

WAGNER ANTONIO FARIAS DONCEV

**GERAÇÃO DE $\frac{1}{4}$ PEM POR COMPRESSÃO DE
CAMPO ELETROMAGNÉTICO**

NAVIRAÍ / MS

WAGNER ANTONIO FARIAS DONCEV

**GERAÇÃO DE $\frac{1}{4}$ PEM POR COMPRESSÃO DE
CAMPO ELETROMAGNÉTICO**

LICENCIATURA EM QUÍMICA

Autor: Me. Wagner Antonio Farias Doncev

Orientador: Prof. Msc. Gleison Nunes Jardim

Co-orientador: Prof. Dr. Rogério C. de Lara da Silva

DOI: 10.5281/zenodo.11356885

NAVIRAÍ – MS

2024

*“Deus é hábil mas nunca enganador”
(Albert Einstein).*

AGRADECIMENTOS

A DEUS em primeiro lugar. Criador de todo o universo, autor da minha vida, que, mesmo não merecendo, me deu a oportunidade de iniciar este curso e forças para concluí-lo. Tenho certeza que sem Ele eu não estaria agora escrevendo estas palavras de agradecimentos. Porque, Dele por Ele, para Ele são todas as coisas, inclusive minha vida.

A minha família, que sempre me apoiou, não apenas nesse projeto, mas em todas as minhas conquistas profissionais. Agradeço em especial ao meu pai (Antonio Doncev), minha Irmã querida (Zí), agradeço também a Arthur e Nethelly (filho e sobrinha) pelas alegrias que vocês tem me dado, a tia Laura e o tio Fioco pelas acolhidas no sítio nos finais de ano.

Em um momento tão especial como este não poderia deixar de fazer um agradecimento póstumo ao meu Avô paterno Estefan Doncev que foi meu segundo pai aqui na Terra.

Agradeço a todos os meus companheiros de trabalho do **SENAI**, em especial a Sandra Mara Denega pelo apoio e motivação. Com relação a amigos, agradeço de coração ao Israel Ortiz (pela escova de dentes, que foi o primeiro objeto que ganhei logo após o incêndio de minha casa) por me ouvir e vender conselhos nos momentos de reflexão.

Ao Tílicário uma amizade que tinha tudo pra não dar certo devido a forma que nós nos conhecemos. Ao Francisco Assis de Oliveira Andrade pelos momentos descontraídos aos quais consegui me manter motivado para concluir este trabalho.

Em especial a Thalita Keitlyn Silva Moraes pela dedicação em confeccionar as bobinas de compressão de campo eletromagnético e também pela companhia em diversos dias e horas na tabulação dos dados deste projeto. Aos Professores; Sandro Minguzzi, Rogério César de Lara da Silva, Wagner Lopes Klein pelo aprendizado durante a minha formação e pela orientação neste projeto.

E por fim, ao meu orientador que muito se dedicou em passar os conhecimentos relacionados ao meu curso. Os quais, me deram base para o desenvolvimento deste projeto. Prof. Gleison Nunes Jardim (amigo de longa data), pela ajuda neste trabalho, pelas sugestões e apoio em todos os momentos.

ÍNDICE

RESUMO.....	07
I – INTRODUÇÃO.....	08
I.1. JUSTIFICATIVA.....	09
II. OBJETIVO.....	10
III. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
III.1. HISTÓRICO DE BASE.....	11
III.2. O CIRCUITO LC.....	13
III.3. REATÂNCIA CAPACITIVA.....	14
III.4. REATÂNCIA INDUTIVA.....	15
III.5. INDUTÂNCIA.....	15
III.6. RESSONÂNCIA ELETROMAGNÉTICA.....	16
III.7. PULSO ELETROMAGNETICO DE ORIGEM NUCLEAR.....	17
III.8. GERAÇÃO DE PEM COM VÁLVULAS DE RESSONÂNCIA.....	20
III.9. GERAÇÃO DE PEM COM EXPLOSIVOS QUÍMICOS.....	21
IV. METODOLOGIA.....	23
V. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
VI. CONCLUSÃO.....	36
VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37

RESUMO

Este trabalho tem ênfase na geração de ondas eletromagnéticas controladas por mecanismos eletrônicos digitais, como o circuito integrado contador de efeito cascata e oscilador de onda quadrada (sinal piloto) que, através de fibra óptica dimensiona o período de formação, e da compressão do pulso eletromagnético (PEM). Os princípios básicos de acoplamento, casamento de impedância e o funcionamento do transformador de rádio frequência e os seus fenômenos físicos como indução e ressonância eletromagnética em LC, bem como as formas atuais e convencionais de geração de PEM e suas propagações serão abordadas nesta pesquisa.

PALAVRAS-CHAVE. Geração de ondas eletromagnéticas; Mecanismos eletrônicos digitais; Compressão do pulso eletromagnético (PEM)

I - INTRODUÇÃO

Estudada por gênios como Heinrich Hertz, Guglielmo Marconi e Nikola Tesla e inventada a mais de um século, a tecnologia de geração de pulso eletromagnético até algum tempo era completamente desconhecida pela maioria das pessoas. Felizmente, através das inúmeras aplicações atuais, este cenário está em constante transformação ⁽¹⁾.

Este pulso de alta energia (PEM) se propaga pelo espaço gerando um campo elétrico em defasagem com relação ao campo magnético (característica de ondas eletromagnéticas), cuja frente de onda pode danificar componentes eletrônicos ⁽²⁾.

Os pulsos eletromagnéticos conhecidos podem ser produzidos por fenômenos naturais (explosões solares ou explosões estelares) ou pela ação humana. Neste último caso, são produzidos de forma relativamente descontrolada, como durante a explosão de bombas nucleares ou em laboratórios de forma controlada.

Armas convencionais, como as bombas de pulso elétrico, também podem produzir um pulso eletromagnético de alcance reduzido, capaz de destruir equipamentos microeletrônicos.

Os modelos mais simples usam mecanismos químicos para a formação do comprimento de onda, quanto mais rápido o explosivo, menor será o comprimento de onda.

Neste projeto, será demonstrado a construção de um gerador de Pulso Eletromagnético capaz de gerar ondas de grande amplitude em curto período, de custo e peso reduzido, que poderá transmitir a energia gerada para recarregar baterias de equipamentos eletrônicos em longas distâncias, transmitir informações em forma de modulação eletromagnética e medir distâncias entre corpos celestes, tendo a vantagem de realizar vários pulsos em curto espaço de tempo sem acarretar o desgaste ou a depreciação do equipamento pois o mesmo será 100% eletrônico.

I.1. JUSTIFICATIVA

Gerar PEM (Pulso eletromagnético) de grande magnitudes requer equipamentos conjugados com bombas nucleares ou explosivos químicos, a primeira não é nada convencional, e a segunda, mesmo os altos explosivos que se decompõem a uma velocidade próxima dos 10km/s é considerado lento quando se refere a comprimentos de onda na ordem de centímetros. Estas dificuldades, acabaram incentivando a pesquisa e desenvolvimento de formas limpas e seguras para a geração de ondas eletromagnéticas de grande magnitude geradas com equipamentos controlados por sinal piloto.

Os mecanismos eletrônicos digitais se tornaram ao longo dos tempos, os maiores aliados para a produção deste fenômeno físico devido o baixo custo na confecção, menor peso e volume sem contar na segurança em todas as fases do processo de construção.

Outro ponto importante do gerador ondas eletromagnéticas eletrônico é a facilidade de modular o PEM em função do tempo e tensão, gerando comprimentos de ondas menores que dispositivos nucleares

Como este aparelho gera uma forma de onda modulada, ele pode vir a ser um transmissor de informações de onda eletromagnética da longas distancias, tendo aplicações em naves espaciais ou como fonte de recarregamento de baterias de equipamentos eletrônicos.

II - OBJETIVOS

II.1. GERAL

Desenvolver um equipamento capaz de gerar Pulso eletromagnético por compressão de campo eletrônico sem explosivos químicos ou nucleares.

II.2. ESPECÍFICO

1- Desenvolver circuitos eletrônicos digitais capazes de produzir sinais de Glock e efeito cascata em alta frequência.

1- Dimensionar bobinas de compressão de campo eletromagnético acoplada ao circuito eletrônico digital.

1- Comprovar o funcionamento e como consequência a “viabilidade econômica” de geradores de pulso eletromagnético, controlados por sinais digitais.

III. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

III.1. HISTÓRICO DE BASE

Existem diversas formas para gerar Pulsos Eletromagnéticos (PEMs), até a natureza faz isso a todo instante através das descargas atmosféricas. A geração mais clássica artificial e controlada que conhecemos é a reprodução de uma descarga atmosférica reproduzida em laboratório como mostrado na **Figura 1** ⁽³⁾.

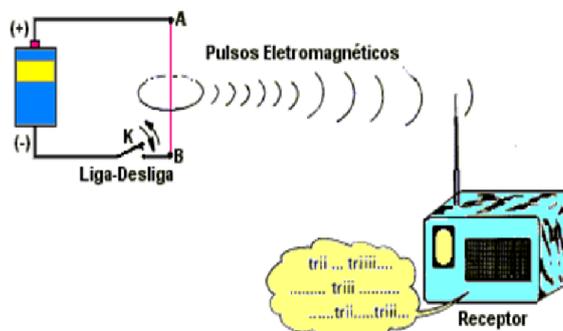


Figura 1- Gerador de Pulso Eletromagnético tendo como princípio de funcionamento um acumulador de carga e um interruptor de manobra ⁽³⁾.

Neste modelo, o Pulso Eletromagnético gerado tem um espectro de vários comprimentos de onda, que vai do Infravermelho até o Raio X dependendo da Tensão aplicada nas suas extremidades. Quando se gera um sinal com estas propriedades ele recebe o nome de Ruído Eletromagnético.

Na **Figura 2** temos um gerador com o circuito elétrico um pouco mais complexo, mas mesmo assim ele irradia a sua energia eletromagnética em várias frequências composto por duas etapas, a primeira por um transformador elevador de tensão elétrica e a segunda por um circuito de ressonância LC (Indutor Capacitor)⁽⁴⁾.

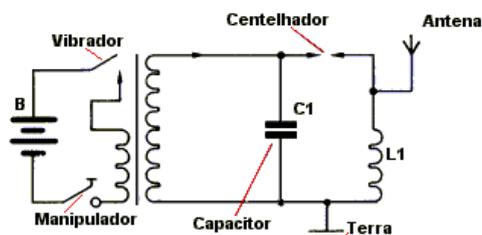


Figura 2- Gerador de Pulso eletromagnético de alta tensão⁽⁴⁾.

O princípio básico de funcionamento de um transformador é o fenômeno conhecido como indução eletromagnética. Este fenômeno ocorre quando um circuito é submetido a um campo magnético variável e aparece nele uma corrente elétrica cuja intensidade é proporcional às variações do fluxo magnético ⁽⁵⁾. O transformador na sua forma mais simples consiste em dois enrolamentos de fio, sendo um deles o enrolamento primário e o outro enrolamento secundário, que geralmente envolvem os braços de um quadro metálico, chamado de núcleo, como pode ser visto na **Figura 3**.

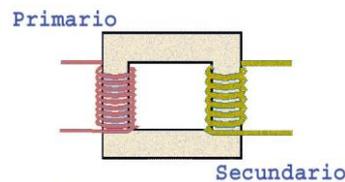


Figura 3- Configuração funcional básica de um transformador⁽⁵⁾.

Ao aplicar uma corrente alternada ao primário é produzido um campo magnético proporcional à intensidade dessa corrente e ao número de voltas de fio em torno do braço metálico. Através do metal, o fluxo magnético quase não encontra resistência concentrando-se no núcleo e em grande parte, chega ao enrolamento secundário com perdas bem pequenas. Para se calcular as espiras do primário e secundário, podemos utilizar a equação 1.1, abaixo ⁽⁶⁾:

Onde:

U = tensão;

A = área condutor magnético;

B = Constante 10000 Gaus

$$\text{números de espiras} = \frac{U \cdot 10^8}{A \cdot B \cdot F \cdot 4,44} \quad (1.1)$$

F= frequência

III.2. O CIRCUITO LC

A compreensão do funcionamento do circuito LC (Indutor-capacitor) é fundamental para este trabalho uma vez que ele comporta-se como um ressonador eletrônico. Neste circuito supomos inicialmente que o capacitor encontra-se carregado com um potencial V ⁽⁴⁾. No momento que o indutor é ligado, uma corrente surge no circuito, através da qual a energia acumulada no capacitor, passa a se transferir para o indutor como mostrado ao longo da **Figura 4**.

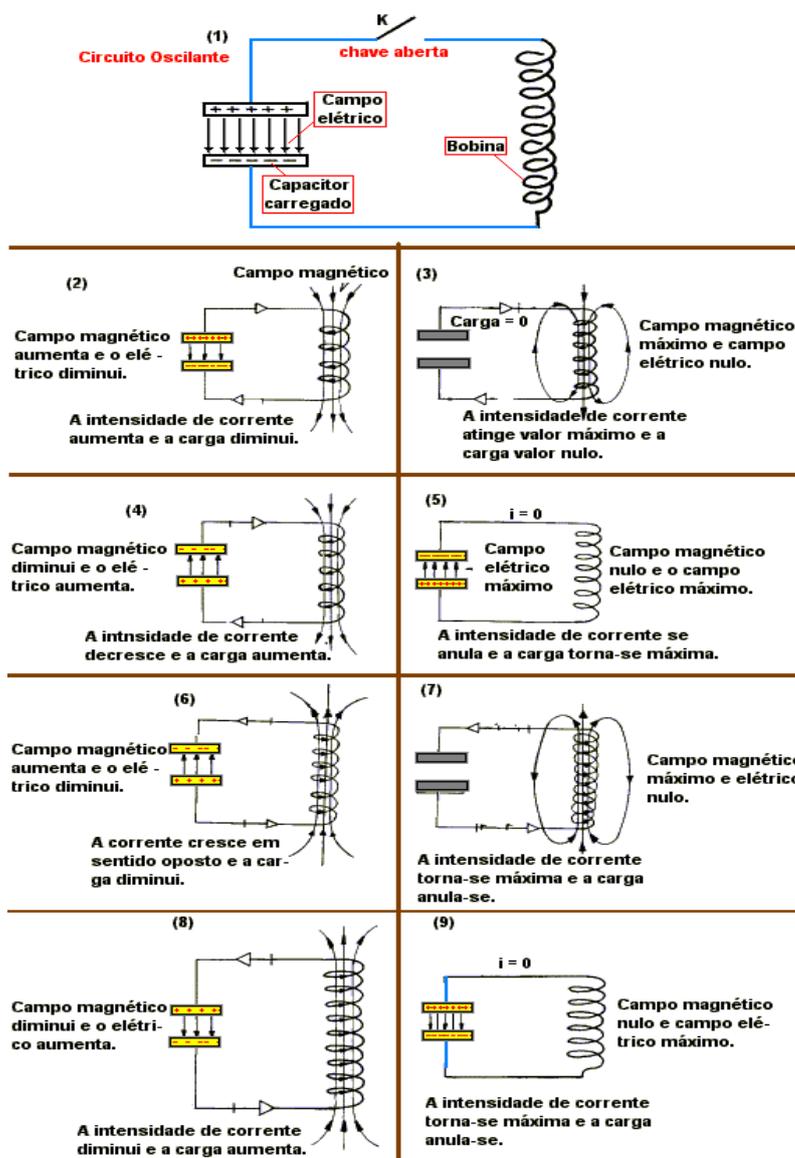


Figura 4- Ciclo completo de descarga e recarga do circuito LC⁽⁴⁾.

O processo atinge um ponto máximo quando toda a energia do capacitor tiver sido transferida para o indutor. A partir desse momento, a energia acumulada no indutor passa a se transferir para o capacitor, através do surgimento de uma corrente contrária à corrente inicial. Resulta daí que a corrente é nula quando a carga no capacitor for máxima, e a corrente será máxima quando a carga no capacitor for nula ⁽⁷⁾.

III.3. REATÂNCIA CAPACITIVA

A oposição que um capacitor oferece ao fluxo de corrente alternada é chamada de reatância capacitiva. Quanto maior a capacitância, mais baixa será a reatância ou oposição ao fluxo da corrente alternada ⁽⁶⁾. Da mesma forma, quanto mais alta for a frequência, menor será a oposição que um capacitor oferece ao fluxo de corrente como mostrado na **Figura 5**.

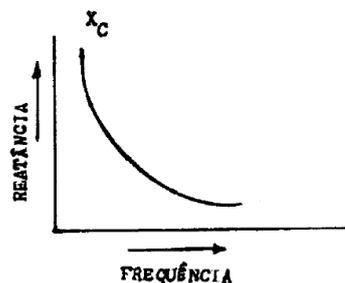


Figura 5 – Comportamento do capacitor submetido a corrente alternada – ⁽⁶⁾

A equação (1.2) que descreve o fenômeno pode ser escrita como:

$$X_c = \frac{1}{(2\pi fC)} \quad (1.2)$$

Onde:

X_c = é a reatância capacitiva em ohms

f = é a frequência em Hertz. (Hz)

C = é a capacitância em farad (F)

Esta equação simplesmente diz que a reatância é inversamente proporcional à frequência e à capacitância. Em outras palavras, se você aumentar a frequência ou a capacitância, a reatância irá diminuir ⁽⁶⁾.

III.4. REATÂNCIA INDUTIVA

Os indutores quando alimentados por um sinal AC oferecem uma oposição a passagem da corrente elétrica (Reatância Indutiva) **Figura 6**.

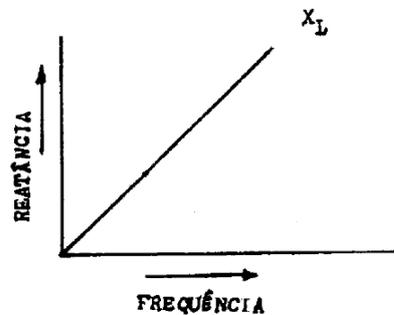


Figura 6- Comportamento do Indutor submetido a corrente alternada ⁽⁶⁾

Diferentemente dos resistores a sua corrente apresenta um atraso de 90 graus em relação à sua tensão e sua reatância é diretamente proporcional ao valor da frequência aplicada ao circuito obedecendo à equação (1.3):

$$X_L = 2 \cdot \pi f \cdot L \quad (1.3)$$

Onde:

X_L = é a reatância indutiva em ohms

f = é a frequência em Hertz. (Hz)

L = é a indutância em henry (H)

III.5. INDUTÂNCIA

É a propriedade de uma bobina em criar o campo magnético e se opor à corrente alternada (CA). Depende da quantidade de espiras que a bobina tem. As bobinas pequenas são medidas em microhenrys (μH) e as grandes em Henrys (H). Algumas têm o valor indicado no corpo em forma de número. Outras usam o código de cores e na **Figura 7** está representado o seu símbolo eletrônico



Figura 7 - Aspecto eletrônico do indutor

III.6. RESSONÂNCIA ELETROMAGNÉTICA

O processo natural de oscilação amortecida que possuem os circuitos compostos por elementos capacitivos e indutivos, têm a capacidade de armazenar cargas elétricas em seu interior (carrega-se e descarrega-se eletricamente) dando origem a uma ressonância eletrônica gerando uma forma de onda mostrada na **Figura 8** ⁽⁸⁾.

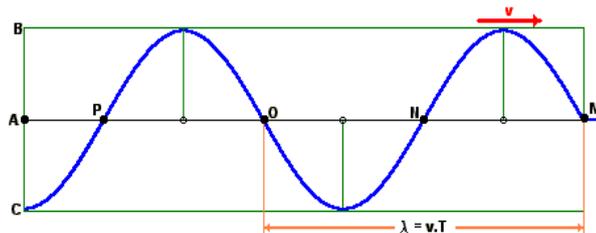


Figura 8 – Onda senoidal formada pela descarga do capacitor sobre o indutor ⁽⁸⁾.

O exemplo mais simples de oscilador é o composto por uma bobina, um capacitor

A carga do capacitor C tem origem da fonte de alimentação, decorrido um certo tempo, o capacitor adquire a tensão da fonte geradora. Como a bobina não possui nenhuma carga e o capacitor está totalmente carregado, este último se descarrega completamente sobre a bobina, uma vez que o capacitor descarregado completamente é agora a bobina a que se descarrega sobre o capacitor **Figura 9** ⁽⁹⁾.

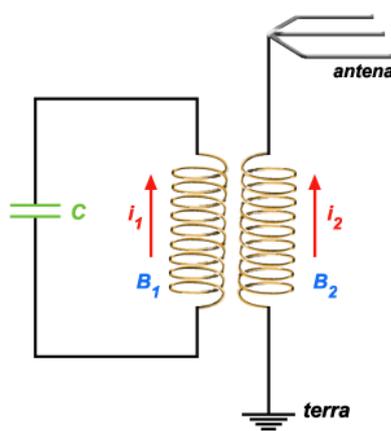


Figura 9- Exemplo de ressonância LC seguida de acoplamento de RF ⁽⁹⁾.

Na **Figura 10** temos a representação gráfica da reatância indutiva e capacitiva.

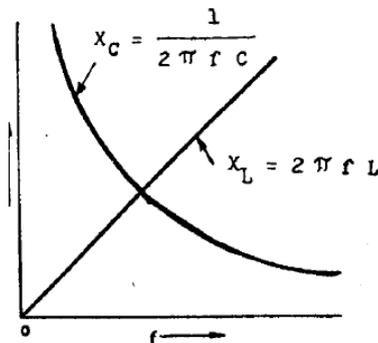


Figura 10- Encontra-se a frequência de ressonância no eixo X no ponto onde se cruzam os dois gráficos ⁽⁶⁾

III.7. PULSO ELETROMAGNETICO DE ORIGEM NUCLEAR

Os efeitos de um pulso eletromagnético gerado por uma explosão nuclear já haviam sido notados há um bom tempo, por exemplo, em 1958, quando um teste nuclear no Pacífico conseguiu paralisar momentaneamente a rede de iluminação no Havaí a 1000 quilômetros de distância. No entanto, foi somente depois de 1962 que maior atenção começou a ser dada ao fenômeno. Se bem que todas as explosões nucleares possam produzir um pulso eletromagnético, sua intensidade varia de acordo com a maneira como a explosão se realiza. Isso nos leva a pensar no dia em que as potências militares se preocuparem com o EMP como

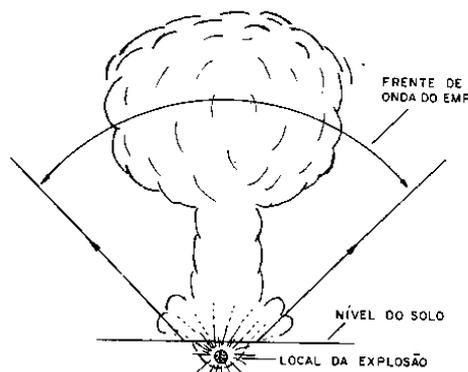


Figura 11- Aqui o Pulso Eletromagnético gerado pelo artefato nuclear e absorvido pelo meio por se encontrar próximo do solo ⁽¹³⁾

um recurso tático, produzindo-o de modo controlado com a finalidade de danificar apenas os meios de comunicação inimigos. O que se sabe hoje, por exemplo, é que uma explosão a baixa altitude, até 100 metros do solo, não produz um pulso de maior intensidade. O que ocorre neste caso é que o pulso é dirigido para cima, conforme mostra a **figura 11**. Se a

explosão ocorre em uma altitude maior, digamos entre 100 metros e 10 quilômetros, os efeitos do pulso já serão maiores. O aquecimento violento no local da explosão ioniza o ar, e excita com isso elétrons que, movimentando-se em alta velocidade, criam as correntes capazes de gerar o pulso. O caso mais grave é quando a explosão ocorre acima da atmosfera, em altitudes entre 10 e 1000 quilômetros ⁽¹⁰⁾.

Uma explosão acima da ionosfera, ou nela, por exemplo, a mais de 500 quilômetros de altura, teria conseqüências gravíssimas em termos de pulso gerado.

Nesta altura não existe um meio material suficientemente denso para absorver a energia irradiada. O resultado é que, a partir do local da explosão, a principalmente, de raios X e raios gama que podem então atingir a camada superior da atmosfera numa frente relativamente ampla, conforme mostra a **Figura 12**.

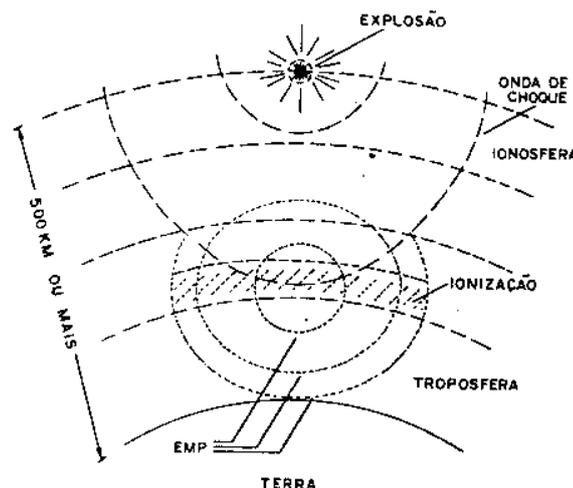


Figura 12- Ionização da Ionosfera por conseqüência de uma explosão nuclear- ⁽¹⁰⁾

Ao atingir a camada superior da atmosfera, ocorre então uma ionização que “curto-circuita” o ar, tornando-o condutor, e provocando gigantescas movimentações de cargas elétricas. Gera-se então o forte pulso eletromagnético que se propaga em todas as direções a partir desse ponto. Na **Figura 13** mostra um gráfico em que colocamos as intensidades de campo produzidas por uma explosão de 20 Megatons, em diversas distâncias ⁽¹⁰⁾.

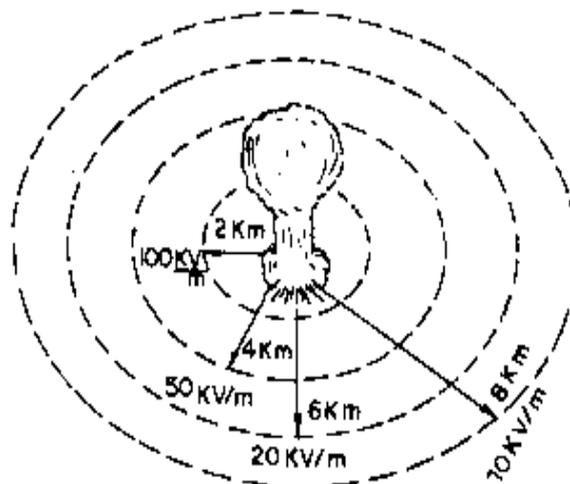


Figura 13- Relação da diferença de potencial elétrico por metro em função da distância da origem do Pulso Eletromagnético- ⁽¹⁰⁾

Objetos metálicos de grandes dimensões funcionariam como verdadeiras antenas recolhendo e energia deste pulso com o aparecimento de tensões elevadíssimas. Aparelhos eletrônicos com antenas externas, ou dependentes de linhas de transmissão, teriam tensão extremamente altas para causar a destruição dos componentes eletrônicos mais sensíveis. Dentre os aparelhos que podemos destacar como sensíveis estão os receptores de rádio com semicondutores e que possuem antenas externas (mesmo telescópicas), as linhas telefônicas, os computadores e microcomputadores ligados na rede de alimentação local e não dotados de recursos para eliminar o problema, instalações com lâmpadas fluorescentes etc. Tensões de milhares de volts induzidas nestes elementos poderiam causar sua destruição imediata ⁽¹¹⁾.

III.8. GERAÇÃO DE PEM COM VÁLVULAS DE RESSONÂNCIA

O Magnetron acelera um feixe de elétrons de alta corrente contra uma malha (ou folha) ânodo **Figura 14** ⁽¹¹⁾.

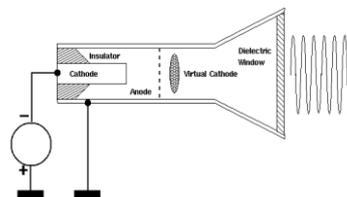


Figura 14- Válvula termiônica geradora de alta frequência⁽¹¹⁾.

Muitos elétrons passarão através do ânodo, formando uma bolha de encargos espaço atrás do ânodo. Nas condições adequadas, esta região de carga espacial (Cavidades ressonantes) irá oscilar em frequências de microondas. Se a região de carga espacial for colocada em uma cavidade ressonante que está devidamente afinada, uma potência de pico muito elevada pode ser alcançada ⁽¹¹⁾. A frequência de oscilação depende dos parâmetros feixe de elétrons, e da cavidade de ressonância da válvula. Níveis de potência obtidos em experimentos estão na ordem de 170 quilowatts para 40 Giga Watts sobre as frequências que abrange as bandas decimétricas e centimétricas. Aplicando uma tensão de 3 V no filamento, este aquece o catodo (que está ligado no próprio filamento). O catodo aquecido libera os elétrons que são atraídos com força pela placa através de uma alta tensão (0 V na placa e – 4000 V no filamento-catodo). Cada cavidade funciona como uma bobina e um capacitor em paralelo ressonante em 2.450 MHz. Desta forma com o movimento dos elétrons, as ondas induzidas nestas cavidades, se somam e saem pela antena com grande intensidade ⁽¹²⁾. Na **Figura 15** temos a montagem de um magnétron de 1KW de potência, a **Figura 16** e **17** registram a comprovação do funcionamento do Gerador de Pulso Contínuo.



Figura 15- Confeção da antena refletora de onda eletromagnética na escola do SENAI-MS



Figura 16- Comprovando o funcionamento da guia de onda eletromagnética na escola do SENAI



Figura 17- Comprovando o funcionamento da antena refletora onda eletromagnética na escola do SENAI-MS

III.9. GERAÇÃO DE PEM COM EXPLOSIVOS QUÍMICOS

O Gerador consiste em um cilindro metálico (chamado de armadura) envolvido por uma bobina de fios (o estator). O cilindro do induzido é preenchido com explosivos de alta potência e todo o dispositivo está alojado dentro de um robusto invólucro. O enrolamento do estator e o cilindro do induzido são separados por um espaço vazio. A bomba possui ainda uma fonte de energia, como um banco de capacitores, que devera ser ligada ao estator. Na **Figura 18** está representado o aspecto físico do dispositivo ⁽¹³⁾.

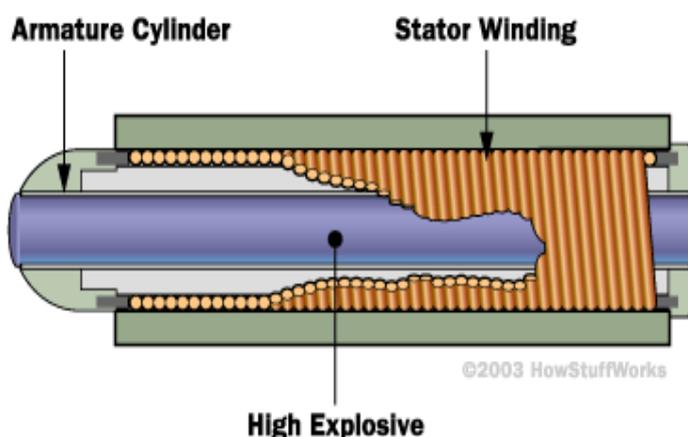


Figura 18- Explosivo químico de alta velocidade envolvido por uma bobina condutora de eletricidade que deverá ser ligada em paralelo ao banco de capacitores ⁽¹³⁾.

A sucessão de eventos abaixo descreve o que acontece quando a bomba é detonada:

1º - um contato liga os capacitores ao exator fazendo passar uma corrente elétrica através dos fios, gerando assim um campo magnético de alta intensidade **Figura 19**.

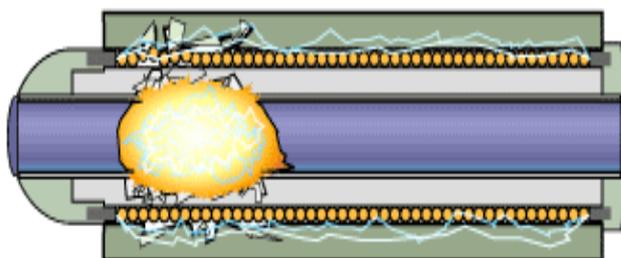


Figura 19- Início da explosão química com a formação imediata do campo eletromagnético ⁽¹³⁾.

2º - um mecanismo de espoleta detona o material inflamável, deflagrando uma explosão que viaja como uma onda pela parte central do cilindro do induzido determinando a frequência da onda eletromagnética **Figura 20**.

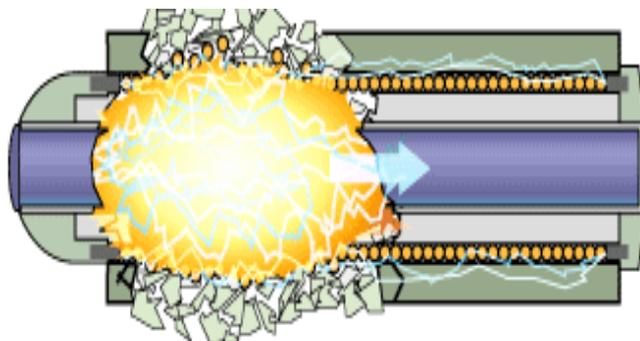


Figura 20- A corrente elétrica aumenta de intensidade a medida que a reação do explosivo se desloca para a esquerda ⁽¹³⁾.

3º - à medida que a explosão percorre seu caminho pelo cilindro, este entra em contato com o enrolamento, criando um curto-circuito que isola o estator de sua fonte de energia, à medida que se move, o curto-circuito comprime o campo magnético, gerando as linhas de forças de alta densidade **Figura 21** ⁽¹³⁾.

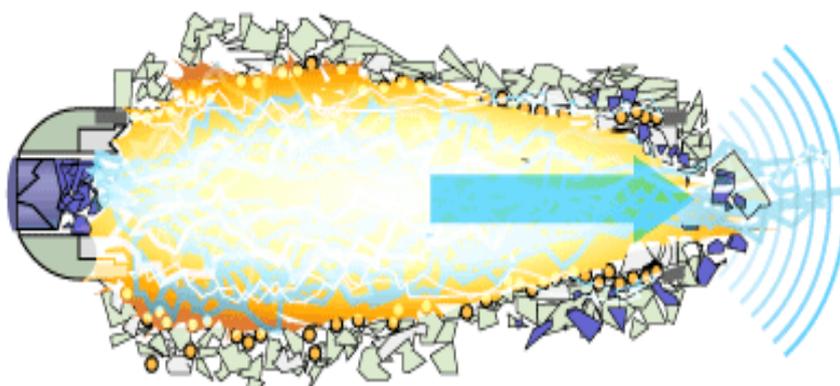


Figura 21- A maior intensidade da corrente elétrica acontece quando a última volta da bobina exatora e curto circuitada pelo aumento do diâmetro do tubo metálico que contém o auto explosivo ⁽¹³⁾.

IV. METODOLOGIA

GERAÇÃO DE ¼ PEM POR COMPRESSÃO DE CAMPO ELETROMAGNÉTICO

O componente mais crítico deste projeto é o circuito integrado que opera nas tensões de 3 a 15 Volts e Possui características que permitem sua interligação direta e com outros componentes, no seu interior encontra-se um contador/decodificador Johnson sua lógica de funcionamento se aplica na multiplexação em canais de frequência de celulares e aceleradores de partículas lineares. O circuito integrado usado neste projeto consta de uma entrada e 10 saídas, conforme mostra o **diagrama** de blocos da **Figura 22** .

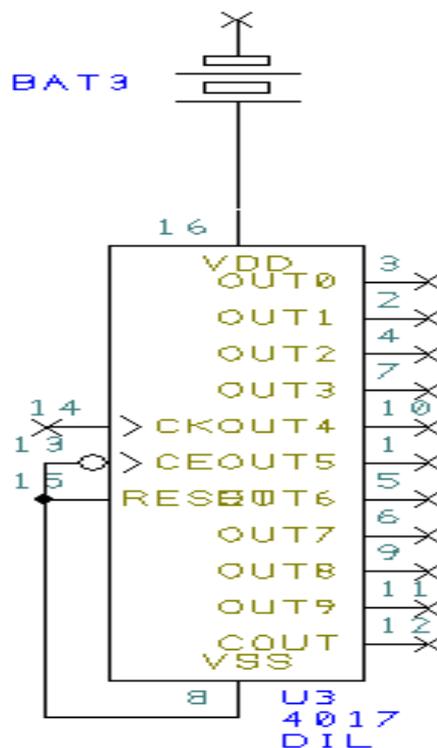


Figura 22- CI Cascata responsável em contar e fornecer o sinal seqüencial digital para a formação do Pulso Eletromagnético.

Este CI (circuito integrado) será responsável em comprimir o Pulso eletromagnético variável em função da indutância. Usaremos contador seqüencial e divisor de frequência que funciona através de um sinal de clock (pulsos quadrados) com progressão linear.

Na operação normal, os pinos 13 e 15 são aterrados e pulsos retangulares são aplicados ao pino de entrada (14). Conforme podemos ver então na **Figura 23**⁽¹⁴⁾, partindo da condição em que a saída S0 se encontrada no nível alto, e as demais no nível baixo, ocorre o seguinte: a cada pulso aplicado, a saída que está no nível alto passa ao nível baixo e a seguinte passa ao nível alto.

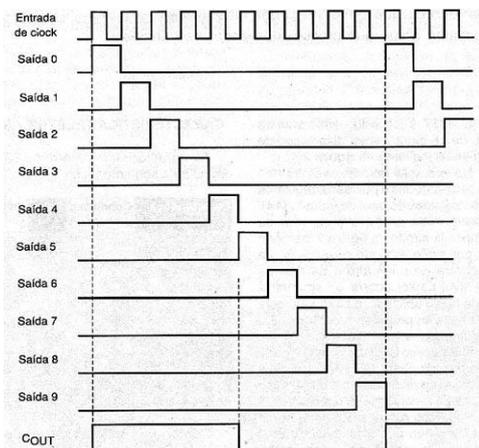


Figura 23 - Seqüência dex abertura de sinal do CI⁽¹⁴⁾.

O processo ocorre até se chegar à última saída. Com um novo pulso, essa saída vai ao nível baixo e a primeira vai ao nível alto, recomeçando o processo. Podemos ressetar a contagem do CI levando por um instante o pino 13 ao nível alto. Uma forma de se fazer com que o componente sempre parta do zero, com a primeira saída no nível alto é com um circuito de “reset ao ligar”.

Usando um circuito digital operacional é possível fornecer o sinal de clock que será ligado no pino 14 do CI contador para ele começar a processar as informações na saída em cascata.

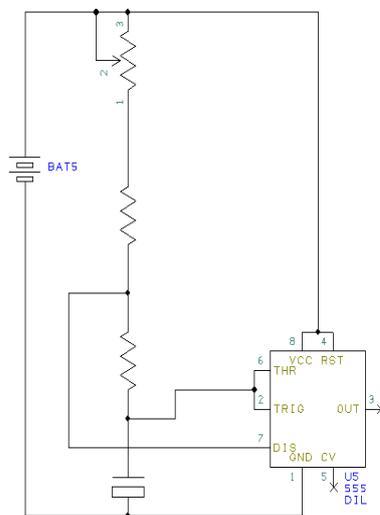


Figura 24- Oscilador eletrônico responsável em gerar o sinal piloto.

O oscilador visto na **Figura 24** gera ondas digitais que será interpretada pelo CI contador como Zero e UM, a frequência vai depender do capacitor e do potenciômetro, o pino 3 é a saída do sinal de clock.

Os LEDs na **Figura 25** é usado para melhor visualizar o comportamento linear em baixa frequência do equipamento eletrônico. Eles acenderão na seqüência de cima para baixo, porém, pra que isso ocorra faz necessário a injeção do sinal piloto de onda quadrada no pino 14 do CI Cascata.

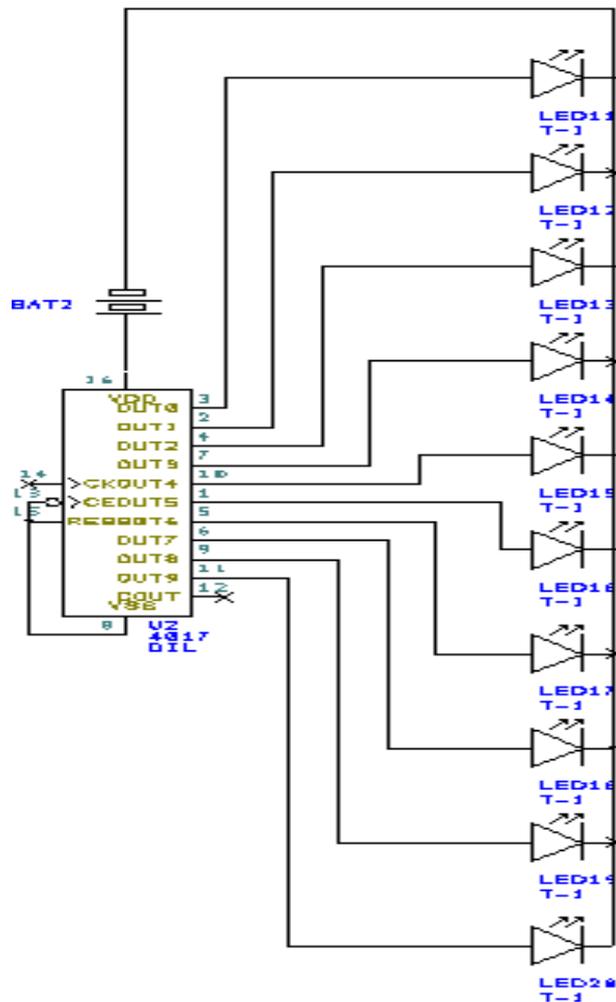


Figura 25- Cada saída do CI esta ligada a um LED para comprovar o efeito cascata visual.

O acoplamento do gerador com o seqüencial acontece na **Figura 26**. Neste ponto o circuito eletrônico já funciona de uma forma intermitente, porém sem a geração de campo eletromagnético.

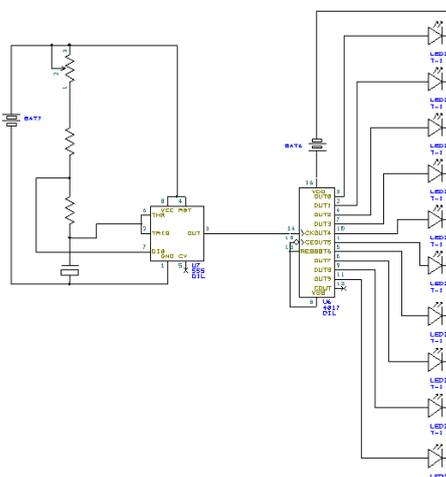


Figura 26- A velocidade do Efeito Cascata é controlada pela frequência do sinal piloto gerado pelo oscilador conectado no pino 14 do CI cascata

Na configuração eletrônica da **Figura 27** é possível gerar variação e Compressão de Campo Eletromagnético, porem a intensidade da corrente elétrica é limitada pelos LEDs através das Leis de OHMs e Kirchoff.

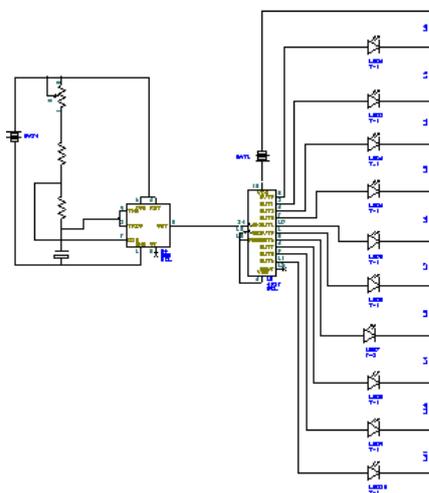


Figura 27- As Bobinas que aparecem ligadas em série entre elas e em paralelo com os LEDs tem por finalidade gerar o Pulso Eletromagnético.

A bobina geradora de PEM consta de 10 tomadas (conexões) ligadas em série e que serão responsáveis pela formação e compressão da Campo Eletromagnético. O PEM gerado pelos indutor nesta fase é caótico com o nível de ROE (relação de onda estacionária) altíssimo, ou seja irradia mais no próprio sistema ao invés de irradiar para o meio. Ou seja, falta uma antena!



Figura 28-
Representação elétrica
de bobina de geração de
campo.

L (indutância)	H (Henry)
L1 a	0,000009 H
L2 b	0,000026H
L3 c	0,000046H
L4 d	0,000073H
L5 e	0,000093H
L6 f	0,000127H
L7 g	0,000152H
L8 h	0,000173H
L9 i	0,000207H
L10 j	0,000242H

Figura 29- Os valores correspondem
a cada tomada linear da bobina de
geração de campo.

A **Figura 28** é a configuração eletrônica de dez bobinas ligadas em serie, os valores da reatância indutiva de cada bobina esta na **Figura 29**.

Quanto menor for a reatância, maior será a corrente elétrica e quanto maior for a corrente elétrica, maior será o campo eletromagnético formado.

A função do gerador eletrônico de PEM por compressão de campo é aplicar uma tensão elétrica constante em forma de cascata em cada bobina, quanto mais rápido se dá o fenômeno, menor será o comprimento de onda.

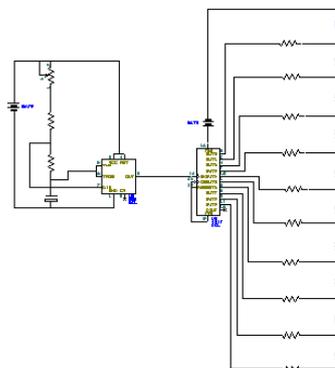


Figura 30- Os LEDs foram substituídos por resistores para facilitar a passagem da corrente elétrica para o indutor.

Aqui foi substituído os LEDs por resistores, esta substituição aumenta a intensidade da corrente elétrica que irá circular ao longo dos indutores **Figura 30**. A próxima etapa é inserir em paralelo com cada bobina um Diodo Zener (também conhecido como **diodo regulador de tensão**, **diodo de tensão constante**, **diodo de ruptura** ou **diodo de condução reversa**) **Figura 31.**⁽⁶⁾

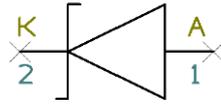


Figura 31- Diodo responsável em estabilizar a tensão elétrica

Este dispositivo ou componente eletrônico é semelhante a um diodo semicondutor, sendo especialmente projetado para trabalhar sob o regime de condução inversa, ou seja, acima da tensão de ruptura da junção PN, neste caso há dois fenômenos envolvidos o efeito Zener e o efeito avalanche que estabiliza a tensão elétrica.

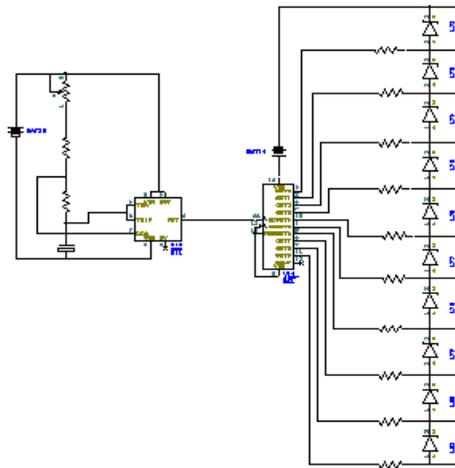


Figura 32- Os Diodos ligados em paralelo com as bobinas geradoras de campo eletromagnético, lembram os LEDs ligados em serie para visualizar o comportamento do gerador eletrônico.

Com os Diodos reguladores de tensão ligados em paralelo com o indutor que aparece na **Figura 32** tem por finalidade criar uma condição ideal (teórica) de tensão constante, fazendo com que a amplitude elétrica da onda gerada seja sempre a mesma independentemente do valor do indutor, variando assim a amplitude da corrente apenas.

Na prática não se faz necessário um controle da tensão com tamanha precisão, foi realizado neste caso por se tratar de condições de laboratório. O Transformador acoplador de RF **Figura 33** aparece nesta etapa com o objetivo de receber toda onda eletromagnética formada na compressão do PEM, mais precisamente a variação da corrente elétrica formada no primário que será convertida em amplitude do Pulso Eletromagnético no secundário e direcioná-la para um irradiante.

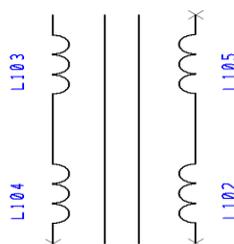


Figura 33 – O casamento de Impedância entre a antena e o gerador de Pulso Eletromagnético é feito com um transformador de RF.

Na **Figura 34** de cima para baixo temos a parte eletrônica, depois a bobina do primário responsável pela compressão do campo, e por último o enrolamento secundário que será introduzido dentro da bobina de compressão. Nesta etapa já é possível receber de forma integral a onda formada no primário.

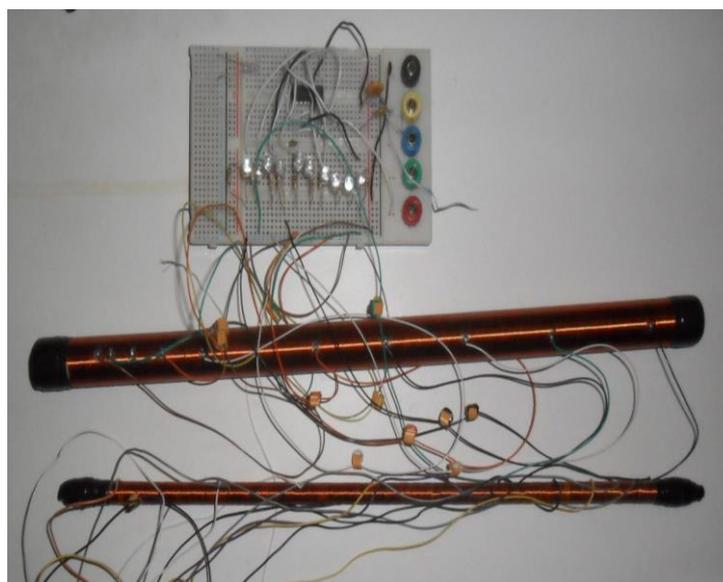


Figura 34- A bobina de menor diâmetro é introduzida na bobina principal de compressão de campo eletromagnético.

O projeto do Gerador de $\frac{1}{4}$ PEM por Compressão de Campo Eletromagnético está representado na **Figura 35** sem o banco de capacitores, note que o mesmo usa uma fonte de energia para irradiar os Pulsos elétricos por Compressão de Campo. A potência máxima deste gerador está relacionada com a potência máxima de saída do CI cascata.

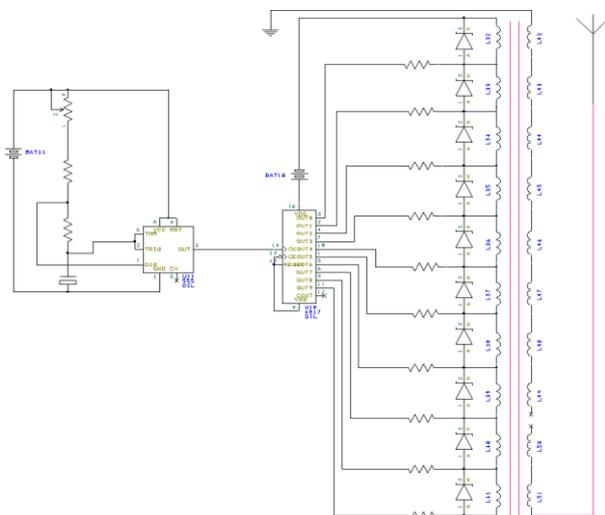


Figura 35- Nesta configuração eletrônica o gerador é capaz de irradiar pulsos eletromagnéticos com potências limitadas tendo aplicações nos estudos da forma de onda gerada.

Na configuração eletrônica atual, a potência do Gerador é baixa, ficando limitado a aplicações práticas e tendo um valor apenas para estudos teóricos. Agora se colocarmos um banco de capacitores **Figura 36** para descarregar sobre a bobina de compressão de campo magnético obteremos um PEM com uma potência maior.

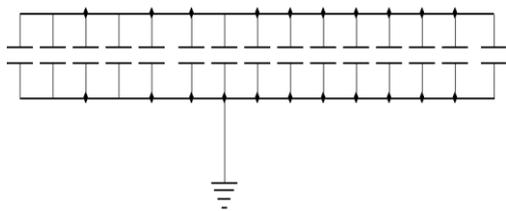


Figura 36- Banco de capacitores.

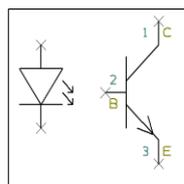


Figura 37- Acoplador Óptico.

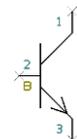


Figura 38- Semicondutor composto de Base, Coletor e Emissor.

Antes o CI Cascata mandava o sinal elétrico direto em cima da bobina de campo, agora o sinal vai direto para um acoplador óptico **Figura 37**. Devido a grande magnitude do PEM gerado este equipamento deve conter mecanismos de proteção contra os Pulsos Eletromagnéticos, para que o mesmo não sofra avarias, este mecanismo proposto é constituído de fibra óptica, ao qual é inerte na presença de Pulsos Eletromagnéticos. Na próxima etapa, a fibra óptica manda o sinal digital para um transistor de potência **Figura 38**, este semicondutor está ligado ao banco de capacitores e a bobina de compressão de campo eletromagnético **Figura 39**, terminando assim todo o projeto eletrônico do Gerador de PEM.

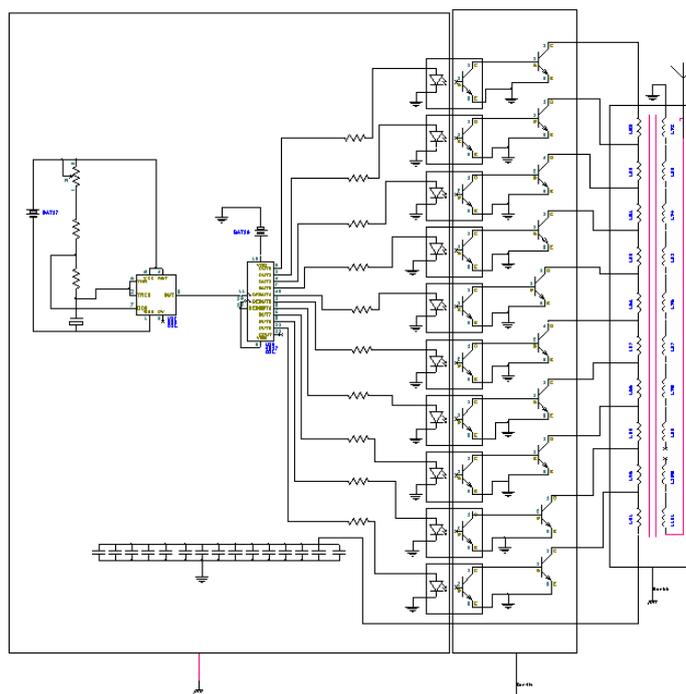


Figura 39- Configuração eletrônica completa do Gerador de ¼ PEM por Compressão de Campo Eletromagnético.

Na **Tabela 01** consta a relação dos componentes eletrônicos para a montagem do projeto com seus respectivos valores:

Item	Quant	Un	Material e denominações	R\$ Valor
01	01	Un	Circuito integrado de efeito cascata	300.00
02	02	Un	Circuito integrado operacional	150.00
03	10	Un	Resistor de filme de carbono de 1/8W	5.00
04	10	Un	LED-Diodo emissor de luz	15.00
05	10	Un	Acoplador óptico	75.00
06	10	Un	Trânsito de potência	3,000.00
07	01	Un	Banco de capacitores	5,000.00
08	01	Un	Bateria de 5V	5.00
09	01	Un	Bobina de geração e compressão de campo eletromagnético	100.00
10	01	Un	Bobina de acoplamento e irradiação de campo eletromagnético	100.00

Tabela 01

V. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na **Tabela 2** abaixo está a impedância de cada bobina submetida a frequência **F**.

Nº pinos	$2.\pi$	F	L (indutância)	$X_L = \Omega$
10-11 a	6,28	450000 Hz	0,000009 H	25,434 Ω
10-9 b	6,28	450000 Hz	0,000026H	73,476 Ω
9-8 c	6,28	450000 Hz	0,000046H	129,996 Ω
8-7 d	6,28	450000 Hz	0,000073H	206,298 Ω
7-6 e	6,28	450000 Hz	0,000093H	262,818 Ω
6-5 f	6,28	450000 Hz	0,000127H	358,902 Ω
5-4 g	6,28	450000 Hz	0,000152H	429,552 Ω
4-3 h	6,28	450000 Hz	0,000173H	488,898 Ω
3-2 i	6,28	450000 Hz	0,000207H	584,982 Ω
2-1 j	6,28	450000 Hz	0,000242H	683,892 Ω

Tabela 2

Desprezando-se a eficiência energética e o Fator de Potência do conjugado podemos prever a forma de onda em função da variação da corrente, uma vez que a tensão Permaneceu constante **Figura 40**.

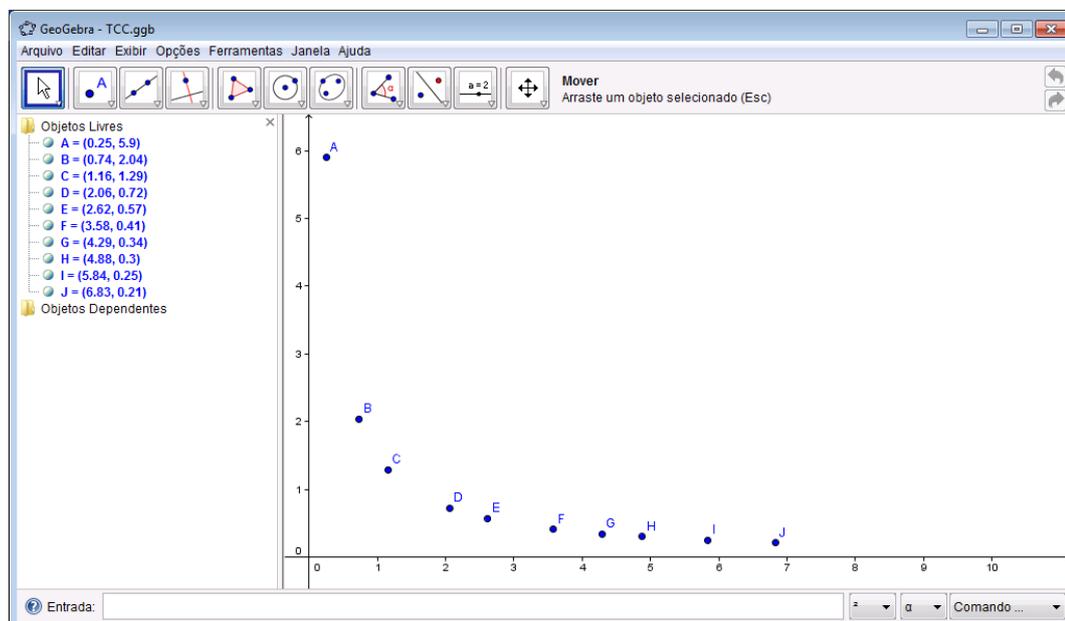


Figura 40- Previsão da forma de onda eletromagnética em função da indutância de cada tomada da bobina de compressão de campo eletromagnético.

Na **Figura 41** mostra uma seqüência de três PEM formadas por Compressão de Campo Eletromagnético com $\frac{1}{4}$ de onda cada a menor amplitude da onda corresponde a tomada J com o valor de 0,000242H da bobina de compressão, conforme a tensão vai sendo aplicada a cada tomada e ao longo da bobina, a amplitude da onda vai aumentando pois os valores dos indutores vão se aproximando de Zero sendo que o valor Máximo em amplitude do Pulso Eletromagnético corresponde próximo ao um curto circuito.

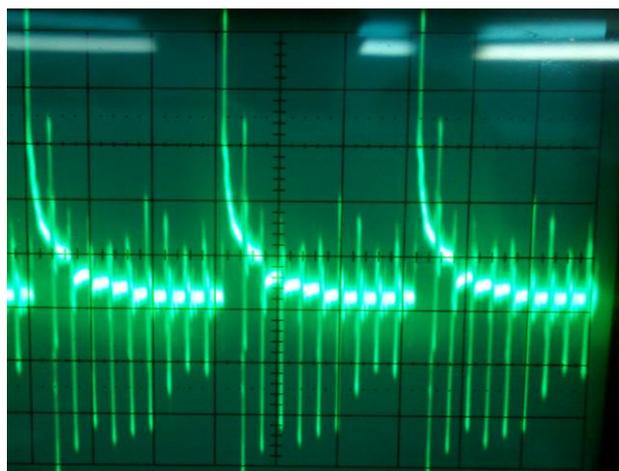


Figura 41- Formato de onda obtido pelo acoplamento entre a bobina de compressão de campo eletromagnético com a bobina de saída de RF.

Comparando a teoria com o fenômeno registrado **Figura 42**, fica claro a possibilidade de gerar Pulso Eletromagnético por compressão de onda com mecanismos completamente eletrônicos e de forma segura e limpa.

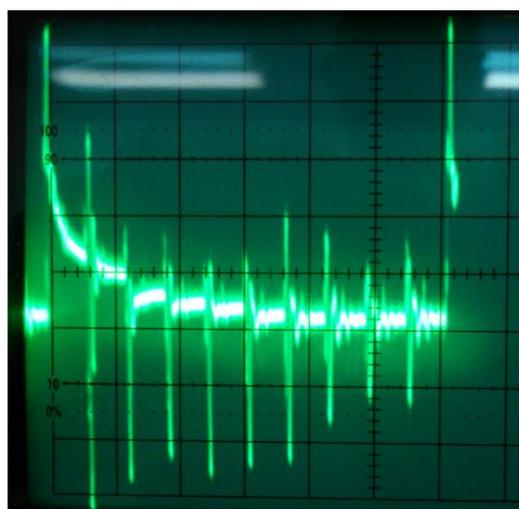
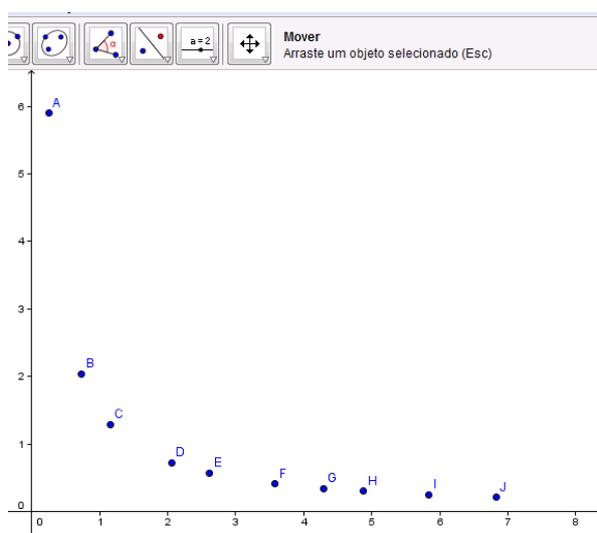


Figura 42- Comparação da forma de onda teórica prevista com a forma de onda gerada pelo aparelho.

Se modularmos Campo Eletromagnético para a Compressão e Descompressão positiva e em seguida Compressão e Descompressão do Campo Eletromagnético negativo no mesmo tempo em que foi formado um $\frac{1}{4}$ de Onda quadruplicaremos a potência do PEM.

Seguindo a mesma função linear que foi usada pra alimentar as tomadas em cascata da Bobina de Compressão de Campo Eletromagnético teríamos o mesmo formato de onda multiplicando-a por 4 como mostra na **Figura 43**.

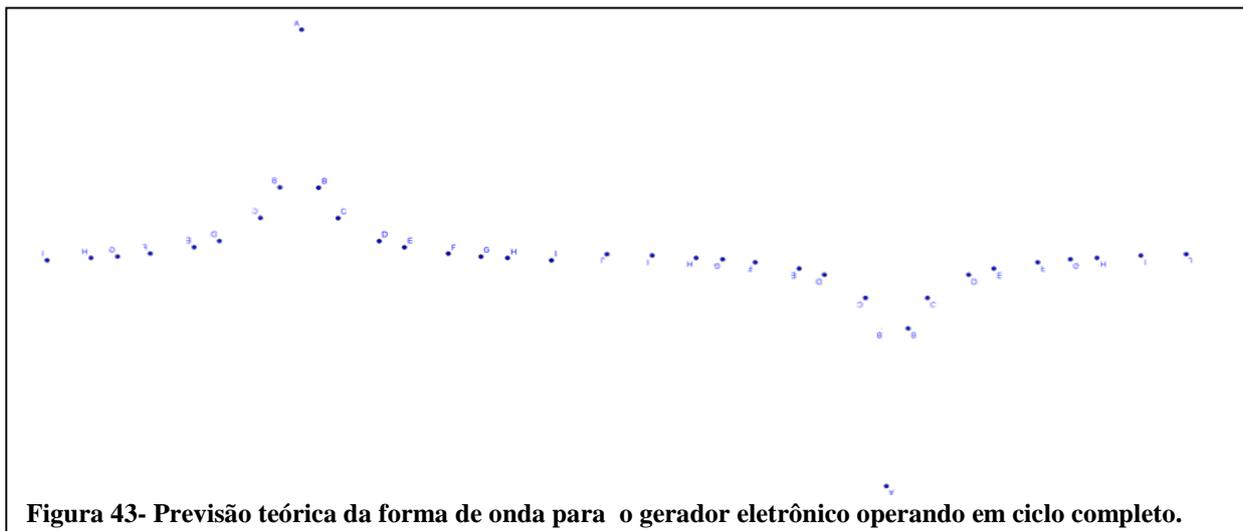


Figura 43- Previsão teórica da forma de onda para o gerador eletrônico operando em ciclo completo.

Substituindo a bobina interna que ficava posicionada longitudinalmente ao primário do Gerador de Pulso por Compressão de Campo Eletromagnético pela mostrado na **Figura 44** deixaremos de ter um formato de onda integrada, para um formato unitário de onda correspondente a cada tomada (Derivada).



Figura 44- Bobina captadora de Campo Eletromagnético.

A bobina da **Figura 45** está posicionada próximo da tomada J onde temos a maior reatância indutiva e conseqüentemente a menor corrente, a medida em que o sensor se aproxima da outra extremidade, maior será a amplitude da onda registrada no osciloscópio.

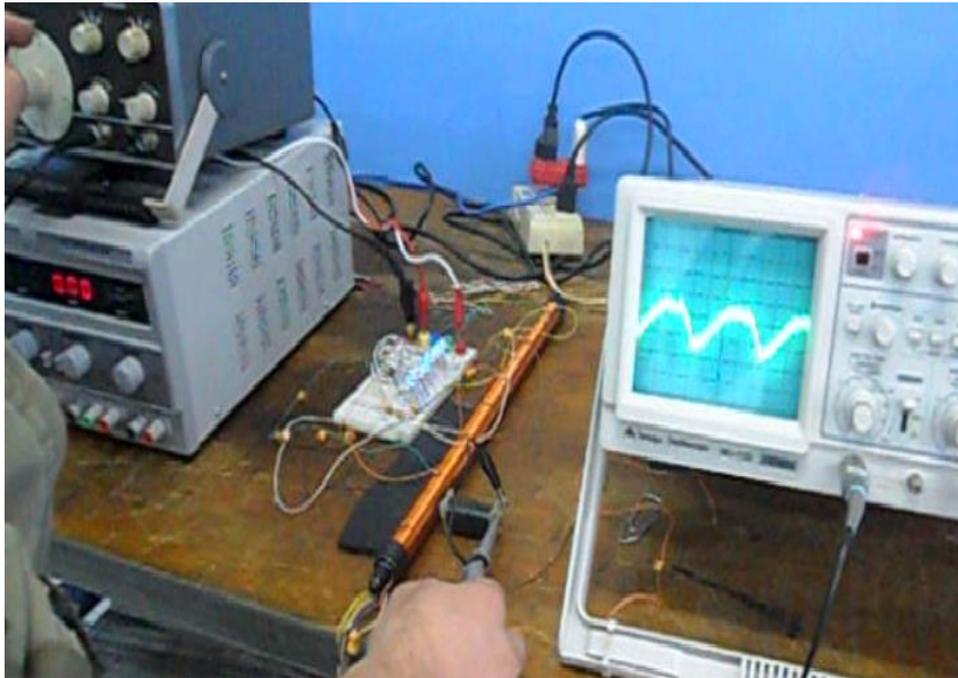


Figura 45- Amplitude do sinal eletromagnético no início da compressão.

O Sensor está posicionado próximo da tomada onde temos a menor reatância indutiva que é de $0,000009$ H, e é a maior intensidade da corrente elétrica para a formação do Pulso Eletromagnético por Compressão de Onda **Figura 46**.

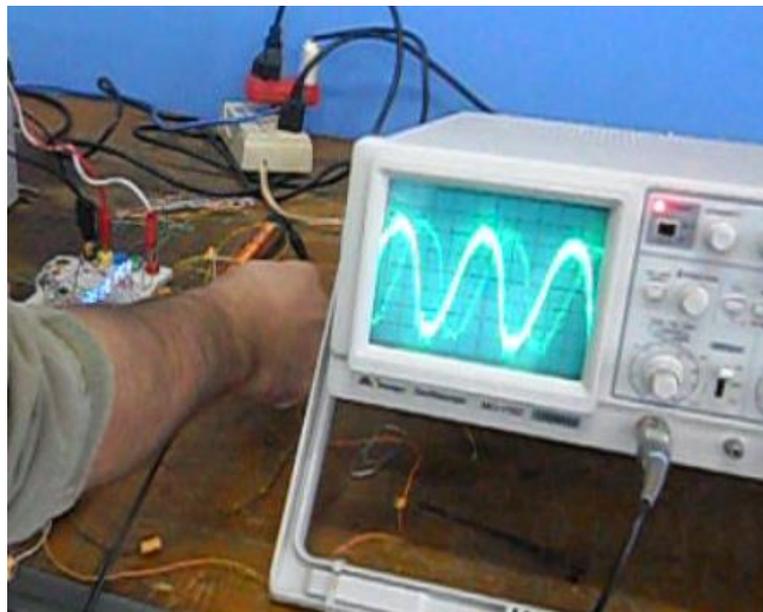


Figura 46- Amplitude do sinal eletromagnético no final da compressão.

VI. CONCLUSÃO

Os dados dos experimentos comprovaram a possibilidade de geração ondas eletromagnéticas de uma forma segura limpa e econômica. Na **Figura 47** aparece uma relação de comprimento de onda entre o PEM de um artefato nuclear em vermelho e em azul a compressão de campo eletromagnético com explosivo químico.

A configuração eletrônica proposta neste trabalho consegue comprimentos de ondas bem menores, pois os componentes eletrônicos de alta frequência já trabalham em GHz com facilidade e a escala que temos na figura abaixo esta em MHz.

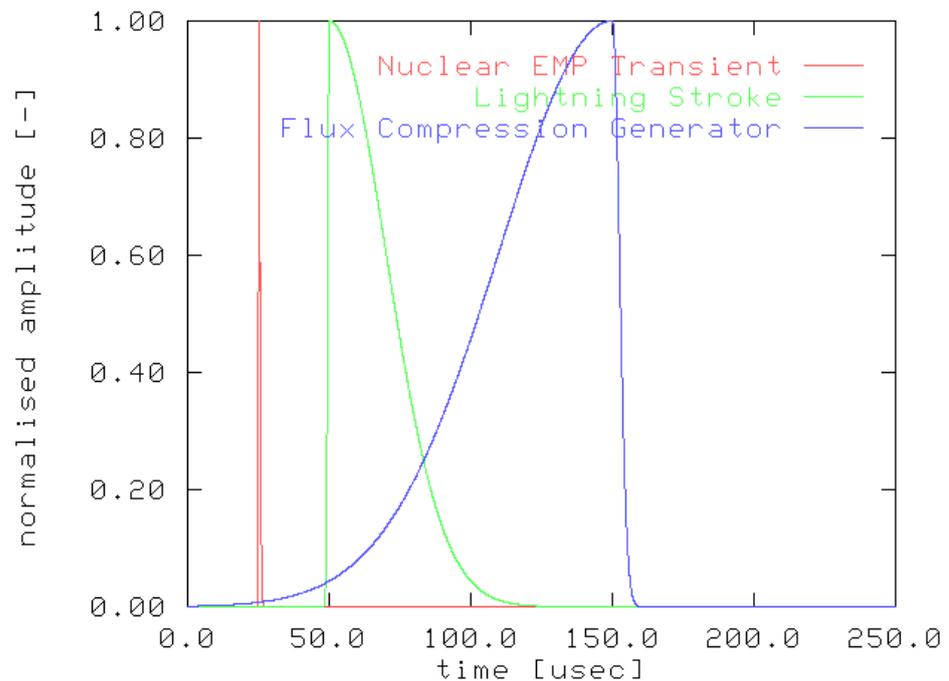


Figura 47- Relação do comprimento de onda dos geradores de Pulso Eletromagnético convencionais ⁽¹¹⁾.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- Caird R.S. et al, Tests of an Explosive Driven Coaxial Generator, Digest of Technical Papers, 5th IEEE Pulsed Power Conference, pp.220, IEEE, New York, 1985.
- 2-Fanthome B.A., MHD Pulsed Power Generation, Digest of Technical Papers, 7th IEEE Pulsed Power Conference, pp.483, IEEE, New York, 1989.
- 3- LUIZ FERRAZ NETTO .**Parte B - Produção e Recepção de Ondas Eletromagnéticas.** Disponível em: http://www.feiradeciencias.com.br/sala15/15_33b.asp Acesso em 02 Setembro. 2011.
- 4- LUIZ FERRAZ NETTO. **Parte Experimental.** Disponível em: http://www.feiradeciencias.com.br/sala15/15_33e.asp Acesso em 02 Setembro. 2011.
- 5- I BYTES. **Montar Transformador.** Disponível em: <http://www.abytes.com.br/eletronica.php?id=630> Acesso em 02 Setembro. 2011.
- 6-**SENAI**- Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. Eletrônica Básica 1980.
- 7- Boylestad, Robert L. – *Introdução à Análise de Circuitos* – Prentice Hall/Pearson, 10ª. Ed, 2004
- CATHEY, Jimmie J. Dispositivos e circuitos eletrônicos, 1ª ed. São Paulo.
- 8- LUIZ FERRAZ NETTO. **Transmissão – Recepcão Rádio Galena Iniciação aos fenomenos ondulatórios.** Disponível em: http://www.feiradeciencias.com.br/sala15/15_33a.asp Acesso em 02 Setembro. 2011.
- 9- E-FÍSICA. **Polarização das ondas eletromagnéticas.** Disponível em: http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/ondas/polarizacao_ondas_eletromag/ Acesso em 02 Setembro. 2011.
- 10-Outubro- Revista Saber Eletrônica. 1988
- 11- MONASH UNIVERSITYTHE. **E-Bomb - A Weapon of Electrical Mass Destruction.** Disponível em:<http://cryptome.org/ebomb.htm> Acesso em 02 Setembro. 2011.
- 12- Joint Direct Attack Munition (JDAM), unclassified briefing, McDonnell Douglas Corporation, 1995, unpublished material.
- 13- COMO TUDO FUNCIONA. **Como funcionam as bombas eletromagnéticas (E-Bombs)** Disponível em:<http://ciencia.hsw.uol.com.br/bombas-eletromagneticas3.htm> Acesso em 02 Setembro. 2011.
- 14- ISTITUTO NEWTON C. BRAGA **Conheça o 4017 (ART062)** Disponível em: <http://www.newtonbraga.com.br/index.php/como-funciona/645-conheca-o-4017-art062.html> Acesso em 02 Setembro. 2011.

