ser feitas com a BT são tantas que, praticamente, só dependem do nível de conhecimento, pesquisa e criatividade do professor. Enumeraremos algumas a seguir:

a) Ressonância

Se confeccionarmos outra bobina com as características de L2 da bobina ativa (diâmetro, altura, quantidade de espiras, diâmetro do fio, toróide com as mesmas características), e colocarmos essa nova bobina nas proximidades de L2, ela, por ressonância, se comportará da mesma maneira que L2 lançando arcos elétricos e raios corona. É o princípio da antena transmissora e receptora.

Figura 14 – Diagrama esquemático do experimento da “ressonância”



b) Ionização de gases

Aproximando-se do secundário (L2) uma lâmpada fluorescente (que pode estar queimada) ou um tubo de vidro com ar rarefeito, representando um gás à baixa pressão, observa-se que a lâmpada (ou o tubo de vidro) se ilumina. Quanto maior a proximidade do secundário, maior é a intensidade da luminosidade do gás. Essa

luminescência da lâmpada é decorrente da ionização do gás em seu interior, é provocada pelo campo eletromagnético de alta frequência emitido pelo secundário.

c) A blindagem eletrostática ou eletromagnética

Prenda, com fita adesiva, duas pequenas lâmpadas néon, uma dentro e outra fora, em uma pequena lata metálica ou rede metálica. Segure a lata com as mãos, formando o terra, próximo ao terminal de saída da bobina. Constata-se que a lâmpada de néon interna, contrariamente à externa à lata, não acende. Logo, a lata cria uma espécie de blindagem ao campo elétrico na parte interna da lata, não acendendo a lâmpada.

d) O efeito corona (efeito de pontas)

Só pelo fato da bobina estar ligada, já se pode observar o efeito nos terminais de saída no secundário L2.

Para incrementar e tornar o efeito mais nítido, usar os seguintes acessórios:

i. Acessório 1: Adaptado ao toróide da bobina. Construído de fios de cobre com a seguinte forma:

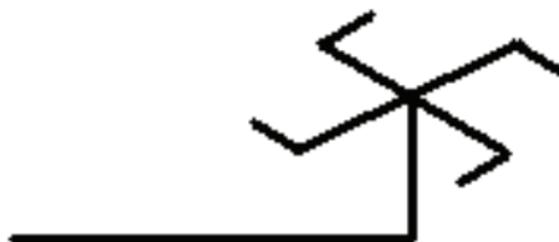


Figura 15 – Esquema do acessório para incrementar o efeito corona

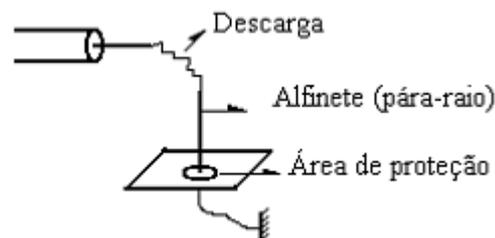
ii. Acessório 2: Fixar uma lâmpada incandescente (mesmo queimada) a uma haste de vidro ou material isolante. Ao aproximar a lâmpada do toróide, observa-se o efeito no interior da lâmpada.

e) Descargas elétricas de alta tensão

i. Para-raios

Adaptar uma pequena plataforma de papelão duro, colocando-se um alfinete de pé no centro da plataforma. O alfinete deve estar aterrado. Na saída da BT liga-se um fio de cobre duro com ponta na extremidade livre. Esse fio representará a nuvem carregada que liberará o “raio”.

Figura 16 – Esquema do experimento “para-raios”



Notar que a tendência da descarga não é atingir a plataforma e, sim, o alfinete (para-raios). Observar que há uma região de proteção em torno do para-raios – que é aproximadamente 2,5 vezes a altura do para-raios – onde não há descargas quando realizamos um movimento com a plataforma em torno do fio de descarga.

ii. Isolantes e altas tensões

Acople um fio isolado na saída da bobina com o faiscador no mínimo de funcionamento. Aproxime a palma da mão do fio. Se, nesse momento, escurecer-se temporariamente a sala, observar-se-á que há fugas (descargas) do fio para a mão através do isolante do fio.

iii. Descargas elétricas em água doce e salgada

Usando um fio de cobre conectado a um dos terminais do secundário (L2), como na experiência com o para-raios, pode-se estudar as diferenças entre as

descargas elétricas em água doce e água salgada contidas, por exemplo, em dois béqueres. Observa-se que as descargas em água doce espalham-se mais sobre a superfície do que as descargas em água salgada. A situação simula relâmpagos que caem em rios ou no mar e indica maiores riscos para o primeiro caso.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A iniciativa de desenvolver esse projeto seguiu as orientações dos PCN's, que é o de promover melhor qualidade no ensino-aprendizagem no ensejo da motivação do aluno desde os preparativos do trabalho, durante, que sempre proporciona uma salutar ansiedade e expectativa do aluno em querer ver concluído o trabalho em equipe, a montagem final e o seu funcionamento, no qual aspira desde o começo para ver a tarefa cumprida com êxito.

O aluno, ao desenvolver as habilidades e as competências, tende a absorver com mais facilidade os conceitos mais abstratos, a compreender, intuir, visualizar e realizar o manuseio do experimento. Adquirirá mais familiaridade com a Física, tornando-se mais preparado para aplicação de seus conhecimentos em sua vida futura após a conclusão do Ensino Médio.

Assim, procurou-se apresentar uma proposta motivadora para o ensino de eletrostática e eletrodinâmica para o ensino médio e/ou superior. Seu principal objetivo encontra-se em facilitar a compreensão de fenômenos elétricos, mediante visualização, a fim de reforçar os conceitos que foram ou que serão vistos na teoria e motivar os alunos para o estudo posterior dos referidos temas.

A proposta se baseia numa da construção de uma BT, o que por si só é um excelente exercício didático, como também na implementação de uma série de experimentos práticos com materiais acessórios para a visualização de fenômenos elétricos com o auxílio da BT construída para esse fim.

Os experimentos podem ser feitos em sala de aula, sem a necessidade de máquinas acessórios de elevadas potências e sofisticados sistemas de segurança. Simplesmente se emprega uma ferramenta didática de grande versatilidade capaz de reproduzir qualitativamente fenômenos associados à eletricidade.

Após sua idealização e execução, a experiência tem provado ser positiva para os estudantes, principalmente em dois aspectos relevantes:

- a) subsídio na compreensão dos fenômenos elétricos e

b) motivação.

Embora este projeto tenha cumprido seus objetivos levantados desde a sua criação, permanece o desafio de continuar nos aspectos metodológicos desta e de outras experiências que possibilitem que um maior número de alunos compreendam corretamente a manifestação de fenômenos a partir de sua visualização e que esse fato é visto totalmente refletido no aproveitamento da disciplina e nas avaliações.

Deseja-se também, que este trabalho tenha convencido aos professores de Física de que o interesse dos alunos pela disciplina pode ser estimulado não só por apresentar uma experiência de caráter espetaculoso, mas também por uma apresentação adequada de ideias históricas. Esperamos, também, ter aberto os olhos para algumas possibilidades educacionais de envolver antigos e praticamente desconhecidos equipamentos didáticos no ensino da Física.

REFERÊNCIAS

ANGOTTI, J. A. P. Desafios para a formação presencial e à distância do físico educador. **Revista Brasileira do Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 28, n. 2, p.143-150, 2006.

ARAÚJO, M. S. T; ABIB, M. L. V. S. Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades. **Revista Brasileira do Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 25, n. 2, p.176-194, 2003.

BORGES, O. Formação inicial de professores de Física: Formar mais! Formar melhor! **Revista Brasileira do Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 25, n. 2, p.135-142, 2006.

CAMARGO, E. P.; SILVA, D. É possível ensinar Físicas a alunos cegos ou com pouca visão? Proposta de atividades de ensino de Física que enfocam o conceito de aceleração **Física na Escola**, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p.30, 2007.

CARVALHO, S. H. M. Uma viagem pela Física e Astronomia através do teatro e da dança. **Revista Brasileira de Física**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, 2006.

CATELLI, F.; MARTINS, J. A.; SILVA, F. S. Um estudo de cinemática com câmara digital. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre, v.32, n.1, 2010.

CAVALCANTE, M.; BONIZZIA, A.; GOMES, L. C. P.. O ensino e aprendizagem de física no Século XXI: sistemas de aquisição de dados nas escolas brasileiras, uma possibilidade real. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 31, n. 4, p. 4501, dez. 2009.

CHIQUITO, A. J.; LANCIOTTI JR, F.. Bobina de Tesla: dos circuitos ressonantes LC aos princípios das telecomunicações. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 22, n. 1, p. 69, mar, 2000.

DWYER, T.; WAINER, J.; DUTRA R. S.; COVIC, A.; MAGALHÃES, V. B.; FERREIRA, L. R. R.; PIMENTA, V. A. & CLÁUDIO, K. Desvendando mitos: os

computadores e o desempenho no sistema escolar. **Revista Educação e Sociedade**, Porto Alegre, vol. 28, n.101, p.1303-1328, set/dez.2007.

ELECTRICAL SAFETY. < Disponível em:
http://www.allaboutcircuits.com/vol_1/chpt_3/index.html > Acesso em: 08/06/2012

IACHEL, G.; BACHA, M. G.; PAULA, M. P.; SCALVI, R. M. F. A montagem e a utilização de lunetas de baixo custo como experiência motivadora ao ensino de astronomia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. Porto Alegre, v. 31, n. 4, p. 4502-4508. Out./Dec. 2009.

MONTEIRO, M. A. A.; MONTEIRO, I. C.C.; GASPAR, A.; GERMANO, J. S. E. Proposta de Atividade para Abordagem do Conceito de Entropia no Ensino Médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 26, p. 367-378, 2009.

MOREIRA, M. A. Ensino de física no Brasil: retrospectiva e perspectiva. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 22, n. 1, p. 94-99, mar. 2000.

OLIVEIRA, L. D. Aprendendo Física com o Homem Aranha: utilizando cenas de filmes para discutir conceitos de Física no ensino médio. **Física na Escola**, v. 7, n. 2, 2006.

Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM). Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, 1999. < Disponível em:
<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf> >. Acesso em: 01/06/2012.

PIUBELLI, S. L.; ERROBIDART, H. A.; GOBARA, S. T.; ERROBIDART, N. C. G. Simulador de propagação de ondas mecânicas em meios sólidos para o ensino da Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.32, n.1, p.1501-1506, 2010.

RICARDO, E. C.; FREIRE, J. C. A. A concepção dos alunos sobre a física do ensino médio: um estudo exploratório. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 2, p.251-266, 2007.

ROCHA, J. F. M. O conceito de “campo” em sala de aula - uma abordagem histórico-conceitual. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 1, p.1604, 2009.

ROHLING, J. H.; NEVES, M. C. D.; SAVI, A. A.; SAKAI, F. S.; RANIERO, L. J.; BERNABE, H. S.. Produção de Filmes Didáticos de Curta Metragem e CD-ROMs para o Ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, n. 2, jun. 2002.

SALES, G.; VASCONCELOS, F. H. L.; FILHO, J. A. C; PEQUENO, M. C. Atividades de modelagem exploratória aplicada ao ensino de física moderna com a utilização do objeto de aprendizagem pato quântico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 3, p.3501.1-3501, set. 2008.

SCHROEDER, C. A importância da física nas quatro primeiras séries do ensino fundamental. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v 19, n.1, p.89-94, 2007.

VEIT, E. A.; TEODORO, V. D. Modelagem no ensino/aprendizagem de física e os novos parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 87-96, jun. 2002.

VYGOTSKY, L. **A Formação Social da Mente: O Desenvolvimento dos Processos Psicológicos Superiores**, 4ª edição, São Paulo: Martins Fontes, 1991.

WERLANG, R.; SCHNEIDER, R. S.; SILVEIRA, F. L. Uma experiência de ensino de física de fluidos com o uso de novas tecnologias no contexto de uma escola técnica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 30, n. 1, p.1503-1509, mar. 2008.

ANEXO 1 – TEORIA BÁSICA DE UMA BOBINA DE TESLA

Para ampliar a compreensão e dar respaldo teórico aos leitores, este anexo explora a teoria eletromagnética do funcionamento bem como informa alguns detalhes técnicos necessários à construção de uma BT convencional.

Introdução

A Bobina de Tesla foi inventada por Nikola Tesla, engenheiro iugoslavo radicado nos Estados Unidos, na segunda metade do século XIX. O invento foi desenvolvido com a intenção de realizar experiências com correntes alternadas de altas frequências (acima de 100kHz), buscando inicialmente uma forma de gerar e transmitir correntes elétricas a grandes distâncias sem o inconveniente das enormes perdas causadas pelo efeito Joule associada à utilização de corrente contínua em materiais condutores.

A Bobina de Tesla é essencialmente um transmissor de rádio sem antena, e assim Tesla merece algum crédito no que concerne à invenção do rádio, embora seu interesse estivesse mais relacionado à transmissão de energia elétrica do que à comunicação. Tesla também foi o responsável pela construção dos primeiros alternadores e, ironicamente, sempre foi desencorajado em seu trabalho por Thomas A. Edison que dizia ser impossível o uso de correntes alternadas na geração e distribuição de eletricidade em escala comercial.

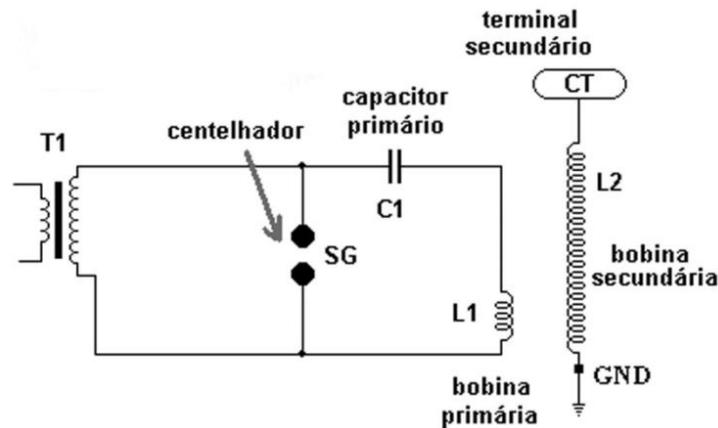
Descrição do equipamento

A **Bobina de Tesla** é um transformador ressonante com núcleo de ar que permite alcançar altíssimas tensões em alta frequência com relativa facilidade. De acordo com a Figura A1.1, o sistema está composto por dois circuitos básicos: o circuito primário e o circuito secundário.

Podemos observar que o primário está composto por elementos discretos: o transformador elevador de tensão **T1**, o centelhador (fiscador) **SG**, o capacitor primário **C1** e a bobina primária **L1**.

O secundário compõe-se da bobina secundária **L2**, do terminal secundário **CT** e da conexão à terra **GND**; neste circuito o único elemento discreto é a conexão a terra **GND**. Tanto o terminal **CT** e a bobina secundária **L2** possuem parâmetros distribuídos.

Figura 17 – Diagrama esquemático do circuito de uma BT convencional



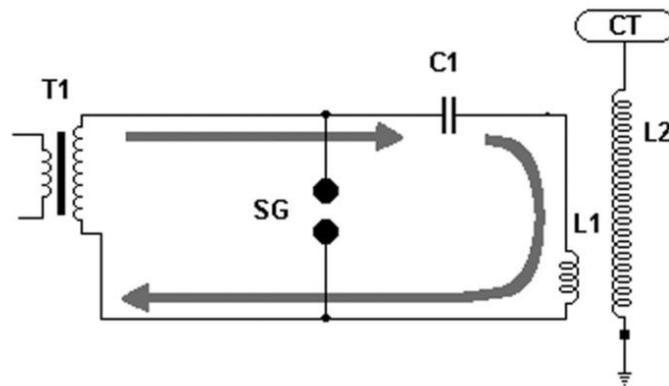
Funcionamento

A energia acumulada no capacitor primário **C1** depende de 2 valores: a capacidade do mesmo e o quadrado da tensão de carga (lembrando que [E]=Joule, [C]=Farad e [V]=Volt), ou seja:

$$E = \frac{CV^2}{2}$$

O valor máximo da capacidade do capacitor primário **C1** está determinado pela impedância de saída do transformador **T1**, à frequência de linha, que, no nosso sistema de distribuição é 60 Hz, de forma que para maximizar a energia armazenada devemos aumentar a tensão de carga. Como o sistema toma energia da linha, no nosso sistema, 220 VCA, a única solução para aumentar a tensão de carga é precisamente o emprego do transformador elevador de tensão **T1**.

Figura 18 – Carregamento do capacitor primário



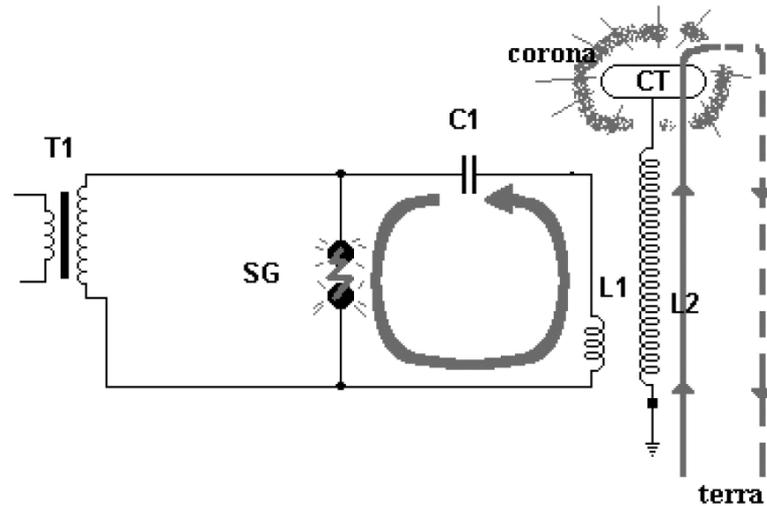
Partindo agora de **T1** observamos que a tensão de linha, digamos 220 VCA, 60 Hz, é aumentada, por exemplo, para 15.000 volts (15kV). Assim, o capacitor primário **C1** é carregado 2 vezes durante cada ciclo a uma tensão eficaz de 15 kV. É importante assinalar aqui que a frequência da onda que carrega o capacitor é a frequência de linha (60 Hz) e que não guarda relação direta com a frequência de ressonância do sistema em questão.

Vejamos agora o funcionamento propriamente dito do circuito: Observando a Figura A1.2, o capacitor **C1** é carregado pelo secundário do transformador **T1** (12 kVrms a 60 Hz) através da bobina primária **L1** que possui uma indutância muito pequena.

Como o valor da frequência de linha é muito baixo resulta que a resistência de **L1** à passagem da corrente de carga é também muito pequena.

De acordo com isto, o casamento de impedâncias se faz entre o secundário de **T1** e o capacitor **C1** (que de fato é a carga vista por **T1**).

Figura 19 – Disparo do faiscador e descarga do capacitor pela bobina primária

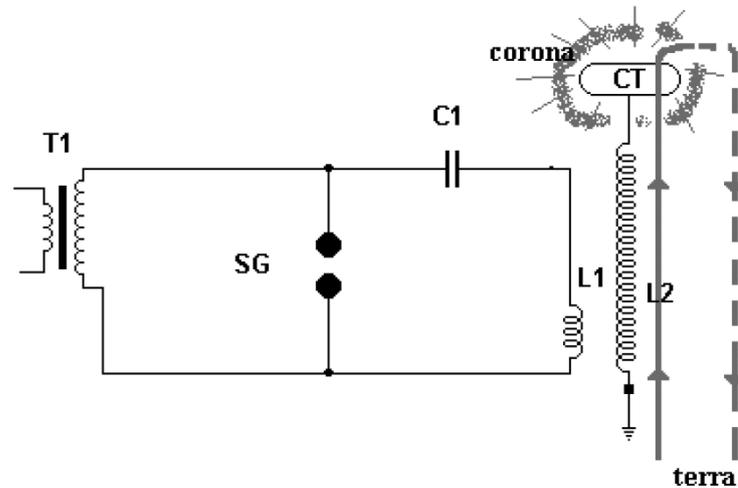


De acordo com a Figura A1.3, quando a tensão instantânea entre os terminais do faiscador **SG** atinge o valor necessário para conduzir, o arco se estabelece e agora a carga acumulada em **C1** flui para **L1**. O circuito formado por **C1**, **L1** e **SG** é um circuito ressonante que produz ondas amortecidas. O amortecimento é devido principalmente à resistência dinâmica do faiscador **SG**.

O campo elétrico de **C1** transforma-se em magnético em **L1** e vice-versa. O campo em **L1** produz uma tensão induzida na bobina secundária **L2**.

Se não existisse resistência no circuito primário teríamos ondas contínuas (CW – Continuous Waves), porém, como essa resistência sempre existe, devido principalmente ao faiscador **SG**, introduz perdas gerando assim ondas amortecidas (DW – Dampened Waves), pois cada pico sucessivo tem uma intensidade menor (amortecimento).

Figura 20 – Indução de alta tensão no secundário provocando o efeito corona

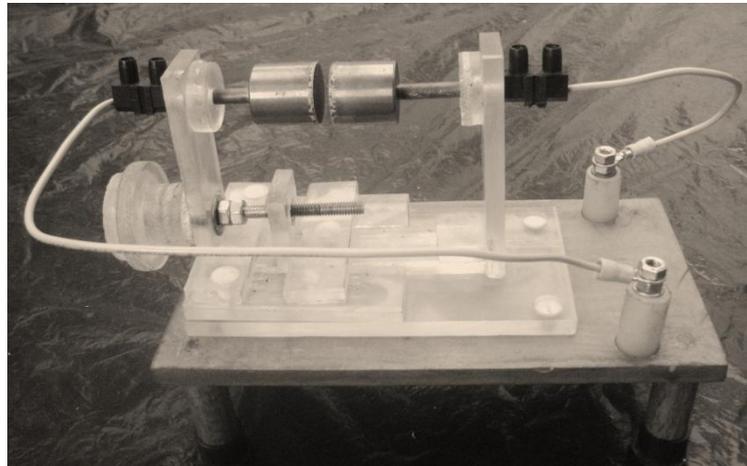


Supondo agora que a tensão no faiscador seja insuficiente para mantê-lo conduzindo (Figura A1.4), a energia transferida ao secundário fica livre para interagir com os parâmetros do circuito oscilante formado por **L2** e **CT** (lembrar que a bobina secundária já é por si mesma um circuito oscilante).

O terminal do secundário **CT** é na verdade um capacitor, funcionando como uma das armaduras e o plano terra fazendo a papel da restante armadura (por isso para calcular seu valor costuma-se empregar fórmulas que indicam a capacitância isotrópica correspondente à forma física do terminal **CT**).

ANEXO 2 – FOTOS DO PROTÓTIPO

Foto 1 – Faiscador (Centelhador)



FONTE PRÓPRIA

Foto 2 – Capacitor de garrafas



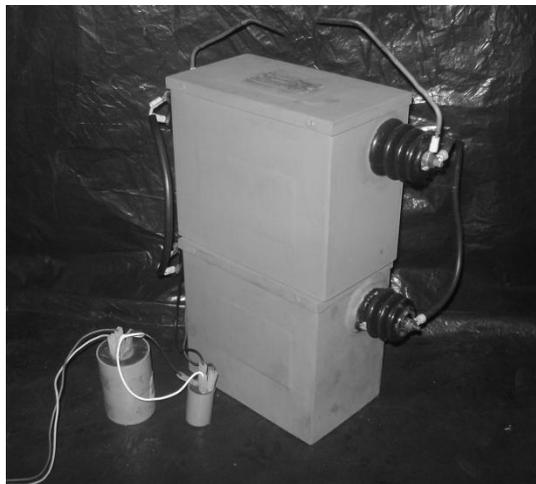
FONTE PRÓPRIA

Foto 3 – Primário, secundário e carga de topo



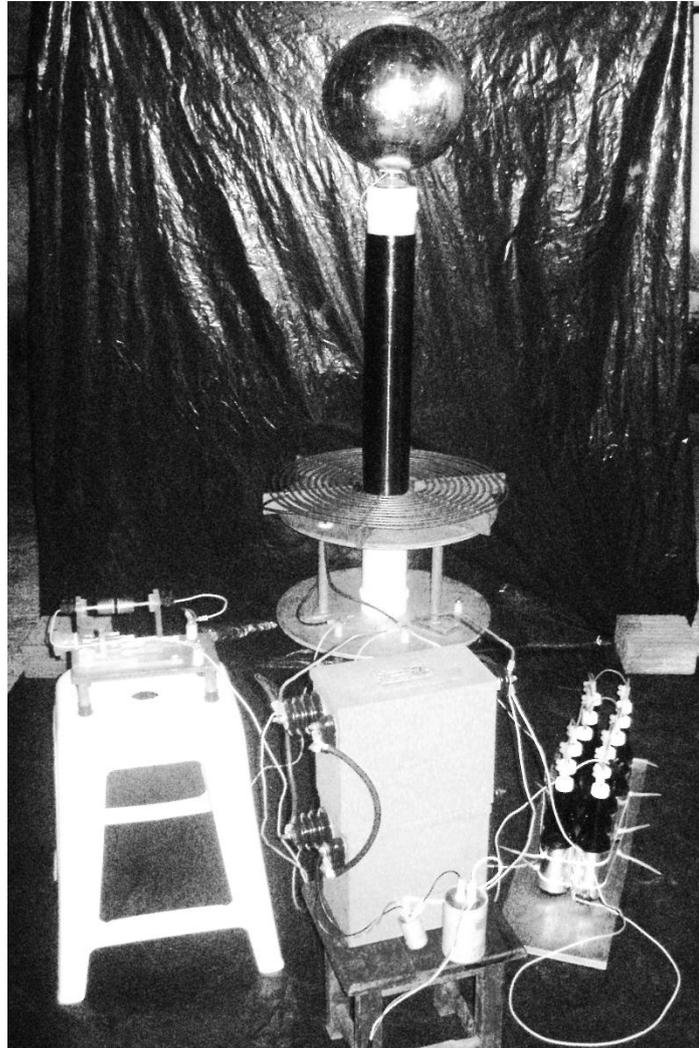
FONTE PRÓPRIA

Foto 4 – Transformadores NST



FONTE PRÓPRIA

Foto 5 – Protótipo da Bobina de Tesla montada e operacional



FONTE PRÓPRIA