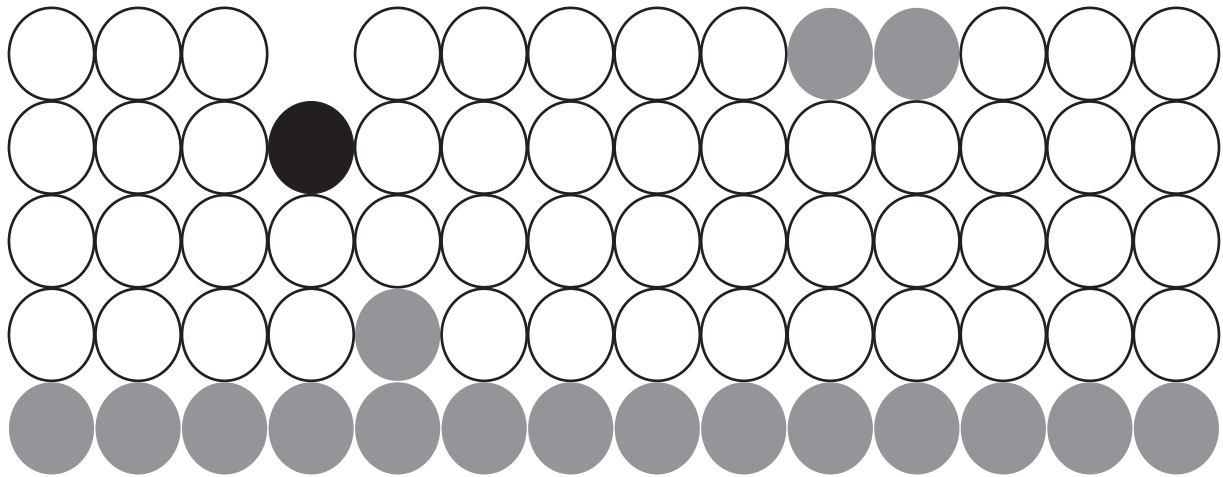


TEXTOS DE APOIO AO PROFESSOR DE FÍSICA

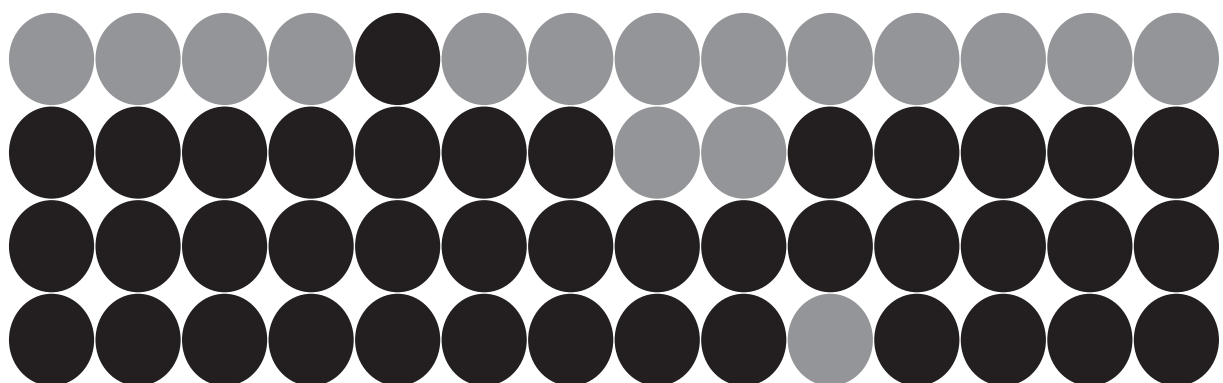
v.18 n.6 2008

ISSN 1807-2763



UTILIZANDO UM FORNO DE MICROONDAS E UM DISCO RÍGIDO
DE UM COMPUTADOR COMO LABORATÓRIO DE FÍSICA

Ivo Mai
Naira Maria Balzaretti
João Edgar Schmidt



Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE FÍSICA

Programa de Pós Graduação em Ensino de Física

Mestrado Profissional em Ensino de Física



**UTILIZANDO UM FORNO DE MICROONDAS E UM DISCO RÍGIDO DE COMPUTADOR
COMO LABORATÓRIO DE FÍSICA**

Ivo Mai

Naira Maria Balzaretti

João Edgar Schmidt

APRESENTAÇÃO

Este trabalho apresenta uma proposta para o Ensino de Física partindo de aplicações da Física em produtos tecnológicos, e está formatado à luz da pedagogia construtivista de Piaget, Vygotsky e Ausubel. Pretende-se despertar a curiosidade e o interesse dos professores e, como consequência, dos alunos, pelos temas da Física, desmistificando equipamentos utilizados no cotidiano. Um dos objetivos do trabalho é contribuir para o preenchimento de lacunas existentes no Ensino de Física no Ensino Médio através da formação continuada de professores. O desenvolvimento do trabalho consistiu na realização de oficinas para professores e estudantes do Ensino Médio focalizadas no estudo de Fenômenos Ondulatórios, Eletromagnetismo e Tópicos de Física Moderna que explicam o funcionamento do forno de microondas e do disco rígido de computador.

A realização destas atividades está de acordo com a proposta de Piaget, segundo a qual, as ações humanas são a base do comportamento. As atividades são desenvolvidas em pequenos grupos, seguidas por momentos de discussão no grande grupo, pois, conforme Vygotsky, o desenvolvimento cognitivo tem como origem a conversão de relações sociais em funções mentais. Através do conjunto de atividades, seja através das ações ou interações humanas, os *conhecimentos prévios* dos indivíduos são constantemente confrontados com novos conhecimentos, criando condições para uma *aprendizagem significativa*, conforme Ausubel. Os resultados das avaliações mostraram que novos conceitos foram aprendidos pelos participantes, indicando que a proposta, baseada no ensino de Física a partir de aplicações tecnológicas, é eficiente e indicada para promover a melhoria da qualidade do Ensino de Física.

ÍNDICE

Introdução	7
1. Como funciona o forno de microondas	9
1.1.. Manual do forno de microondas	9
1.2. Princípios de funcionamento	13
1.2.1. O que são microondas?	13
1.2.2. Mas como são geradas essas ondas?	14
1.2.3. Como funciona o magnetron?	16
1.2.4. Como as ondas são irradiadas até o interior da câmara de cozimento?	19
1.2.5. Como as microondas aquecem os alimentos?	20
1.2.6. Tamanho do forno de microondas	21
1.2.7. De que é constituído e como funciona o circuito de alta tensão?	23
1.2.8. Que materiais são utilizados na fabricação e que vasilhames podem ser utilizados no forno de microondas?	24
1.2.9. As microondas fazem mal à saúde?	25
1.2.10. Dispositivos de segurança do forno de microondas	26
1.2.11. O forno de microondas aquece os alimentos de fora para dentro	29
1.2.12. Controle de potência	29
1.2.13. Que aparelhos utilizam as microondas no seu funcionamento? E na medicina?	30
1.3. Conceitos físicos que explicam o aquecimento por microondas	31
1.3.1. Interferência	31
1.3.2. Ressonância	32
2. DISCO RÍGIDO	35
2.1. Manual do disco rígido	35
2.2. O surgimento e a evolução do Disco Rígido	37
2.3. O que é um DISCO RÍGIDO?	38
2.4. Magnetorresistência gigante	41
2.4.1. Leitura com o sensor magneto-resistente	43
2.5. Colchão de ar	44
2.6. Magnetismo	45
2.6.1. Spin e os domínios magnéticos	46
2.6.2. Eletromagnetismo e a Mecânica Quântica	46
2.6.3. Materiais Magnéticos	50
2.7. Processos de magnetização	52
3. EXPERIMENTOS	53
3.1. Utilizando o computador como instrumento de medida, coleta e análise de dados experimentais	54
3.2. Atividade experimental 1 – Ressonância com pêndulos	61

3.3. Atividade experimental 2 – Princípios da gravação magnética	63
3.4. Atividade experimental 3 – Análise espectral do som gerado pelo gerador de áudio do software Visual Analyser via placa de som do computador	66
3.5. Atividade experimental 4 – Ressonância em cordas	69
3.6. Atividade experimental 5 – Indução eletromagnética	71
Exercícios	75
Referências	85

INTRODUÇÃO

Considerando que o ser humano, em geral, entende muito pouco sobre o funcionamento e sobre a aplicação de conhecimentos científicos nos produtos da tecnologia utilizados no cotidiano, e conhecendo a realidade do Ensino Médio, tanto do ponto de vista da formação e capacitação do corpo docente, quanto do desinteresse dos discentes em estudar Física, propomos uma alternativa mais atraente de ensinar Física, de fácil acesso, e que pode contribuir para a construção de um cenário mais animador.

No presente trabalho, propomos explorar aplicações tecnológicas para ensinar conhecimentos científicos, fazendo uso de recursos de mídia, que geralmente despertam interesse, tanto nos professores como nos alunos, sendo potencialmente significativos. A gama de novos conhecimentos científicos associada à rapidez da evolução tecnológica impõe um desafio às escolas e aos professores no sentido de tornar o ensino de ciências em geral, e de Física em particular, mais atraente e vinculado à realidade. Por um lado, a proposta procura introduzir, em sala de aula, equipamentos de uso cotidiano de boa parcela dos estudantes de Ensino Médio, como o forno de microondas e o disco rígido de um computador. Por outro lado, procura-se despertar o interesse pela aprendizagem de conceitos físicos básicos associados aos princípios de funcionamento destes equipamentos.

A Física é um pilar fundamental para a economia e a cultura da civilização moderna. O desenvolvimento tecnológico utiliza descobertas científicas para gerar novos produtos tecnológicos que provocam mudanças na cultura, nos costumes e no bem estar, e pode determinar o domínio de algumas nações sobre as outras. Historicamente, o desenvolvimento tecnológico está vinculado ao domínio de conhecimentos científicos.

Em uma revisão bibliográfica constatamos a precariedade de publicações didáticas sobre uso e aplicações dos conhecimentos da Física nos produtos tecnológicos que utilizamos no cotidiano. Nos livros texto mais utilizados no Ensino Médio, as informações geralmente são superficiais ou estão ausentes. Portanto, justifica-se a elaboração de materiais de apoio e didáticos que explorem a aplicação da Física nos produtos da tecnologia presentes nas nossas casas, nos locais de trabalho, estudo e lazer.

A experiência do trabalho já desenvolvido nas escolas, aliada aos conhecimentos adquiridos durante o curso do MPEF, possibilitou desenvolver o presente trabalho com a finalidade de oferecer aos professores das escolas de nível médio e, através deles, aos alunos, conhecimentos relativos a alguns avanços e aplicações da Física nos produtos da tecnologia. Propomos uma educação para a cidadania, colaborando ativamente na formação de uma *sociedade com conhecimento científico consciente*. Assim contribuímos para ampliar o conhecimento dos docentes relativo à aplicação da Física na tecnologia, e através deles, despertar o interesse dos estudantes pela Física. A capacitação de professores em exercício e de estudantes do Ensino Médio por meio de conjuntos experimentais

montados especificamente para esta finalidade, poderá contribuir decisivamente para a mudança dos rumos da educação no Estado.

A presente proposta foi inspirada no projeto do Laboratório Itinerante “Tecnologia com Ciência” do Instituto de Física da UFRGS, levando a idéia para fora da Universidade, através de cursos de formação para professores.

A proposta foi elaborada com o objetivo de explorar conceitos de ondas, eletromagnetismo e tópicos da Física Moderna relacionados ao funcionamento do forno de microondas e do disco rígido de computador. As atividades foram programadas como oficinas para professores, com duração de dois dias cada uma. Estas atividades envolvem a desmontagem de fornos de microondas e discos rígidos de computador, a realização de experimentos voltados à investigação de conceitos físicos fundamentais, e a realização de experimentos utilizando o computador como instrumento de medida. As atividades devem ser realizadas em grupo, conduzidas pelo coordenador dos trabalhos.

Através da realização destas oficinas, pretende-se que os professores participantes multipliquem todo ou parte do material desenvolvido em suas salas de aula, atingindo um número relativamente grande de estudantes do Ensino Médio.

Como produto final do projeto foi elaborado material de apoio a professores na forma impressa, acompanhado por um CD, além de textos, testes e animações disponíveis na página www.if.ufrgs.br/~ivomai/.

No capítulo 1 é apresentado um texto que descreve o funcionamento do forno de microondas; no capítulo 2 o texto que explica o funcionamento do disco rígido; no capítulo 3 são apresentadas orientações para a realização de cinco atividades experimentais e no capítulo 4 apresenta uma lista de exercícios de revisão.

Nos apêndices estão os testes e textos produzidos, bem como a descrição dos experimentos realizados, as atividades desenvolvidas em “hot potatoes” e as simulações. O CD encontra-se no apêndice.

1. COMO FUNCIONA O FORNO DE MICROONDAS?

O que são microondas? Como cozer ou aquecer alimentos, através de microondas? Essas perguntas ou dúvidas serão esclarecidas no transcorrer dos trabalhos deste projeto.

O tema é muito interessante e, para estudá-lo, vamos desmontar um forno de microondas, realizar experimentos que ajudem a entender os princípios que explicam o seu funcionamento, estudar textos e visitar endereços eletrônicos para aprofundar os conteúdos que descrevem tais princípios.

O objetivo deste manual é construir um conjunto experimental (*kit*) do forno de microondas desmontado, servindo como apoio didático para professores e estudantes que poderão montar na sua Escola. Assim, pretendemos contribuir para uma aprendizagem significativa da física a partir da sua aplicação nos produtos da tecnologia presentes em nosso cotidiano.

O forno de microondas é um aparelho relativamente simples, especialmente quando comparado com outros equipamentos tecnológicos. Antes de discutirmos os princípios de seu funcionamento, vamos desmontar um forno de microondas, sempre respeitando as dicas e precauções para evitar acidentes.

1.1. MANUAL DO FORNO DE MICROONDAS

Para conhecer a estrutura física de um forno de microondas e estudar a função de cada componente é importante desmontá-lo. Recomendamos visitar oficinas de suporte técnico para eletrodomésticos, onde facilmente se conseguem doações gratuitas de componentes e fornos fora de uso. Assim, a presente atividade poderá ser desenvolvida em qualquer Escola, pois não é necessário fazer grandes investimentos. Dependendo da marca ou ano de fabricação, a estrutura física pode variar muito, mas os componentes básicos e os princípios físicos aplicados no seu funcionamento são os mesmos. Portanto, não temos grandes problemas em adquirir materiais para desenvolver a atividade. Na figura 1.1 é apresentado um forno da marca Brastemp, que funciona numa frequência de 2450 MHz, com uma potência de 1,7 kW e cuja câmara de cozimento possui um volume interno de 27 L.

Inicialmente devemos identificar a localização, tipo e bitola dos parafusos que prendem o painel externo e os componentes. Normalmente são parafusos do tipo Phillips das mais diversas bitolas. Antes da desmontagem do forno desligue-o da tomada para proteção segura contra riscos de choque elétrico. A remoção do painel externo com o aparelho ligado poderá expor as pessoas a riscos de alta voltagem.



Figura 1.1 – Forno de microondas BRASTEMP de 1,7 kW de potência, para redes elétricas de 220V e corrente 7 A.

Para desmontar um aparelho de microondas e construir um modelo desmontado, siga os seguintes passos:

1º) Retire os parafusos que prendem o painel externo.

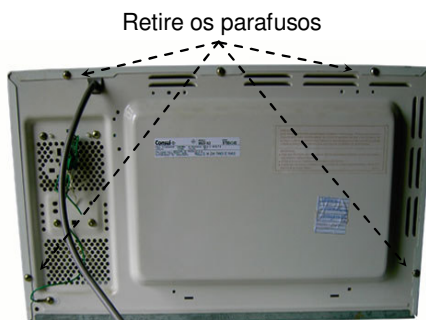


Figura 1.2 – Retirar os parafusos que prendem o painel externo, com auxílio de uma chave Phillips.

2º) Com o painel externo removido, podemos visualizar os componentes do forno de microondas, como o cabo de força, que faz a conexão do aparelho a uma tomada devidamente aterrada, de 20 ampères para 127 V e de 15 ampères para 220 V, 60 Hz. A energia do cabo de força vai para um circuito elevador de tensão formado pelo transformador, um capacitor e um diodo, que converte a energia elétrica de baixa tensão em alta tensão, necessária para o magnetron. Também vemos o magnetron que é considerado o coração do forno, ou seja, é o componente que produz as microondas. Fica visível a placa de circuitos do painel de controle, um ventilador e os cabos que interligam os componentes.

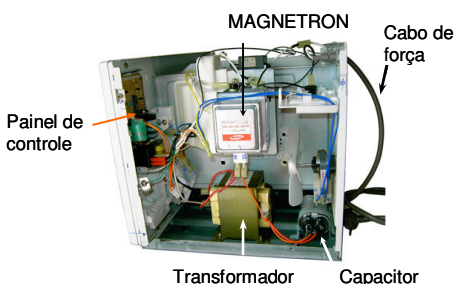


Figura 1.3 – Foto que mostra os principais componentes do circuito elétrico responsável pela geração das microondas.

3º) CONEXÕES: antes de retirar os cabos e fios das conexões que interligam os componentes, é importante fazer a sua identificação com caneta (marcador permanente) ou etiqueta, para facilitar a remontagem do forno.

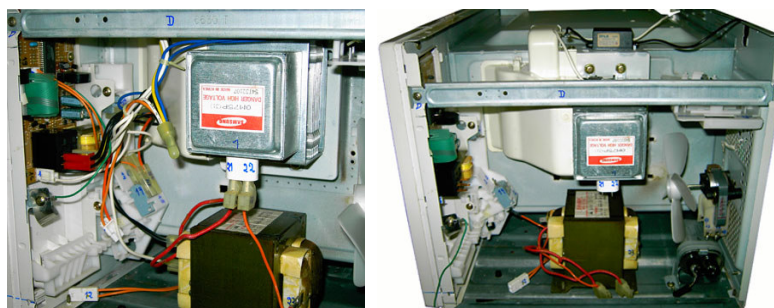
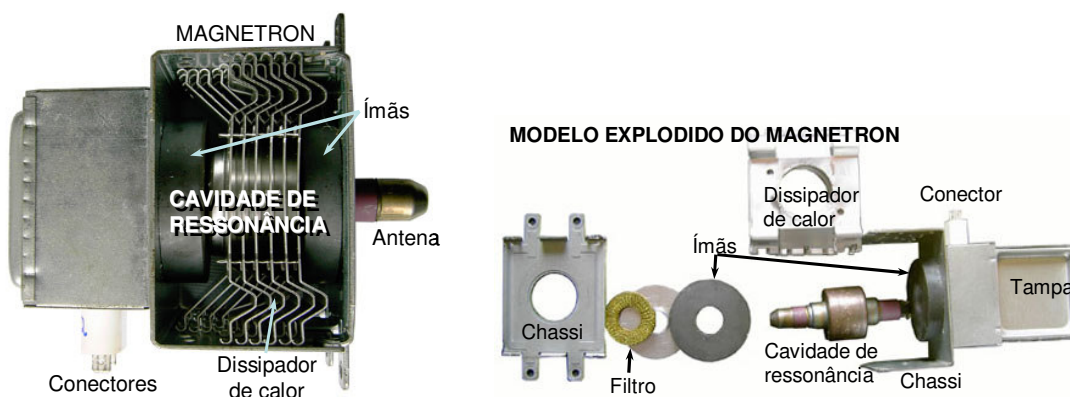


Figura 1.4 – Recomenda-se para leigos identificar as conexões com números e posição dos componentes com letras como mostram as fotos.

4º) MAGNETRON: considerado o coração do forno de microondas, é constituído pelo ânodo, filamento (cátodo) e antena.



A figura 1.6 mostra a cavidade de ressonância do magnetron, partido ao meio para mostrar a sua geometria interna. A cavidade de ressonância por sua vez é o componente mais importante do magnetron, sendo constituído basicamente pelo ânodo, cátodo (filamento) e a antena.

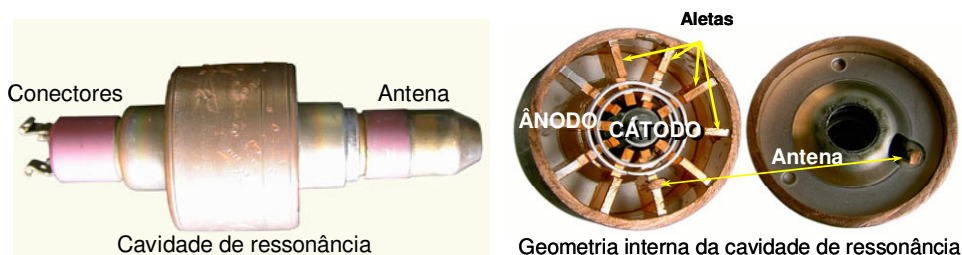


Figura 1.6 – a) Cavidade de ressonância do magnetron; b) cavidade de ressonância do magnetron aberta, mostrando a sua geometria interna.

5º) **GUIA DE ONDAS:** retirando o magnetron, aparece o guia de ondas, que é formado por um tubo metálico, e que tem a finalidade de levar as ondas até a câmara ou cavidade de cozimento onde as queremos. Em alguns sistemas, na extremidade do guia de ondas temos uma ventoinha metálica que serve para aumentar a convexão.



Figura 1.7 – a) A foto mostra o guia de ondas do lado externo do forno, onde o magnetron emite as microondas; b) mostra o guia de ondas na parte interna da câmara de cozimento com a tampa plástica retirada.

6º) **CÂMARA DE COZIMENTO** ou **CAVIDADE DE COZIMENTO:** a cavidade do forno geralmente é construída de aço inoxidável, alumínio ou aço pintado, materiais capazes de refletir as microondas que não são imediatamente absorvidas pelos alimentos. As ondas refletidas ricochetearão pelo forno até serem absorvidas.



Figura 1.8 – Câmara de cozimento e o prato giratório do forno de microondas.

7º) **PRATO GIRATÓRIO:** localizado na câmara de cozimento, mostrado na figura 1.8, garante uma distribuição uniforme das microondas no alimento. O prato geralmente é constituído de vidro para permitir que as microondas o atravessem, alcançando os alimentos de todos os lados para garantir um cozimento uniforme. Alguns fornos utilizam prateleira de vidro no lugar do prato giratório.

8º) **PORTA:** A parte externa frontal contém uma porta com mecanismo travador e uma janela transparente que contém uma grade metálica cujos orifícios têm dimensões muito menores que o comprimento de onda das microondas. Esses dispositivos têm uma função de segurança muito importante, pois eles têm como objetivo impedir o vazamento das microondas.



Figura 1.9 – Vista parcial da porta do forno onde é possível ver a grade metálica que impede o vazamento das microondas.

9º) PAINEL DE CONTROLE: a parte frontal também contém o painel de controle que apresenta diversos botões que variam conforme a marca e modelo. Geralmente existem opções para controle de potência, de tempo e botões para ligar e desligar o forno.

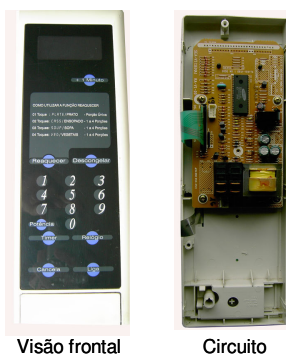


Figura 1.10 – As fotos mostram visão frontal e traseira do painel de controle de um forno de microondas.

1.2. PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO

1.2.1. O que são microondas?

Chamamos de microondas as ondas eletromagnéticas com frequências desde 300 MHz (300×10^6 Hz) até 300 GHz (300×10^9 Hz) e comprimentos de onda desde 1 m até 1 mm. São, portanto, ondas que estão entre a região de ondas de TV e a região do infravermelho no espectro das ondas eletromagnéticas. Inicialmente as microondas foram utilizadas para a telecomunicação, como em radares e telefone. Durante a segunda Guerra Mundial, Percy Spencer, trabalhando com radares, percebeu que uma barra de chocolate havia se derretido no seu bolso. Descobriu, assim, que as microondas têm a capacidade de aquecer alimentos, pois a energia das ondas nessa região do espectro eletromagnético corresponde à energia do movimento rotacional de algumas moléculas dipolares presentes nos alimentos, como as de água, gorduras e açúcares.

A existência de ondas eletromagnéticas foi proposta por James Clerk Maxwell em 1864, através de suas famosas equações. Em 1888 Heinrich Hertz foi o primeiro a demonstrar,

experimentalmente, a existência de ondas eletromagnéticas ao construir um dispositivo capaz de produzir ondas de rádio.

1.2.2. Mas como são geradas essas ondas?

Para entender melhor esse fenômeno, vamos analisar três situações em que ocorre a formação de ondas.

1º) Uma barra de madeira colocada sobre a superfície da água de maneira que flutue. Ao agitá-la para cima e para baixo da superfície surgem ondas na água. Estas são **ondas mecânicas**.

2º) Um bastão isolante carregado eletricamente gera um campo elétrico em sua volta. Agitando-o de um lado para o outro, o campo elétrico será variável. Segundo a previsão feita por Maxwell, essa variação gera um campo magnético e, como consequência, uma **onda eletromagnética**.

3º) Através de um circuito elétrico formado por uma bateria, uma bobina e um capacitor interligados por condutores, como mostra a figura 1.11, temos um circuito oscilante. A variação do campo elétrico é obtida através de sucessivos processos de carga e descarga do capacitor. O capacitor carregado tem um campo elétrico entre suas placas; durante o processo de descarga, o campo elétrico diminui de intensidade e surge um campo magnético induzido e uma corrente elétrica que atravessa a bobina, gerando um campo magnético crescente. Com o capacitor totalmente descarregado, o campo elétrico é nulo e o campo magnético da bobina atinge valor máximo. Os campos elétrico e magnético oscilantes com as periódicas cargas e descargas do capacitor regeneram um ao outro, gerando **ondas eletromagnéticas**.

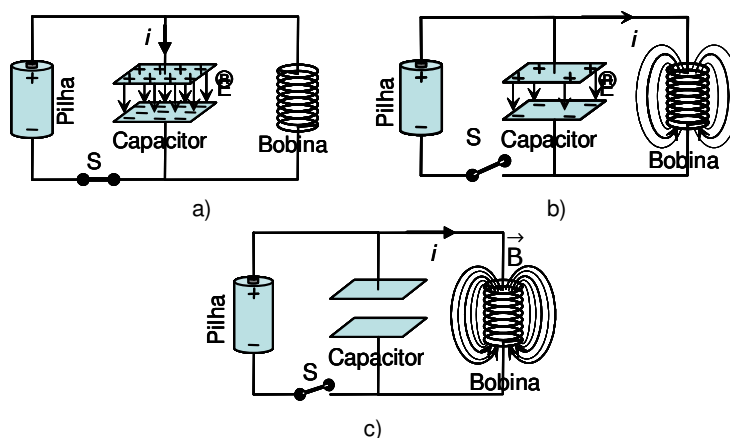


Fig. 1.11– a) circuito oscilante capacitor, bobina, fonte, com o capacitor carregando até atingir campo elétrico máximo enquanto o campo magnético na bobina é nulo. b) Com a chave aberta, o capacitor descarregando gera uma corrente pela bobina. O campo elétrico decresce e o campo magnético na bobina cresce. c) Com o capacitor totalmente descarregado, o campo elétrico nulo e campo magnético é máximo.

Cargas elétricas geram campos elétricos. Se a carga estiver em movimento, a variação correspondente do campo elétrico produzirá um campo magnético. Da mesma forma, campos

magnéticos oscilantes geram campo elétricos. As equações de Maxwell relacionam as variações destes campos e introduzem o conceito de onda eletromagnética.

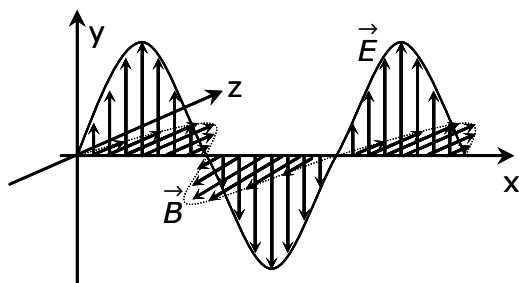


Fig. 1.12 – O campo elétrico $\vec{E}$ oscilando no plano xy e o campo magnético $\vec{B}$ oscilando no plano xz de uma onda eletromagnética no espaço livre. Os campos estão em planos mutuamente perpendiculares e perpendiculares à direção de propagação x da onda.

A frequência das ondas geradas pelo circuito mostrado na figura 1.11 depende das propriedades do capacitor e da bobina. O tempo de carga e descarga de um capacitor é diretamente proporcional à sua capacitância. Da mesma maneira, a quantidade de energia armazenada em uma bobina depende de sua indutância.

Circuitos ressonantes deste tipo não são apropriados para geração de ondas com frequências elevadas, na faixa de GHz, como é o caso dos fornos de microondas, que utilizam ondas com frequência de 2,45 GHz. Neste caso, as ondas são geradas por um magnetron.

A tabela abaixo mostra a denominação das bandas para a faixa de microondas.

TABELA 1: Designação das bandas para as faixas de microondas

Designação	Frequência	Designação	Frequência
Banda L	1 a 2 GHz	Banda Q	30 a 50 GHz
Banda S (Forno Microondas)	2 a 4 GHz	Banda U	40 a 60 GHz
Banda C	4 a 8 GHz	Banda V	50 a 75 GHz
Banda X	8 a 12 GHz	Banda E	60 a 90 GHz
Banda K _u	12 a 18 GHz	Banda W	75 a 110 GHz
Banda K	18 a 26 GHz	Banda F	90 a 140 GHz
Banda K _a	26 a 40 GHz	Banda D	110 a 170 GHz

Fonte: http://es.wikipedia.org/wiki/Microonda#Bandas_de_frecuencia_de_microondas

As ondas eletromagnéticas na faixa de radiofrequência foram subdivididas em oito faixas com alocações determinadas pela Comissão Federal de Comunicações (FCC) dos EUA, conforme mostra a tabela abaixo.

TABELA 2: Alocação das faixas de frequência de microondas para aplicações diversas

FAIXA	FREQUÊNCIA	ALOCÇÃO
UHF (Ultra High Frequencies)	401 MHz a 420 MHz	Operações especiais e satélites meteorológicos
	420 MHz a 450 MHz	Radioamadorismo (450 MHz ruralcel)
	450 MHz a 470 MHz	Faixa do cidadão classe A, com 16 canais.
	470 MHz a 800 MHz	Canais 14 a 69 de TV em UHF (6 MHz cada)
	800 MHz a 1 GHz	Canais de telefonia celular
	2,45 GHz	FORNO DE MICROONDAS DOMÉSTICO
	2,7 GHz a 2,9 GHz	Radar de aeroporto
SHF (Super High Frequencies)	3 GHz a 3,7 GHz	Radares
	3,7 GHz a 4,2 GHz	Comunicação satélites Intelsat IV com a Terra
	4,2 GHz a 4,4 GHz	Rádio-altímetros
	5 GHz a 30 GHz	Comunicações com satélites
EHF (Extra High Frequencies)	30 GHz a 300 GHz	Utilizada em comunicações com satélites

1.2.3. Como funciona o magnetron?

O princípio de funcionamento do magnetron está baseado no efeito de circuitos ressonantes, conforme descrito a seguir.

O circuito ressonante tem a capacidade de gerar ondas e é formado pela ligação em paralelo de uma bobina e um capacitor. Quando uma bobina é percorrida por uma corrente elétrica, um campo magnético é gerado ao seu redor. Esse campo possuirá um pólo norte e um pólo sul nas extremidades da bobina, exatamente como em um ímã permanente. Se o sentido da corrente que circula pela bobina for invertido, o sentido do campo magnético também inverterá e, no caso da fonte de alimentação da bobina ser desligada, o campo magnético diminuirá, gerando uma tensão na bobina a qual, durante um certo intervalo de tempo, manterá a corrente fluindo no mesmo sentido, na tentativa de impedir a diminuição do campo, preservando a energia armazenada no circuito. Esta habilidade das bobinas de armazenar energia é chamada de “indutância”.

No caso de um capacitor, que é constituído por duas placas metálicas separadas por ar, papel, óleo, mica ou outro tipo de isolante, ocorre o armazenamento de energia elétrica. Quando ligadas a uma fonte de alimentação, uma das duas placas se carregará negativamente e a outra positivamente, como mostra a figura 1.13. Existirá corrente no circuito apenas durante a carga e a descarga do capacitor. Quando ligamos uma bobina e um capacitor em paralelo, e tomando como

ponto de partida um instante em que o capacitor está totalmente carregado, a corrente no circuito é nula. Imediatamente surge uma corrente elétrica através da bobina, pois os elétrons da placa negativa do capacitor tendem a atingir a placa positiva. Neste ponto, a corrente na bobina é máxima e a energia é armazenada na forma de energia magnética, até que a carga do capacitor seja reduzida a zero. A corrente diminui com o tempo, causando uma redução do campo magnético, induzindo corrente no sentido contrário, para carregar o capacitor com polaridade oposta à inicial. Quando o capacitor é carregado, a placa negativa do capacitor torna-se positiva e novamente a corrente se torna nula. Assim sendo, o capacitor recebe carga novamente mas, agora, através da bobina forçando uma corrente no sentido contrário ao anterior. O campo magnético da bobina novamente aumenta, mas em sentido oposto, pois, como já sabemos, conforme mudamos o sentido da corrente, alteramos também o do campo magnético. Novamente o sentido da corrente inverte, enquanto a intensidade do campo magnético da bobina diminui gradativamente, porém mantendo-o o tempo suficiente até recarregar o capacitor. No instante seguinte, voltamos à situação inicial, onde a corrente é nula e o capacitor está carregado. A partir daí o ciclo é repetido, produzindo uma corrente alternada no circuito. Dessa maneira a carga e descarga de um capacitor e de uma bobina geram oscilações eletromagnéticas.

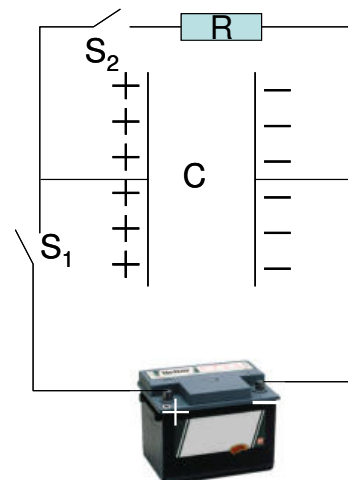


Figura 1.13 – Circuito capacitivo resistivo.

A estrutura básica do magnetron utilizado para gerar a frequência de 2,45 GHz, utilizada nos fornos de microondas, é constituída por ânodo, cátodo, antena e ímãs permanentes, conforme representado na figura 1.14. O princípio de funcionamento é semelhante ao do circuito oscilante descrito acima. O ânodo é uma peça metálica oca, geralmente feita de cobre ou ferro, contendo um número par de aletas na sua cavidade, apontando para o catodo. O cátodo é um filamento que é o emissor de elétrons e fica localizado no centro da cavidade do magnetron. A antena fica ligada a uma aleta do anodo e é responsável por conduzir as microondas para a parte externa do magnetron.

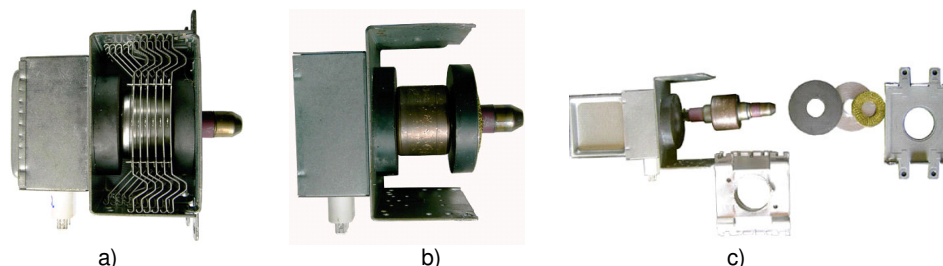


Figura 1.14 – a) Fotografia de um magnetron; b) é uma fotografia que mostra a cavidade de ressonância em detalhes; c) é o magnetron desmontado mostrando seus principais componentes.

A parede da cavidade ressonante, em conjunto com as aletas, se comporta como uma série de bobinas e as aletas como um conjunto capacitores. Enquanto uma corrente elétrica circula na

parede da cavidade e nas aletas, gerando campos magnéticos variáveis, formam-se campos elétricos variáveis nos espaços que separam as aletas. Assim o conjunto se comporta como um circuito ressonante com os valores de indutância e capacitância muito pequenos, emitindo oscilações com alta frequência.

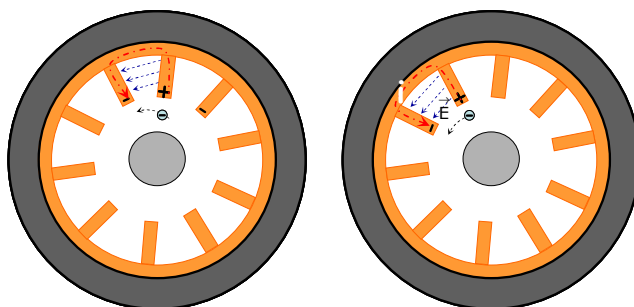


Figura 1.15 – Dois instantes diferentes de um elétron se movendo na cavidade de um magnetron.

Uma análise detalhada do funcionamento do magnetron revela que o cátodo quando aquecido emite elétrons. Ele está ligado ao pólo negativo submetido a uma voltagem de 4.000 V em relação ao ânodo. Os elétrons são emitidos em direção ao ânodo, porém o campo magnético criado pelos dois ímãs circulares posicionados entre o cátodo e o ânodo, aplica uma força magnética sobre estes elétrons, obrigando-os a descreverem uma trajetória circular antes de, eventualmente, alcançarem o ânodo (ver figura 1.15). A passagem dos elétrons nas proximidades de uma aleta induz uma carga positiva, repelindo os elétrons gerando uma corrente nas aletas e na parede do ânodo. Isso ocorre porque um elétron, enquanto se aproxima de uma aleta, induz nesta uma carga positiva que aumenta de intensidade e diminui à medida que ele segue em frente gerando uma corrente alternada. “Quando a cavidade conduz uma corrente, a parede da cavidade comporta-se como uma bobina e a abertura da cavidade como um capacitor, criando assim um circuito ressonante”.¹ Esta corrente gera, na cavidade do ânodo, campos magnéticos e elétricos variáveis e por sua vez emite microondas. Uma analogia entre o circuito ressonante formado por capacitor e indutor e o magnetron é mostrado na figura 1.16.

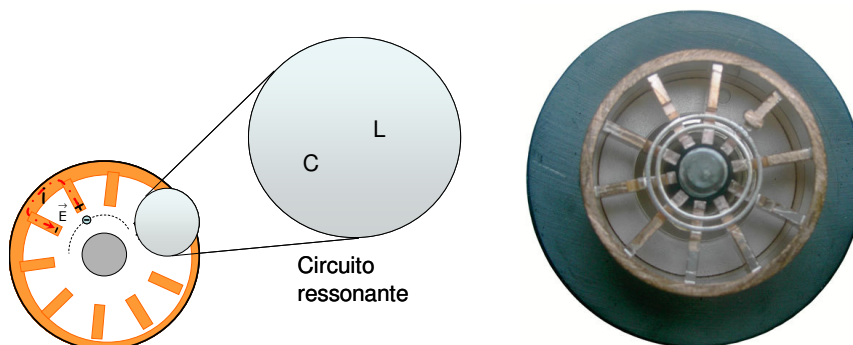


Figura 1.16 – A figura mostra em detalhes através de um esquema e uma foto de uma das cavidades do magnetron funcionando como um circuito ressonante LC (indutor-capacitor) em paralelo.

¹ Manual: Princípios de Microondas Brastemp.

Na realidade não é apenas um elétron emitido que se move na cavidade do magnetron, mas um aglomerado deles que se movem juntos, ejetados a partir do cátodo devido à diferença de potencial existente, movendo-se na forma de roda raiada e influenciados pelo campo magnético dos ímãs permanentes. Essa aglomeração de elétrons de alta energia gira no espaço da cavidade, localizado entre o cátodo e o ânodo, e eventualmente alcançam o ânodo. Enquanto os elétrons giram na cavidade e passam próximos das aletas, eles vão alternando as cargas elétricas positivas e negativas, conforme mostra a figura 1.17. Essa oscilação produzida pela alternância entre cargas positivas e negativas nas aletas funciona como circuito ressonante, que é repetido 2.450.000 vezes por segundo e gera microondas de alta frequência (2,45 GHz). A antena capta e irradia a energia dessas ondas para a câmara de cozimento do forno através do guia de ondas, que nada mais é do que um tubo de metal retangular ou cilíndrico.

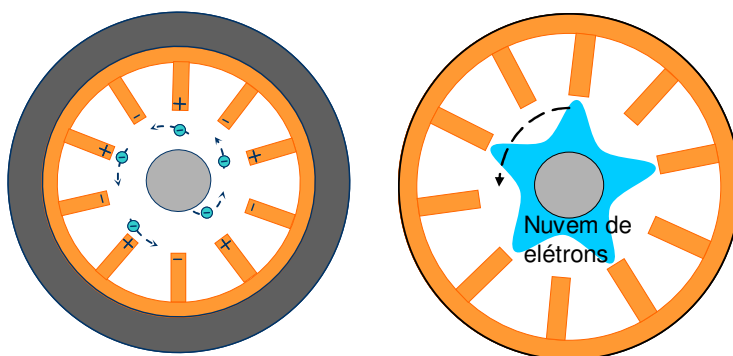


Figura 1.17 – Nuvem de elétrons raiada sendo emitida pelo catodo do magnetron.

1.2.4. Como as ondas são irradiadas até o interior da câmara de cozimento?

O magnetron possui uma antena que se estende até o topo do tubo que capta e irradia a energia dessas ondas para a câmara de cozimento do forno através do guia de ondas. O guia de onda nada mais é do que um tubo oco de metal retangular ou elíptico de dimensões comparáveis ao comprimento de onda utilizado. Esses tubos são fabricados em metais que tenham a capacidade de refletir e direcionar as microondas até o interior da câmara de cozimento. Os modos de vibração das microondas caracterizam-se pela formação de ondas estacionárias tendo as paredes como condições de contorno, pois as microondas devem ficar confinadas no interior do tubo. Para evitar o surgimento de corrente elétrica nas paredes dos guias, os nodos das ondas estacionárias devem coincidir com as paredes do tubo. Para satisfazer essa condição, a seção do guia de ondas deve ter dimensão igual ou um múltiplo de $\lambda/2$. A figura 1.18 mostra um exemplo de guia de onda utilizado num forno de microondas.



Figura 1.18 – A foto mostra a vista a partir da câmara de cozimento do forno de microondas.

1.2.5. Como as microondas aquecem os alimentos?

Os alimentos geralmente contêm uma certa porcentagem de água. A água é formada por moléculas polares, isto é, possuem pólos nos seus extremos, um positivo e outro negativo, conforme mostra a figura 1.19.

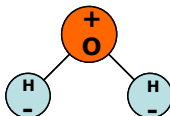


Figura 1.19 – A molécula de água é polar. Tem pólo positivo e pólo negativo.

As microondas na frequência de 2,45 GHz carregam energia que pode ser absorvida por moléculas polares como da água, gorduras e açúcares, utilizando o fenômeno da **ressonância**. Moléculas polares são capazes de se alinhar com o campo elétrico das ondas. Como o campo muda de direção de acordo com a frequência, cada molécula tende a acompanhar essas mudanças, arrastando moléculas vizinhas. Essa agitação resulta no aumento da energia cinética das moléculas e, como consequência, também ocorre o aumento da temperatura. A figura 1.20 mostra uma sequência de variações de um campo elétrico e a tendência de uma molécula de água em acompanhar essa variação.

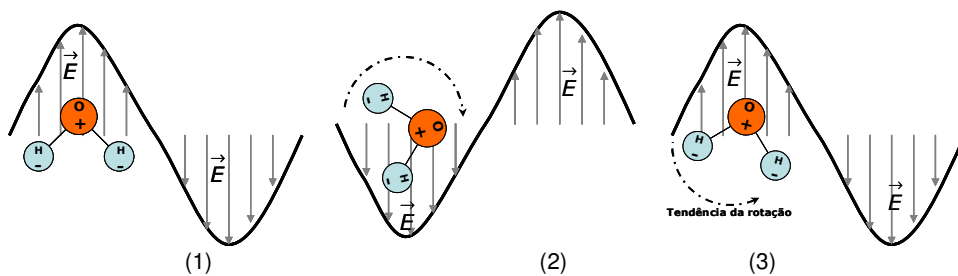


Fig. 1.20 – No instante (1) a molécula da água está alinhada com o campo elétrico da onda; No instante (2) o campo inverteu seu sentido e a molécula tende a girar; No instante (3) a onda muda de sentido novamente e a molécula tende a acompanhar o campo. O processo se repete $2,45 \cdot 10^9$ vezes por segundo, acompanhando a frequência da onda.

Somente moléculas de água, gordura e açúcar entram em ressonância com as microondas. Isso significa que apenas os alimentos que contêm essas moléculas são aquecidos pelo forno. Então,

o ar, os vasilhames de vidro, plástico ou outros materiais não são aquecidos, o que representa uma grande economia de energia. O ar e os vasilhames colocados no interior da câmara de cozimento se aquecem apenas por condução ou convecção através do alimento aquecido.

1.2.6. Tamanho do forno de microondas

Um bom projeto de forno de microondas leva em consideração quatro aspectos importantes, que são:

- 1 – o tamanho compatível com as cozinhas e espaço sobre balcões;
- 2 – o tamanho da cavidade interna compatível com as necessidades da cozinha e principalmente o comprimento de onda utilizado no processo;
- 3 – a distribuição uniforme de energia de microondas, para todos os tipos e quantidades de alimentos;
- 4 – o nível ótimo de potência no interior da cavidade do forno.

Ondas confinadas entre duas paredes, como as microondas na câmara de cozimento ou uma corda presa pelas duas extremidades e posta a vibrar, sofrem reflexões que fazem com que haja ondas deslocando-se em sentidos opostos. Essas ondas de mesma frequência, mesma amplitude, mesma velocidade, mesma direção e sentidos opostos, se sobrepõem. A superposição pode formar **ondas estacionárias**, dependendo da relação entre o comprimento de onda e da distância entre as extremidades.

Na figura 1.21 vemos frentes de ondas estacionárias formadas por uma corda fixa nas duas extremidades. Se a corda for excitada por um movimento harmônico simples com pequena amplitude, podemos verificar que, para certas frequências, aparecem configurações de ondas estacionárias.

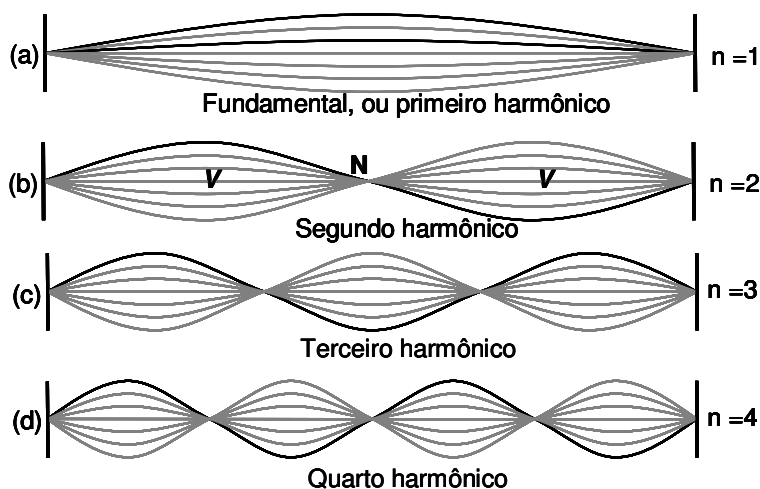


Figura 1.21 – Ondas estacionárias numa corda com as duas extremidades fixas. Vemos quatro modos de vibração de uma mesma corda ou quatro harmônicos. As regiões que apresentam vibração (V) são os ventres, e as regiões sem vibração (N) são os nós. (MAI, 2006, p. 176)

Uma onda estacionária se caracteriza pelo fato de que pontos da corda realizam movimento harmônico simples (MHS) com diferentes amplitudes. O ponto da corda que realiza um movimento harmônico com amplitude máxima é chamado ventre, e o ponto que não vibra é um **nó** ou nodo. Os pontos intermediários entre um **ventre** (V) e um **nó** (N) realizam movimento harmônico com a mesma frequência, mas com amplitudes menores que o valor máximo encontrado num ventre. Observe que as duas pontas da corda estão fixas e não vibram. Portanto, esses pontos também formam nodos.

É importante lembrar que onda transporta energia, mas no caso das ondas estacionárias isso não ocorre, pois os nodos não vibram, ou seja, eles não transportam energia. Nesse caso a energia fica confinada nas regiões de vibração ocorrendo, periodicamente, conversões de energia cinética em energia potencial elástica e vice-versa. Nesse caso se mantém o termo “onda” por se tratar de uma superposição de duas ondas que se propagam em sentidos opostos.

A formação de ondas estacionárias não é uma exclusividade para cordas ou ondas sonoras. O fenômeno ocorre com qualquer tipo de onda confinada, inclusive ondas eletromagnéticas. Num forno de microondas, a câmara de cozimento é dimensionada de maneira que as suas paredes sempre coincidam com nós das microondas, como vemos na figura 1.22. Assim, praticamente não haverá absorção de energia das ondas pelas paredes do forno, proporcionando reflexões próximas à condição ideal de formação de onda estacionária. O alimento é colocado sobre um **prato giratório** para garantir uma distribuição uniforme de energia, pois se o alimento permanecesse estático, teríamos pontos frios em locais que coincidisse com os nodos das ondas estacionárias.

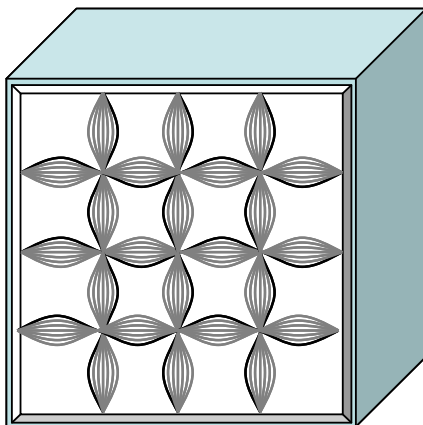


Figura 1.22 – Ondas estacionárias no interior de um forno de microondas. (MAI, 2006, p. 176)

A distância entre as paredes da câmara de cozimento deve, então, ser um múltiplo inteiro de meio comprimento de onda das microondas utilizadas no processo. Como as microondas utilizadas têm uma frequência de 2,45 GHz, um comprimento de onda corresponde à: $\lambda = \frac{v}{f} \rightarrow$

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{2,45 \times 10^9 \text{ Hz}} = 0,1224 \text{ m}$$

e meio comprimento de onda vale $\frac{\lambda}{2} = \frac{12,24 \text{ cm}}{2} = 6,12 \text{ cm}$. Portanto, as dimensões internas da câmara de cozimento deverão ser múltiplos inteiros de 6,12 cm.

O forno de microondas é um aparelho relativamente simples, mas o seu funcionamento, como pode ser visto, exige uma cuidadosa integração de todos os componentes. Vamos considerar, em maiores detalhes, o funcionamento dos demais componentes.

1.2.7. De que é constituído e como funciona o circuito de alta tensão?

O circuito de alta tensão, também conhecido como “circuito dobrador de meia onda”, é constituído por um transformador elevador de tensão, por um capacitor de alta tensão e um diodo. A figura 1.23 mostra o esquema desse circuito².

O cabo de força liga a tomada de 220 V ou 110 V ao primário do transformador. O secundário gera uma tensão alternada de aproximadamente 2.000 V. Durante o semiciclo positivo da tensão em corrente alternada, o capacitor se carrega e fica submetido a uma tensão de 2000 V, enquanto o magnetron permanece desligado, pois a corrente passa pelo diodo que causa um curto circuito. Durante o semiciclo negativo o capacitor se descarrega e a sua tensão é somada à tensão da bobina secundária do transformador. Eles funcionam como uma associação em série de geradores e geram uma tensão total de aproximadamente 4.000 V, que é aplicada diretamente no magnetron. Note que em cada ciclo completo da corrente alternada, o magnetron está ligado durante meio ciclo e está desligado durante o outro meio ciclo. Como a frequência de rede utilizada no Brasil é de 60 Hz, o magnetron liga e desliga sessenta vezes por segundo. A figura 1.24 mostra o esquema.³

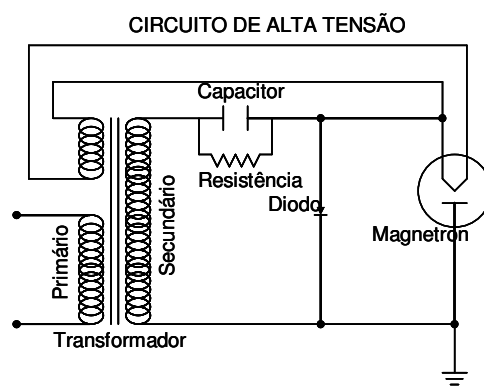


Figura 1.23 – Circuito de alta tensão constituído por um transformador, um capacitor, um diodo e uma resistência de drenagem.

O circuito também possui uma resistência de $9\text{ M}\Omega$ ou $10\text{ M}\Omega$, ligada em paralelo com o capacitor. Esse resistor de drenagem descarrega o capacitor quando o forno é desligado. O tempo necessário para a descarga completa é de aproximadamente 30 segundos.

² Figura 1.23 adaptada do Manual de Treinamento da Brastemp.

³ Figura 1.24 adaptada do Manual de Treinamento da Brastemp.

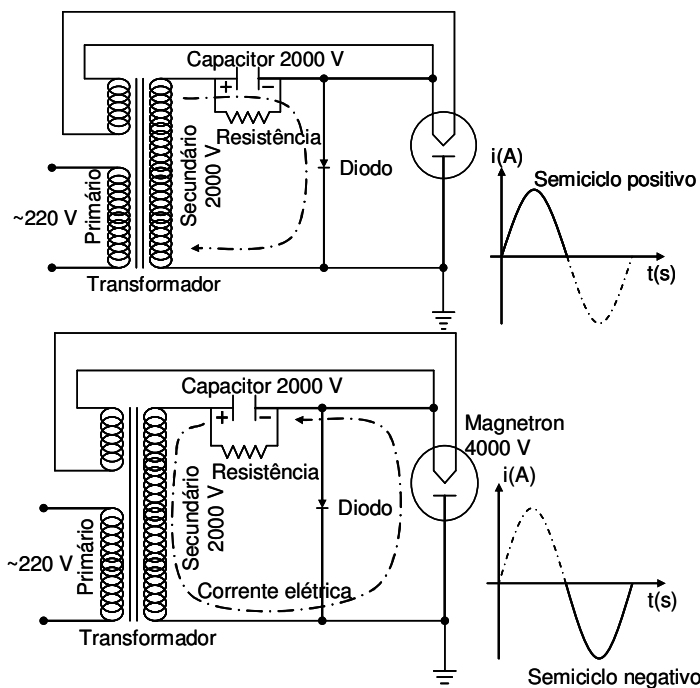


Figura 1.24 – Circuito de alta tensão em operação. O primeiro esquema (a) mostra o circuito em operação durante o semiciclo positivo da corrente alternada. O segundo esquema (b) mostra o circuito em operação durante o semiciclo negativo da corrente.

1.2.8. Que materiais são utilizados na fabricação e que vasilhames podem ser utilizados no forno de microondas?

As microondas são ondas eletromagnéticas e têm características semelhantes às ondas utilizadas na comunicação, luz, raios x... Para entender o que acontece com as microondas no interior da câmara de cozimento de um forno, devemos conhecer três características importantes das microondas:

1ª) elas são refletidas pelos metais, tal como a luz é refletida por um espelho;

2ª) elas atravessam a maioria dos vidros, plásticos, porcelanas e papéis, sofrendo os mesmos efeitos que a luz sofre quando passa por meios transparentes como o ar ou o vidro. Ou seja, sofrem refração, mas praticamente não sofrem absorção da sua energia;

3ª) as microondas são absorvidas pelo efeito da ressonância apenas por algumas substâncias presentes nos alimentos, como água, açúcares e/ou gorduras, sendo convertidas em energia térmica.

Os metais, vidro, porcelanas e o próprio ar não são aquecidos diretamente pelas microondas porque esses materiais não absorvem a energia das microondas, porém os metais têm a

capacidade de refleti-las, enquanto materiais como vidro, porcelanas e papéis são transparentes para essa banda de frequências.

Portanto, os vasilhames que serão utilizados e o prato giratório devem ser fabricados com materiais transparentes para as microondas, permitindo que elas cheguem até os alimentos que desejamos cozer ou aquecer. As paredes da cavidade de cozimento são feitas de metal, pois, assim, as microondas sofrem múltiplas reflexões até que sejam absorvidas pelos alimentos. Mas devemos lembrar que as microondas são formadas por uma combinação de campos elétrico e magnético que se propagam pelo espaço carregando energia. Um metal exposto a estas ondas poderá apresentar correntes elétricas que acompanham as variações do campo elétrico. Isso não causará problemas enquanto o objeto puder suportar a passagem dessas correntes sem causar superaquecimento e enquanto as cargas não escaparem para o ar causando faíscas. Por isso as paredes da cavidade devem ser pintadas com tinta esmalte, de maneira que nenhuma parte fique descoberta, evitando a formação de faíscas elétricas. Também não é aconselhável introduzir objetos metálicos pontiagudos, como garfos, ou cobrir os alimentos com papel alumínio que formam pontas, pois podem emitir faíscas elétricas, danificando o aparelho. Além disso, o papel alumínio reflete as microondas dificultando que elas sejam absorvidas pelos alimentos.

1.2.9. As microondas fazem mal à saúde?

Existem muitos mitos que desaconselham o uso de fornos de microondas para preparar alimentos. Esses mitos são grandes equívocos, pois o pouco conhecimento sobre o tema leva muitas pessoas a acreditarem que os alimentos podem ficar contaminados por algum tipo de radiação causadora de doenças como o câncer. Além disso, pensam que os alimentos perdem seu valor nutritivo pela “degradação” causada pelas radiações.

As microondas são radiação de baixa energia, tanto que são insuficientes para ionizar as moléculas ou átomos dos alimentos. Radiações ionizantes são aquelas que têm energia suficiente para arrancar elétrons dos átomos, como é o caso dos raios ultra-violeta C, raios x e raios γ . A energia que um fóton da radiação deve transferir para arrancar um elétron de um átomo depende do elemento e varia de 2,5 a 25 eV ($1\text{eV} = 1,9 \cdot 10^{-19}\text{J}$). As microondas não têm energia suficiente para provocar esse efeito, portanto não são ionizantes. A energia das microondas com 2,45 GHz é de apenas $1,013 \cdot 10^{-5}\text{eV}$, insuficiente para provocar ionização, porém, é suficiente para provocar o aumento da energia cinética de certas moléculas e, como consequência, o aumento da temperatura. Assim, o único problema que podem causar são queimaduras profundas em caso de acidentes. Portanto, não devemos entrar em contato direto com as microondas, pois elas danificam células vivas por aumentar a energia cinética e causar queimaduras graves.

Apesar da conveniência e necessidade de tomar medidas de segurança e prevenção contra queimaduras com microondas, não existe nenhum perigo de os alimentos preparados num forno de microondas ficarem contaminados com radiação. A única coisa que permanece nos alimentos é o

aumento de sua energia interna (temperatura). As microondas deixam de existir tão logo o aparelho for desligado, não permanecendo nem nos alimentos, nem no forno.

Leia mais sobre radiações não ionizantes no seguinte endereço eletrônico

<http://www.prorad.com.br/pro/rni.pdf>

As alterações químicas que ocorrem nos alimentos preparados num forno de microondas são menores do que as alterações ocorridas em alimentos preparados em fornos a gás, elétricos ou que utilizam outras fontes de energia.

Vejamos por quê.

Uma simples observação dos aspectos externos de alimentos preparados num forno elétrico ou a gás e outro preparado num forno de microondas revela diferenças. Por exemplo, um pedaço de carne preparada num forno elétrico fica dourado e no forno de microondas não. O aspecto dourado de alimentos assados é devido a uma reação entre carboidratos ou proteínas com açúcares, conhecida como reação de Maillard, ou de escurecimento. Essa reação reduz a solubilidade e o valor nutritivo das proteínas. Ela é útil quando os produtos tornam os alimentos mais aceitáveis pela cor, sabor e odor produzidos; mas é prejudicial quando ocorre perda de proteínas importantes para a nutrição humana.

“Durante o cozimento, a reação de Maillard (que envolve uma série de etapas) inicia com uma condensação entre aminoácidos e açúcares. Estes compostos, incolores, se rearranjam e desidratam para formar intermediários amarelados que, finalmente, são convertidos para polímeros vermelhos e marrons. Um dos efeitos positivos da reação de Maillard é o aspecto visual de bolos, pizzas e lasanhas quando cozidas; um negativo é o escurecimento do leite, quando aquecido por muito tempo (tal como no doce de leite). A cor deriva das melanoidinas formadas pela reação de Maillard. A reação de Maillard também é responsável pelo envelhecimento de nosso organismo. Muitos químicos vêm pesquisando drogas que interrompam as reações de Maillard numa tentativa de minimizar os efeitos do envelhecimento em nosso corpo.” (MINATTI)

Portanto, a degradação do valor nutritivo de alimentos proteicos preparados em forno convencional é maior do que quando preparados em forno de microonda. Porém, a utilização do forno de microondas é indicada para preparar receitas adequadas para que não haja perda na qualidade do sabor, odor e consistência dos alimentos.

1.2.10. Dispositivos de segurança do forno de microondas.

Enquanto os raios ultravioleta C, raios X e os raios γ são radiações ionizantes, podendo causar alterações moleculares com efeitos cumulativos e danos permanentes aos tecidos, as demais radiações do espectro eletromagnético, localizadas abaixo do ultravioleta C, ou seja, com menor energia, incluindo as ondas de comunicação, microondas até a luz visível, não causam alteração na

estrutura molecular nos tecidos. O único problema que as microondas podem causar são queimaduras e, para evitá-las, são adotadas medidas de segurança em duas áreas: as microondas propriamente ditas e o projeto do forno.

Os órgãos competentes, como a ANVISA, estabelecem padrões de segurança para a operação de aparelhos que utilizam radiações no seu funcionamento. Para os fornos de microondas, os padrões obrigatórios, relativos a vazamentos permissíveis em 5 cm, partindo da vedação da porta, não podem ultrapassar 1 miliwatt por centímetro quadrado (1 mW/cm^2) para um forno recém produzido, e 5 mW/cm^2 durante a sua vida útil. Esses padrões são muito baixos quando comparados com doses administradas durante tratamento médico de diatermia, por exemplo, que são de 100 mW/cm^2 .

As microondas seguem a lei do inverso do quadrado com a distância tal como um campo elétrico. Isto é, se duplicarmos a distância à fonte geradora, a potência das microondas é reduzida a um quarto; e se triplicarmos a distância, a potência é reduzida nove vezes. Assim, podemos dizer que se houver vazamento de microondas do forno, e este vazamento a 5 cm do forno apresentar uma intensidade de 5 mW/cm^2 a 10 cm, o nível de energia será de $1,25 \text{ mW/cm}^2$; e a 15 cm haverá uma potência de $0,56 \text{ mW/cm}^2$. O gráfico que representa essa variação está representado na figura 1.25.

O projeto de um forno de microondas é feito de forma a garantir que não haja vazamento, principalmente pela porta. A porta é projetada de maneira que tenha três dispositivos de segurança: o selo capacitivo; a cavidade de choque; e a vedação de absorção, que praticamente elimina toda a possibilidade de vazamento.

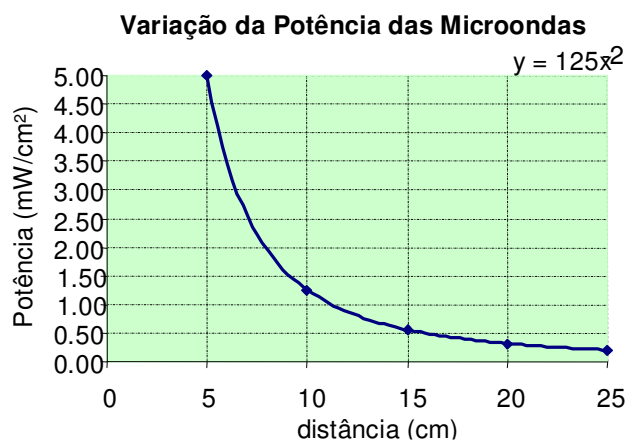


Figura 1.25 – Gráfico representando a variação da potência das microondas com a distância.

O mecanismo de travamento pressiona a porta contra a moldura metálica do forno, formando o primeiro dispositivo de segurança conhecido como **selo capacitivo**. Esse ajuste da porta contra a moldura metálica mediada por um material isolante garante a reflexão da maior parte das ondas de volta para a cavidade de cozimento, evitando vazamento e formação de faíscas elétricas. A

janela da porta é fabricada em três camadas: uma de vidro temperado ou plástico externo, uma grade metálica intermediária e um filme plástico translúcido interno. O vidro tem a função de permitir a passagem da luz e a camada de filme plástico interno, além de permitir a passagem da luz, protege a grade metálica contra o acúmulo de sujeiras e contra a corrosão. A grade metálica é projetada de maneira que as perfurações tenham um diâmetro muito maior que o comprimento de onda da luz, de forma a permitir a visibilidade, porém com diâmetro muito menor que o comprimento de onda das microondas, bloqueando e refletindo-as de volta para o interior da cavidade de cozimento.

Caso houver a passagem de ondas pelo **selo capacitivo**, existe outro dispositivo que bloqueia a sua passagem denominada “**cavidade de choque**”. As dimensões da “cavidade de choque” correspondem a $\frac{1}{4}$ de comprimento de onda. A onda que vaza pelo selo capacitivo incide no fundo da cavidade de choque, é refletida retornando até o ponto de vazamento com uma defasagem que resulta no cancelamento. Assim é eliminada qualquer possibilidade da onda escapar para fora do forno.

Por último temos a **vedação de absorção**, fabricada em ferrite emborrachada, que tem a capacidade de absorver qualquer onda com frequência próxima de 2,45 GHz que possa ultrapassar a “cavidade de choque”. As tiras de ferrite são projetadas para absorver frequências próximas de 2,45 GHz de baixa energia e são colocadas ao redor da borda da porta garantido um ajuste perfeito entre a porta e a borda do forno.

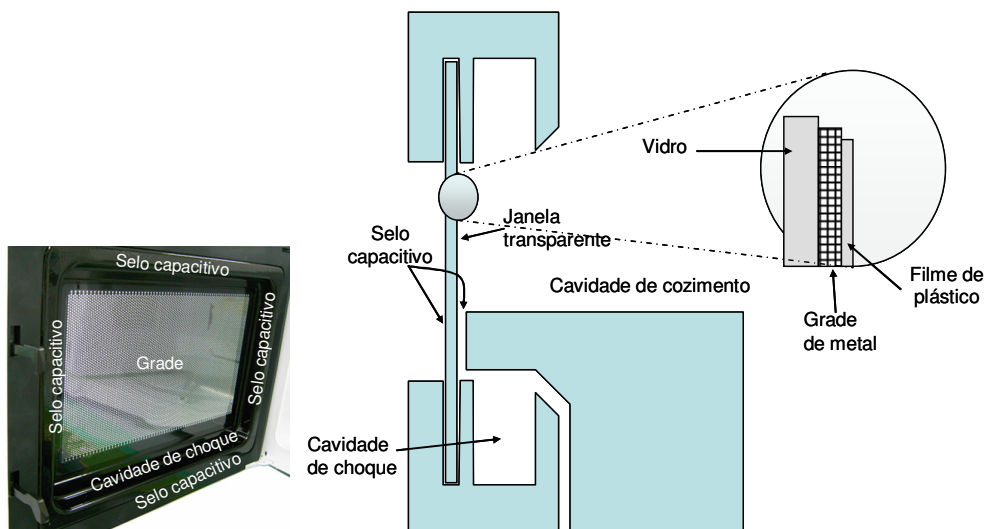


Figura 1.26 – A figura (A) mostra a fotografia de uma porta de um forno de microondas indicando os dispositivos de segurança: a janela com a grade metálica, o selo capacitivo e a cavidade de choque. Em (B) mostra estes dispositivos esquematicamente.

Além do sistema de proteção contra vazamentos, também existe um sistema de três chaves de segurança chamadas de “primária”, “secundária” e “de segurança” que são acionadas pelo movimento da porta. As chaves “primária” e “secundária” desligam a fonte de energia quando a porta for aberta; a terceira que é a chave “de segurança”, inspeciona as outras duas e, caso aquelas não funcionem adequadamente, queimando o fusível, acaba por desligar a fonte de energia.

1.2.11. O forno de microondas aquece os alimentos de fora para dentro

Muitas pessoas pensam que o forno de microondas produz um cozimento uniforme. As microondas penetram no alimento até uma determinada profundidade, dependendo da densidade deste. Em alimentos menos densos como um pão, as microondas penetram de 5 a 7 cm, enquanto que em alimentos mais densos, como a carne, elas penetram entre 2 a 3 cm. À medida que as microondas penetram no alimento, sua energia é absorvida por ressonância e sua potência diminui, pois a energia da onda é absorvida e transformada em energia térmica. Assim, alimentos mais grossos serão cozidos por microondas apenas até a profundidade em que elas conseguem penetrar, ou seja, as primeiras camadas externas. As camadas internas serão cozidas por condução do calor, da mesma forma que em um fogão convencional.

Também é importante destacar que a frequência de radiação emitida pelo magnetron não é igual à frequência natural de oscilação das moléculas da água, açúcares ou gorduras. Isso faria com que a energia das microondas fosse totalmente absorvida nas primeiras camadas do alimento e levaria a situações em que, em pouco tempo, o alimento estaria totalmente cozido nas camadas externas, enquanto que as camadas internas permaneceriam cruas. Se a frequência fosse muito baixa, a penetração seria maior, porém a energia seria muito fracamente absorvida e não seria capaz de promover o aquecimento. Portanto, frequências elevadas penetram menos e, como consequência, não aquecem os alimentos internamente; por outro lado, frequências mais baixas penetrariam mais, mas não aqueceriam o suficiente para cozer os alimentos. Por isso escolheu-se um meio termo, ou seja, uma frequência de 2,45 GHz.

1.2.12. Controle de potência.

Quanto maior for a potência do forno de microondas, mais rápido será o cozimento dos alimentos. Os primeiros fornos eram projetados para trabalhar com uma única potência de saída, que normalmente ficava entre 600 a 700 Watts. Para alguns alimentos esta potência era muito elevada, deixando-os duros ou com aspectos irregulares. Por exemplo, a carne e omeletes ficavam duros e os bolos coziam tão rápido que a superfície ficava irregular. A densidade e as estruturas moleculares dos alimentos são características importantes que devem ser consideradas na escolha do ciclo de funcionamento e da potência de um forno de microondas.

Por causa desses problemas foram desenvolvidos sistemas de controle de potência de saída. A potência pode ser variada de duas maneiras:

- 1 - variando o potencial de alta voltagem aplicada ao magnetron;
- 2 – através do uso de um interruptor intermitente de oscilações do magnetron.

O primeiro sistema consiste na seleção entre potência “alta” e “baixa”, mudando a voltagem aplicada no magnetron para variar a potência emitida. A variação da voltagem aplicada ao magnetron é feita através de um sistema de capacitores ligados em paralelo ao circuito de alta tensão, que podem ser colocados antes ou depois do transformador.

O segundo sistema consiste na interrupção das emissões, ligando e desligando o magnetron, intermitentemente, em ciclos específicos e de acordo com uma potência média que se deseja atingir. Esse método é o mais utilizado e necessita de um circuito de controle que ofereça mais opções de potência. A potência média desejada é obtida mediante interrupções de energia fornecida ao magnetron através de um dispositivo de chaveamento, que pode ser um relé ou um TRIAC. O tempo em que o magnetron permanece ligado e desligado determina a potência média e, na maioria dos fornos de microondas, esse ciclo tem uma duração de 22 s. A tabela da figura 1.26, mostra a potência média do forno em função do tempo que permanece ligado e desligado.⁴

INDICAÇÃO	% POTÊNCIA TOTAL	TEMPO (s)		Ligado	Desligado
Alta	100%	22			
Média	68%	15		7	7"
Baixa	41%	9	13	9	13
Aquecer	10%	2	20	2	20
Descongela	45%	10	12	10	12

Figura 1.27 – A tabela mostra os ciclos de 22 segundo normalmente utilizados pela maioria dos fornos de microondas, as respectivas potências e o tempo que fica ligado e desligado nesse ciclo.

1.2.13. Que aparelhos utilizam as microondas no seu funcionamento? E na medicina?

O forno de microondas com algumas alterações, principalmente na potência e na frequência utilizadas, também passou a ser usado em processos químicos assistidos por microondas, como aquecimento de substâncias formadas por moléculas polares. Esse é um recurso que traz algumas vantagens quando comparado com métodos de aquecimento que utilizam o fogo ou resistências elétricas. O aquecimento ocorre da mesma forma como nos alimentos. Assim, as paredes dos recipientes apolares ficam mais frias, emitindo menor quantidade de energia para o ambiente, enquanto que o interior da amostra polar permanece aquecido.

Vulcanização de borracha foi a primeira aplicação industrial para os fornos de microondas a partir da década de 1960. Uma combinação entre os métodos de aquecimento que utilizam fontes térmicas (resistências) e microondas leva a uma maior eficiência do processo. Enquanto no sistema que utiliza fontes térmicas o aquecimento da borracha é superficial e externo, o aquecimento gerado pelas microondas é mais profundo, garantindo um aquecimento mais uniforme e, como consequência, uma melhoria na qualidade do produto.

A partir da década de 1980, as microondas tiveram aplicações diversas na indústria como: secagem e cura de polímeros e cerâmicas, geração de plasma para corrosão na indústria da

⁴ A tabela foi retirada do Manual de Treinamento BRASTEMP.

microeletrônica, recuperação de metais em indústrias de reciclagem, pois as microondas são capazes de derreter materiais polares.

O **radar** (**R**adio **D**etection **A**nd **R**anging ou detecção e localização por rádio) foi a primeira aplicação tecnológica para as microondas. O sistema foi desenvolvido durante a Segunda Guerra Mundial, com o objetivo de melhorar a navegação aérea e a localização de aeronaves inimigas. As frequências utilizadas nos radares estão entre 3 GHz e 3,7 GHz, estando inseridas numa classe de frequências conhecidas como SHF (*Super High Frequencies*, frequências super altas). Essa classe de frequências também é utilizada na comunicação de satélites, como o Intelsat IV com a Terra, em rádio-altímetros. Elas apresentam menos efeitos de difração, permitindo uma melhor propagação, inclusive em situações de má visibilidade como na presença de nuvens, nevoeiros ou poeiras.

Pesquisas realizadas na década de 1940, utilizando radiação na faixa das microondas para obter a emissão estimulada em sistemas quânticos, levaram ao desenvolvimento de MASERs (*Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, Amplificação de Microondas por Emissão Estimulada de Radiação).

Na medicina, após verificar que tumores cancerígenos aquecem com maior facilidade quando comparados com outros tecidos, as microondas foram utilizadas por alguns pesquisadores nas cirurgias de câncer de mama. Além disso, microondas de baixa potência são utilizadas no tratamento de artrite e reumatismo. É importante, porém, ressaltar que tais aplicações ainda estão no campo da experimentação, pois ainda não existe uma definição clara e segura da utilização desse tipo de radiação nos tratamentos de saúde.

Outra aplicação tecnológica importante das microondas é na telefonia celular que opera na faixa de 800 MHz a 1 GHz estando inseridas numa classe de frequências conhecidas como UHF (*Ultra High Frequencies*, frequências ultra-altas). Essa classe de frequência também incorpora canais utilizados nas operações espaciais, satélites meteorológicos, radioamadorismo, televisão em UHF e radares de aeroportos.

1.3. CONCEITOS FÍSICOS QUE EXPLICAM O AQUECIMENTO POR MICROONDAS

1.3.1. INTERFERÊNCIA

“Dois objetos materiais macroscópicos não podem ocupar o mesmo espaço ao mesmo tempo, mas duas ondas podem ocupar o mesmo espaço ao mesmo tempo. Suponha, por exemplo, que duas pessoas estejam segurando uma corda, cada uma em uma extremidade, e que cada uma produza um pulso na sua extremidade. Essas ondas se propagam uma ao encontro da outra e, no instante do encontro, ocorre o fenômeno da **interferência**. A figura 1.28 mostra esta situação em três instantes diferentes”.

A interferência é um fenômeno resultante da superposição de duas ou mais ondas de mesmo comprimento de onda. A **interferência** é **construtiva** quando as amplitudes das ondas individuais se somam e a onda resultante tem amplitude maior que qualquer uma das componentes,

como mostra a figura 1; mas quando as ondas têm fases inversas, a crista de uma onda (+A) se sobrepõe ao vale da outra (-A), e a onda resultante terá amplitude menor ou nula. Nesse caso temos uma **interferência destrutiva**.

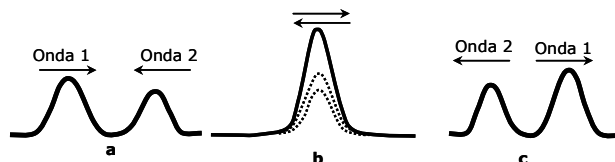


Figura 1.28 - Vemos três momentos diferentes, **a**, **b** e **c** de duas ondas: em (a) são duas ondas indo ao encontro da outra; (b) mostra o momento do encontro em que ocorre a INTERFERÊNCIA CONSTRUTIVA; e (c) mostra um instante após a interferência, quando as ondas seguem sem nenhuma alteração nas suas características.

A superposição entre duas ou mais ondas harmônicas com comprimento de onda diferentes gera um pacote de ondas, denominado onda composta. A voz humana, o som de instrumentos musicais, as ondas de rádio, TV, são exemplos de **ondas compostas**, ou seja, formadas pela superposição de ondas com frequências diferentes. Uma onda complexa pode ser definida como sendo qualquer onda composta de uma série de senóides simples que podem diferir em amplitude, frequência ou fase. No exemplo mostrado na figura 18, a onda complexa é o resultado da superposição das componentes senoidais, também chamadas **componentes de frequência**, ou simplesmente **componentes**. A frequência mais baixa (1) é denominada **frequência fundamental**. As componentes múltiplas inteiras da frequência fundamental são o primeiro, o segundo e o terceiro... harmônicos. Os sons, assim como as radiações eletromagnéticas, geralmente são ondas compostas, resultantes da superposição de várias ondas simples.”(MAI, 2006, p. 173)

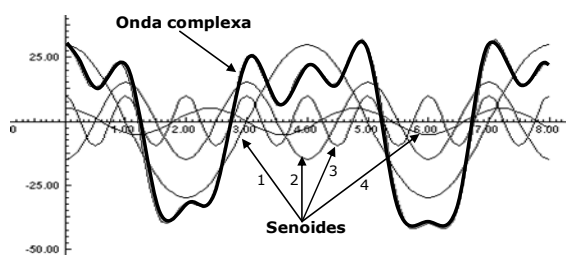


Figura 1.29 – A onda composta em destaque é o resultado da sobreposição de ondas das componentes senoidais 1, 2, 3 e 4, ponto a ponto. Ela incorpora todas as características individuais de cada onda, como amplitude, comprimento de onda, frequência e velocidade. (MAI, 2006, p. 189)

1.3.2. RESSONÂNCIA

Quando damos pancadas em objetos como uma régua metálica, uma corda de violão, uma porta ou uma chave, ocorre a geração de sons diferentes, porque estes objetos têm características e propriedades físicas diferentes. Quando perturbamos qualquer objeto, ele vibra com seu próprio conjunto de frequências particulares, que chamamos **frequências naturais**.

As oscilações reais são amortecidas e forçadas. Para manter uma oscilação que seria amortecida, é preciso injetar energia no sistema. Assim, o sistema está sendo forçado.

Na figura 1.30 vemos um pêndulo simples sendo empurrado horizontalmente num movimento de vai e vem. Esse empurrão injeta energia no sistema e, se a frequência do movimento feito pela mão for igual à frequência natural de oscilação do pêndulo, este oscila com frequência igual à da mão e com amplitude constante.

A frequência natural do pêndulo é aquela medida em condições de ausência de forças excitadoras ou amortecedoras.

Se a frequência da fonte excitadora for próxima ou igual à frequência natural do sistema, o sistema oscila com uma amplitude muito grande. Esse é o fenômeno da **ressonância**, pois nessas condições a energia absorvida pelo sistema é máxima. Em sistemas ressonantes a taxa média de absorção de energia é igual à energia média fornecida pela fonte excitadora.

Existem muitos exemplos de ressonância na vida cotidiana. Por exemplo: uma criança, brincando num balanço logo aprende a se impulsionar com a frequência natural do sistema; uma máquina de centrifugar apresenta vibrações indesejáveis quando gira com determinada frequência; em um ônibus, as janelas com folgas vibram muito quando o motor funciona com certas frequências; pessoas caminhando em compasso com a frequência natural sobre uma pinguela (ponte de cabo de aço), aumentam perigosamente a sua amplitude de oscilação.”(MAI, 2006, p.175)

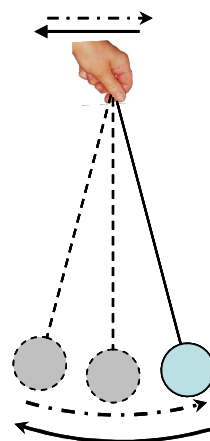


Figura 1.30 – Quando a mão faz um movimento de vai e vem sobre o pêndulo, injeta energia no sistema e gera um Movimento Harmônico Simples forçado. Se os empurrões ocorrem no tempo certo, no mesmo sentido do movimento do pêndulo, temos uma vibração ressonante.

2. DISCO RÍGIDO

Você já deve ter se deparado com questionamentos, dúvidas ou curiosidades como as que seguem:

- O que é um HD?
- Qual é a sua função e como ele funciona?
- Quais são os princípios físicos que ele utiliza no seu funcionamento?
- Como são armazenados os dados processados no computador?

Pois bem, qualquer uma dessas dúvidas está presente no dia-a-dia de muitas pessoas, especialmente dos estudantes que mantêm um contato freqüente com o computador. Para responder tais perguntas certamente será necessário fugir do modelo tradicional de aula de Física.

A proposta que ora apresentamos tem como finalidade conduzir a todos os interessados a solucionar tais dúvidas. Adotamos, porém, uma metodologia reversa comparada com aquela normalmente adotada no cotidiano das aulas de Física ou livros didáticos. Iniciamos o trabalho com a mão na massa, ou seja, vamos desmontar um *HD* (*hard disk*, disco rígido), identificar todas as suas partes, seguindo os passos apresentados neste manual. Na seqüência, é colocado o desafio de identificar os princípios físicos utilizados no funcionamento de cada um dos componentes.

Após a apresentação das sugestões por parte dos grupos, serão realizadas atividades práticas que ajudam na compreensão do funcionamento do equipamento em estudo.

Logo após, será feito o estudo mais aprofundado através da leitura de um texto, visita a sítios eletrônicos, *applets* existentes na rede mundial de computadores e algumas animações preparadas especificamente para estas aulas. Também serão realizadas atividades como resolução de exercícios e problemas relacionados aos temas, que ajudam na explicação do funcionamento do disco rígido.

2.1. MANUAL DO DISCO RÍGIDO

Para conhecer a estrutura física de um *HD* e estudar a função de cada parte é importante desmontá-lo. Recomendamos visitar oficinas de suporte técnico para computadores, onde facilmente se conseguem, gratuitamente, *HDs* fora de uso. Assim, a presente atividade poderá ser desenvolvida em qualquer escola, pois não é necessário fazer grandes investimentos. Dependendo da marca ou ano de fabricação, a estrutura física pode variar muito, mas os componentes e os princípios físicos aplicados no seu funcionamento são os mesmos. Portanto, não temos grandes problemas em adquirir materiais para desenvolver a atividade.

Inicialmente devemos identificar a localização, tipo e bitola de parafuso usado para prender a tampa. Normalmente são parafusos do tipo Philips ou sextavados, números 6 e 7, e podem estar escondidos por etiquetas.

Para a desmontagem siga os seguintes passos:

1º) localize os parafusos, removendo eventuais etiquetas, se for necessário. Retire os parafusos utilizando uma chave adequada para tal. Em seguida retire a tampa, como mostra a figura 2.1;

2º) observe a localização do atuador, do cabeçote de gravação e de leitura, o disco, o motor do disco. Observe também a distância entre os sensores do cabeçote de leitura e o(s) disco(s);

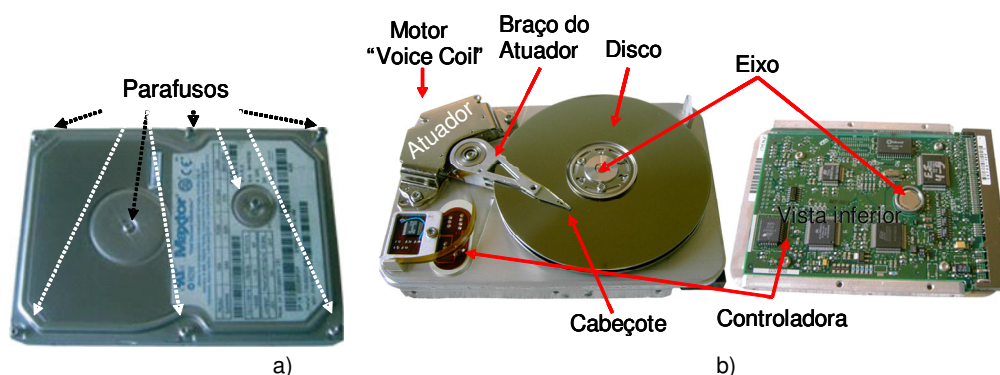


Figura 2.1. a) Foto indicando a localização dos parafusos que deverão ser removidos. b) Foto mostrando os principais componentes que formam a estrutura de um disco rígido de computador.

3º) remova a placa dos circuitos de comando do disco e observe como é feito o contato entre a placa de comando e o motor que move o(s) disco(s), figura 2.1.a;

4º) desmonte o atuador, removendo todos os parafusos com a chave adequada. Tome cuidado na retirada dos ímãs, pois eles são muito potentes podendo causar acidentes em caso de descuido. Veja figura 2.1.b;

5º) observe que o cabeçote de leitura e a bobina estão ligados à placa do circuito através de um cabo. Veja a figura 2.2.c;

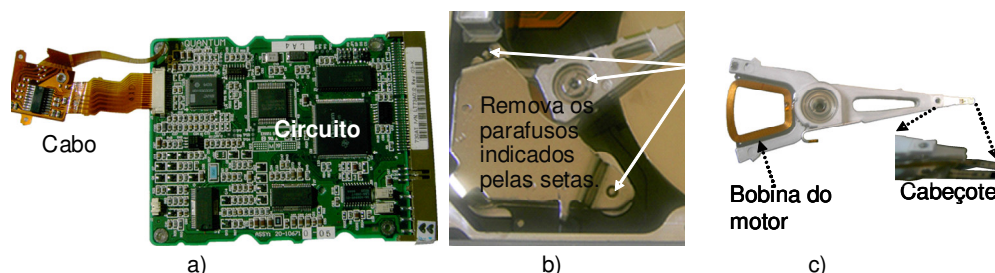


Figura 2.2. a) Circuito de comando do disco rígido localizado na parte inferior do chassi. b) Motor atuador do HD. c) Atuador com a bobina do motor e os sensores do cabeçote de leitura.

6º) utilizando limalha de ferro, os ímãs do motor do atuador e um pedaço de cartolina, descubra a configuração do seu campo magnético, conforme mostra a figura 2.3. Agora utilize uma bússola para descobrir a polaridade dos ímãs;

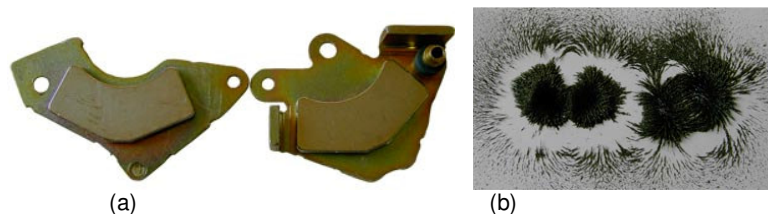


Figura 2.3 - a) Foto que mostra a geometria dos ímãs do motor do atuador presos num chassi de ferro. b) Foto mostrando a configuração do campo magnético destes ímãs.

7º) remova o disco, retirando os parafusos e as presilhas, figura 2.4.a;

8º) desmonte o motor para observar a sua estrutura física. Geralmente seu eixo está preso no próprio chassi do *HD* e, para removê-lo, é necessário usar um pino de diâmetro semelhante e um martelo, golpeando com cuidado a partir da parte inferior do chassi. Veja figura 2.4.b;

9º) observe o número de bobinas do motor;

10º) utilizando limalha de ferro e um pedaço de cartolina, identifique a configuração do campo magnético do ímã do motor. Agora utilize limalha de ferro e uma folha branca. Coloque o ímã do motor debaixo da folha e espalhe a limalha de ferro sobre ela. Observe a forma do campo magnético. Veja figura 2.4.d.

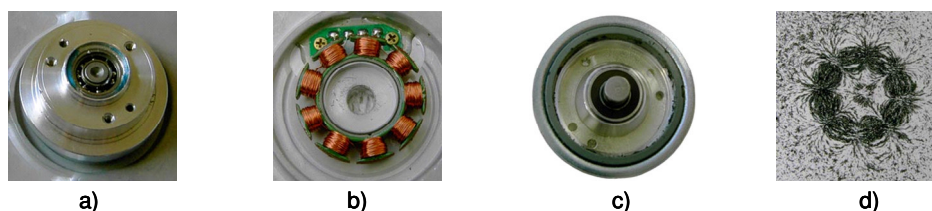


Figura 2.4 – Foto que mostra as diversas fases da desmontagem do motor do disco do HD. a) Mostra a geometria externa; b) as bobinas do motor; c) o ímã e d) a configuração de seu campo magnético.

2.2. O SURGIMENTO E A EVOLUÇÃO DO DISCO RÍGIDO

Em setembro de 1956, a IBM lançou o primeiro computador que usava o sistema de armazenamento de dados em disco magnético, o 305 RAMAC (*Random Access Method of Accounting and Control*) que tinha a capacidade de armazenar 5 MB de dados. Suas dimensões eram enormes (14 x 8 polegadas) quando comparadas aos sistemas atuais e custava trinta e cinco mil dólares.

Em 1973, a IBM introduziu uma série de inovações que aumentaram a densidade de gravação. As melhorias foram possíveis graças ao aperfeiçoamento nas tecnologias de cabeças de leitura/gravação, no mecanismo de posicionamento das mesmas, na diminuição da espessura da camada magnetizável do disco e na proteção destes componentes em ambiente hermeticamente fechado. Contudo, a tecnologia Winchester só estava disponível, inicialmente, para os grandes

sistemas. Felizmente, em 1978, a IBM anunciou uma unidade de oito polegadas para sistemas de pequeno porte.

Em 1979 e 1981 foram introduzidos novos aperfeiçoamentos com uma nova tecnologia na fabricação de cabeças de leitura que utilizavam cabeças de filme fino, que eram fabricadas utilizando métodos semelhantes aos usados na fabricação de semicondutores. Assim, foi possível aumentar quatro vezes a densidade de gravação, chegando a vinte e cinco mil *bits* por polegada.

Em 1982 foi lançado o disco de alumínio coberto por uma camada metálica de cobalto ou cromo, o que aumentava ainda mais a capacidade de armazenamento de dados.

2.3. O QUE É UM DISCO RÍGIDO?

O disco rígido, em inglês *Hard Disk (HD)*, é o dispositivo do computador onde são armazenados os dados. O **Disco Rígido** é um dispositivo onde as informações, dados e programas armazenados podem ser considerados permanentes. Isto quer dizer que os dados que foram salvos antes de desligar o computador poderão ser acessados posteriormente. Não podemos confundir Disco Rígido com memória *RAM (Random Access Memory)*, pois esta é uma memória temporária ou volátil, isto é, quando o computador é desligado, os dados são perdidos.

A estrutura física de um Disco Rígido pode mudar de um modelo para outro, ou de uma marca para outra. Mas os componentes básicos e os princípios físicos aplicados no seu funcionamento e no modo de armazenamento dos dados são os mesmos. Os componentes básicos que formam um Disco Rígido são: um atuador, dois motores, a controladora, o cabeçote e o disco. Veja a figura 2.5.

O **disco rígido** é formado por três camadas: a primeira é denominada de substrato, formada de um disco rígido de ligas de alumínio ou vidro que serve de apoio para a segunda camada, que é um filme ultrafino com uma espessura da ordem de nanômetros ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$), feita de material magnético como cobalto ou níquel. A descoberta de novos materiais magnéticos possibilitou grandes avanços e melhorias que contribuiriam no aumento da capacidade de armazenamento de dados. Surgiram estruturas artificiais de filmes finos que podem ser preparados por vários métodos. Além disso, a camada magnética é recoberta por uma fina camada protetora, que oferece uma pequena proteção contra possíveis impactos.

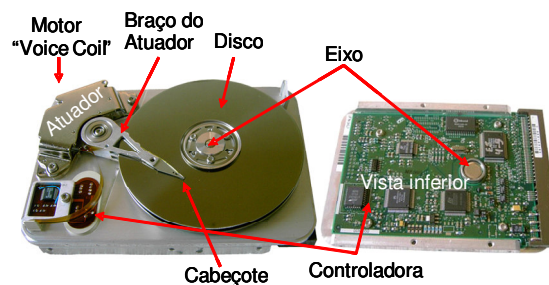


Figura 2.5 – Fotografia indicando os principais componentes de um Disco Rígido.

O **atuador** é um mecanismo formado por uma bobina, ímãs e um braço mecânico que se move em torno de um eixo e tem como função posicionar o cabeçote de gravação e leitura. A bobina localizada em uma das extremidades está imersa no campo magnético de ímãs muito potentes, os quais são fabricados com materiais magnéticos especiais, formados por uma liga de neodímio-ferro-boro (NdFeB). Estes ímãs também são conhecidos como Terras Raras ou “Super-Ímãs” que surgiram no mercado a partir de 1980. No processo de fabricação desses ímãs, utiliza-se a técnica de compactação de ligas pulverizadas seguida de sinterização. Estes são os materiais magnéticos mais modernos atualmente existentes no mercado, e que possuem as melhores propriedades magnéticas com uma incrível relação indução/peso. Eles têm algumas desvantagens quando comparados com ímãs de Samário-Cobalto (SmCo), pois operam sob temperaturas menores e são de fácil corrosão, o que explica porque eles quase sempre possuem revestimento de níquel, zinco ou resina epóxi.

O conjunto bobina e ímãs funciona como um motor denominado “*voice coil*” que usa sinais de controle gravados no próprio disco, chamados servos, para localizar uma trilha. Assim necessita de somente um comando para deslocar a cabeça para qualquer trilha no disco rígido. Os primeiros *HDs* usavam um motor de passo para posicionar o cabeçote sobre as trilhas, porém, para posicionar o cabeçote em uma das 600 trilhas, necessitavam de um comando para cada trilha, o que tornava o sistema muito lento.

A **controladora** é um circuito elétrico responsável pelo comando de todo o movimento do atuador, envia os dados de leitura para o cabeçote e envia os dados lidos pelo cabeçote para o processador do computador. Em 1986, quando o disco rígido foi criado pela Western Digital a pedido da Compaq, tinha uma placa controladora externa que apresentava muitos problemas decorrentes das interferências eletromagnéticas externas. O problema foi resolvido juntando a controladora e o disco rígido numa só peça. Atualmente a placa controladora do disco rígido também é usada para controlar as funções de outros *drivers* como leitor de CD e de fita.

Cabeças de Leitura

Uma das aplicações mais importantes de materiais magnéticos é o armazenamento não-volátil de dados. É uma tecnologia que permite a gravação, a recuperação e a regravação, importante no funcionamento de gravadores de som, vídeo, equipamentos de gravação e leitura de cartões magnéticos e armazenamento em discos magnéticos de computadores. Esta é uma aplicação baseada na indução eletromagnética. Isto é, uma corrente percorrendo uma bobina gera um campo magnético. Assim, a cabeça de gravação tem a capacidade de alterar o estado de magnetização de um material ferromagnético próximo, possibilitando o armazenamento de informações contidas em sinais elétricos. Nos primórdios do disco rígido a leitura dos dados armazenados também se baseava no princípio da indução eletromagnética, porém, agora no sentido inverso. Era o campo magnético variável que induzia uma corrente elétrica no material da cabeça de leitura.

A gravação e leitura utilizam fenômenos físicos clássicos da indução eletromagnética. Em 1820, Oersted descobriu que uma corrente elétrica passando por um fio produz campo magnético mudando a orientação da agulha de uma bússola colocada nas proximidades. A lei que relaciona

corrente elétrica com campo magnético foi formulada mais tarde por Ampère. Em 1831, os físicos Michael Faraday e Joseph Henry descobriram um fenômeno recíproco, ou seja, que um campo magnético variável produz corrente num fio que forma um circuito elétrico. Essas descobertas logo encontraram aplicações tecnológicas importantes como os motores elétricos, os geradores e bobinas de indução magnética. Somente a partir da década de 1950, porém, estes fenômenos associados aos materiais magnéticos encontraram uma das mais importantes aplicações tecnológicas, a **gravação magnética**.

Nas primeiras gerações de discos rígidos a cabeça de leitura e gravação era formada por uma bobina e um material ferromagnético. O processamento de dados gera uma corrente elétrica que percorre a bobina, ora num sentido, ora no outro gerando campos magnéticos variáveis, ou seja, com polaridade variável de acordo com o sentido da corrente elétrica. Uma corrente elétrica numa bobina, na cabeça de gravação, tem a capacidade de alterar o estado de magnetização de um material magnético próximo. Isso possibilita armazenar no material magnético, presente nas fitas e discos magnéticos, as informações contidas nos sinais elétricos: assim são feitas as gravações magnéticas. Os *bits* de dados armazenados nada mais são que uma seqüência de domínios magnéticos orientados de acordo com o campo magnético produzido durante uma gravação.

Até a primeira metade da década de 1990, a leitura era o processo inverso. O movimento do disco faz o cabeçote de leitura percorrer as trilhas e setores onde os campos magnéticos estão gravados. Esses campos geram correntes elétricas no sensor, por indução eletromagnética, convertendo informações magnéticas em sinais elétricos. A partir da segunda metade da década de 1990 os cabeçotes de leitura por indução foram gradativamente sendo substituídos por sensores que utilizam o fenômeno da magnetorresistência gigante que será estudada mais detalhadamente no item 2.4. Atualmente a tecnologia de leitura por magnetorresistência gigante (GMR, da sigla em inglês) está evoluindo para uma tecnologia ainda mais avançada, ou seja, a utilização do fenômeno da magnetorresistência túnel (TMR, da sigla em inglês) que também será aprofundado posteriormente.

A leitura e gravação magnética presente em equipamentos, como vídeo cassete, sempre utilizavam a técnica de gravação longitudinal, onde o cabeçote de gravação/leitura alinha os domínios magnéticos de acordo com a corrente elétrica, e uma seqüência de domínios alinhados representa os *bits* de dados armazenados no disco. Atualmente na gravação em fitas magnéticas também está evoluindo para a utilização da técnica da gravação perpendicular, o que possibilita armazenar uma maior quantidade de dados por unidade de área.

A figura 2.6 representa um esquema clássico de gravação magnética com os “*ímãs*” (*domínios magnéticos*) alinhados horizontalmente.

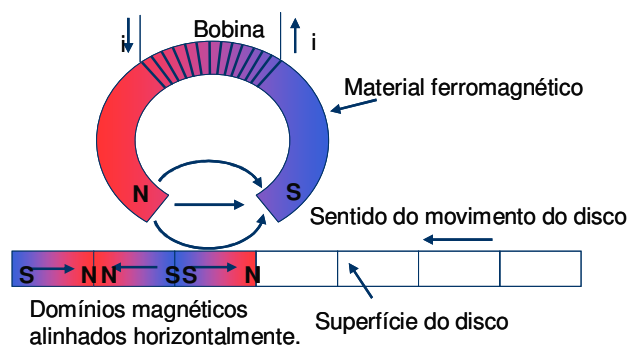


Figura 2.6 – Representação esquemática de um modelo de gravação magnética com os “ímãs” alinhados horizontalmente. A cabeça de leitura é um indutor eletromagnético.

2.4. MAGNETORRESISTÊNCIA GIGANTE

A necessidade cada vez maior de armazenar uma grande quantidade de dados pressionou os pesquisadores a encontrarem soluções alternativas. Dentre as soluções encontradas estão o aumento do número de discos, a diminuição da distância entre as cabeças de leitura/gravação e o disco, e a diminuição do tamanho dos domínios magnéticos. Quanto menor o tamanho do domínio, maior o número de dados que pode ser armazenado no disco rígido. A descoberta de materiais que, quando submetidos a campos magnéticos apresentam o fenômeno da magnetorresistência gigante e atualmente a magnetorresistência túnel possibilita a fabricação de discos rígidos com grande capacidade de armazenamento de dados.

A magnetorresistência é um fenômeno pelo qual ocorre uma diminuição da resistência dos materiais quando se aplica um campo magnético externo. Ele foi descoberto por William Thomson (Lord Kelvin) em 1856. Mas ele não conseguiu uma redução maior que 4,5% na resistência de nenhum material.

Com o advento da nanotecnologia tornou-se possível construir filmes muito finos intercalando materiais magnéticos com materiais não magnéticos. Fazendo um sanduíche com duas camadas de ferro por fora com uma camada de cromo no meio, as camadas de ferro se organizam de tal maneira que as magnetizações ficam orientadas em direções contrárias. Os cientistas observaram que, dessa forma, com os campos magnéticos das camadas ordenados um contra o outro, a resistência era grande. Mas, quando se aplicava um campo magnético, forçando as magnetizações a apontarem no mesmo sentido, a resistência era muito menor e, assim, foi descoberta a magnetorresistência gigante (GMR).

Nas últimas duas décadas, mais precisamente a partir da segunda metade da década de 1980, ocorreram inúmeras descobertas de novos materiais magnéticos e técnicas de fabricação de filmes finos que permitiram avanços impressionantes nas aplicações tecnológicas e dentre elas a gravação magnética. Atualmente é possível, através de técnicas de alto vácuo, fabricar filmes ultrafinos, com espessura da ordem de um nanometro ($1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$). Filmes ultrafinos da ordem de três a quatro átomos, com camadas múltiplas, intercalando materiais magnéticos e materiais

não magnéticos, formam estruturas magnéticas mais espessas. Estruturas nanométricas de múltiplas camadas apresentam propriedades magnéticas muito diferentes das propriedades normalmente conhecidas para materiais volumosos.

A possibilidade da fabricação de nanoestruturas por acoplamento entre camadas vizinhas, descoberto em 1986, foi acompanhada de descobertas de fenômenos que até esse momento ainda não eram conhecidos como o controle de informações a partir do spin dos elétrons, tecnologia denominada spintrônica. Quando elétrons polarizados (*spins* orientados numa só direção) atravessam camadas não magnéticas muito espessas, da ordem de micrometros, perdem esta orientação porque sofrem múltiplas colisões com átomos encontrados no caminho. Mas quando atravessam filmes com dimensões nanométricas, eles não perdem a orientação do seu *spin*.

A descoberta do acoplamento de camadas vizinhas atraiu a atenção de um grupo de pesquisadores na França e, em 1988, foi publicada a descoberta de um fenômeno importante, a **magneto-resistência gigante**, com a participação de um pesquisador gaúcho, Mário Baibich, professor da UFRGS. A magneto-resistência gigante foi observada em multicamadas de certos filmes magnéticos formados por ferro, cobalto, níquel e suas ligas, quando intercaladas com filmes metálicos não magnéticos como cromo, cobre e rubídio.

Esse conjunto de descobertas permitiu a fabricação de sensores magnéticos com dimensões físicas muito reduzidas, o que possibilitou a sua utilização na fabricação de cabeças de leitura para discos rígidos. Os computadores equipados com discos rígidos com capacidade de armazenamento acima de 20 GB utilizam cabeças de leitura magneto-resistivas, porém, atualmente essa tecnologia está evoluindo para a magnetorresistência túnel (TMR).

Veja o esquema da figura 2.7, que representa uma válvula de spin utilizada em cabeçotes de discos rígidos dos computadores.

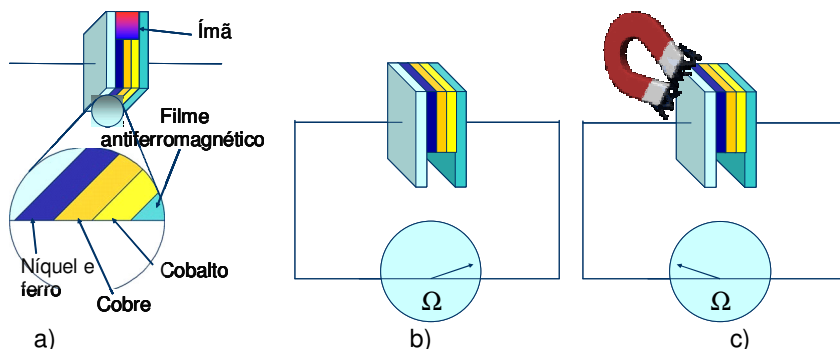


Figura 2.7 – a) Esquema que representa uma pastilha de multicamadas que apresenta o efeito da magneto-resistência gigante quando submetido a campos magnéticos. b) Cabeçote magneto-resistivo na ausência de campo magnético apresenta uma resistência alta. c) Cabeçote magneto-resistivo na presença de campo magnético apresenta resistência baixa.

Atualmente é o sensor magnético utilizado como cabeçote de leitura nos discos rígidos com capacidade de armazenamento superior a 20 GB. O que possibilita aumentar a densidade de gravação, e como consequência aumenta a capacidade dos discos.

A tecnologia de gravação perpendicular se tornou possível graças à invenção de cabeças magneto-resistivas, sensíveis para campos de menor intensidade. Portanto, a descoberta da magnetorresistência gigante faz surgir uma nova geração de discos rígidos, em que os dados são armazenados em forma de domínios magnéticos perpendiculares, aumentando ainda mais a capacidade de armazenamento de dados. Graças à técnica de gravação perpendicular, dentro de pouco tempo teremos discos com capacidade da ordem de *terabyte*. Em 2006, a Seagate já lançou um disco rígido de 750 GB baseado na gravação perpendicular possível com o desenvolvimento de cabeças que funcionam pelo efeito da magneto-resistência túnel (TMR).

A figura 2.8 mostra um esquema que representa a técnica da gravação perpendicular.

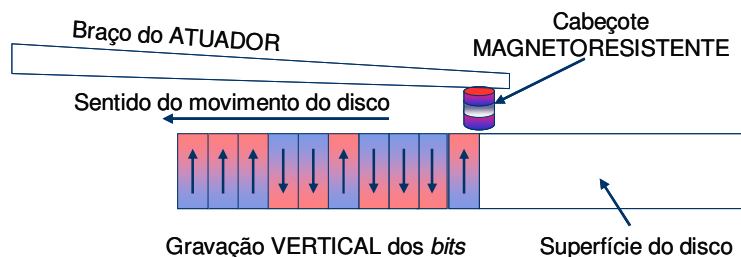


Figura 2.8 – Esquema que representa a técnica da gravação perpendicular com cabeças de leitura que utilizam o efeito da magneto-resistência túnel.

2.4.1. LEITURA COM O SENSOR MAGNETO-RESISTENTE

O processo de gravação faz com que os *bits* fiquem alinhados no disco, ora para um lado, ora para outro. Um pequeno ímã colocado próximo do sensor magneto-resistente faz com que a sua resistência seja baixa e constante. A detecção se faz pela transição entre domínios, onde a variação do campo magnético é abrupta. Dessa forma, quando o ímã está alinhado paralelamente com o sentido do *bit* gravado no disco, há um máximo de campo e um mínimo de resistência no sensor. Quando o *bit* gravado no disco está antiparalelo, a soma dos campos tende a um mínimo e a resistência do sensor aumenta. De acordo com a lei de Ohm, sabemos que a função de uma resistência é limitar a corrente num circuito elétrico. Isto é, se a resistência é pequena, a corrente elétrica é grande, e se a resistência é grande, a corrente é pequena ou quase nula, para uma tensão constante. A passagem de uma corrente elétrica pelo sensor, por outro lado, corresponde a uma tensão proporcional à resistência. Como a resistência varia com o campo magnético resultante, a tensão induzida também será influenciada pelo campo magnético.

Assim podemos entender que durante o processo de leitura existem momentos em que o sensor permite a passagem de corrente e momentos nos quais o sensor não permite a passagem de corrente, que correspondem respectivamente aos códigos binários 1 e 0. Dessa maneira, é possível efetuar a leitura no disco utilizando o efeito da magneto-resistência gigante.

Após o advento da GMR (abreviação em “inglês” de magneto-resistência gigante), foi resgatado o Efeito Túnel Magnético e hoje está sendo usado em cabeçotes de leitura e memórias não-voláteis.

Mas o que é o Efeito Túnel?

Este é um evento quântico e que diz que "uma partícula sem a energia suficiente para passar por uma barreira de potencial, pode fazer isso por tunelamento".

A Mecânica Quântica mostra que qualquer partícula é descrita por uma equação de onda, a Equação de Schrödinger, que deu início aos estudos sobre as propriedades ondulatórias das partículas. A solução desta equação conduz à função de onda que governa o movimento da partícula e contém todas as informações sobre ela. O módulo ao quadrado desta função fornece a probabilidade de encontrar a partícula em uma determinada posição em um determinado instante. A partir deste modelo, quando uma partícula quântica incide sobre uma barreira de potencial, grande parte da onda que acompanha a partícula é refletida, e uma pequena parte pode ser transmitida através da barreira, fazendo com que ocorra do outro lado da mesma uma probabilidade muito pequena, porém finita e não nula, de encontrá-la. A probabilidade de ocorrer o tunelamento de uma partícula através de uma barreira de potencial depende da sua massa, da sua energia cinética, do potencial e da largura da barreira. Quando a energia cinética de uma partícula é grande, a probabilidade de ocorrer o tunelamento aumenta, e quando o potencial da barreira é muito grande, essa probabilidade diminui muito.

Hoje já encontramos alguns ensaios e algumas aplicações tecnológicas deste efeito. Pesquisadores da Universidade de Ohio criaram um diodo de Efeito Túnel, compatível com chips de silício, onde elétrons passam por barreiras de potencial maiores que suas energias cinéticas. Atualmente o Efeito Túnel Magnético também é utilizado em cabeçotes de disco rígido e memórias não-voláteis que brevemente irão substituir as memórias de semicondutores voláteis. Assim, mesmo quando o computador for desligado, os dados não serão mais perdidos.

2.5. COLCHÃO DE AR

Observando um disco rígido aberto, com os discos parados, podemos perceber que as cabeças de leitura estão em contato com o disco, com certa pressão. Quando os discos giram com alta rotação, entretanto, forma-se uma espécie de colchão de ar que repele a cabeça de leitura, fazendo com que ela sobrevoe os discos a alguns nanômetros de distância. Este comportamento é explicado pelo princípio de Bernoulli, o mesmo utilizado nos aviões.

Enquanto os discos estão parados, as cabeças de leitura ficam numa posição de descanso, longe das trilhas de gravação para evitar danos físicos causados pelo contato quando o disco inicia o movimento. Elas saem dessa posição somente quando os discos já estão girando com a rotação máxima. Sempre que o processo de leitura ou gravação não estiver ocorrendo, as cabeças de leitura voltam à posição de descanso, mesmo que os discos continuem girando. Os picos de tensão ou corte de energia durante o processo de leitura ou gravação, são as causas de defeitos em setores do disco, pois nessas situações, os discos param de girar, o colchão de ar se desfaz e as cabeças de leitura podem tocar os discos magnéticos, provocando riscos no filme magnético. Assim, setores riscados dos discos são inutilizados causando também a perda dos dados gravados neste setor. Por

este motivo sempre é recomendável desligar seu computador através do procedimento recomendado para cada marca, para que a cabeça seja recolhida para a posição de descanso. Nos computadores atuais o processo de desligamento é automático.

Para diminuir a ocorrência de acidentes, os modernos HDs são dotados de um pequeno ímã em um dos lados do atuador, que tem a função de atrair a cabeça de leitura para a posição de descanso em casos de falta de energia.

2.6. MAGNETISMO

O termo magnetismo nos remete ao passado, mais precisamente ao tempo do império grego.

Sabe-se que os gregos já observavam fenômenos elétricos e magnéticos antes de Cristo, mas pouco se sabia sobre o magnetismo até o século XVIII. Apesar do uso da bússola pelos chineses e pelos navegadores europeus, eles não sabiam que a orientação da agulha da bússola era devida ao fato de que a Terra se comporta como uma grande esfera magnética.

A origem do termo “magnetismo”, no entanto, é duvidosa, mas certamente decorre do fato de que pedras com propriedades especiais foram encontradas numa região da Grécia menor, chamada Magnésia, local onde se encontram extensos depósitos de óxido de ferro. Pastores de ovelha daquela região ficavam surpresos ao observar que as pontas dos seus cajados (provavelmente reforçados com ferros) eram atraídas por estas pedras. Assim descobriram os ímãs naturais, as magnetitas.

O primeiro a deixar registros sobre o poder da magnetita atrair ferro foi Platão, mas os chineses foram os primeiros a encontrar uma aplicação prática. O sábio chinês Chen Koua fez experiências com agulhas magnéticas flutuantes sobre líquidos. Observou que elas sempre apontavam para a mesma direção. Propôs, então, que o sistema fosse utilizado nas navegações, dando origem à bússola.

2.6.1. SPIN E OS DOMÍNIOS MAGNÉTICOS

Somente no século XX, com o advento da mecânica quântica, foi possível compreender fisicamente a verdadeira natureza do magnetismo.

Ainda não foi observado uma partícula elementar, que originaria um “monopólo magnético” ou o magnetismo. A propriedade magnética de um material origina-se das propriedades das partículas que formam a matéria. Uma grandeza relacionada ao momento angular intrínseco do elétron, chamado de *spin*, é responsável pela origem do magnetismo.

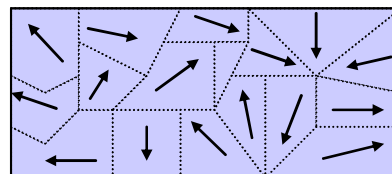


Fig. 2.9 – Domínios magnéticos com spins desalinhados.

O número quântico spin ou momento angular intrínseco, representado por m_s , especifica o *spin* do elétron e possui valor $+1/2$ ou $-1/2$, ou seja, *spin up* (para cima) ou *spin down* (para baixo), respectivamente.

O movimento de partículas carregadas, como os elétrons, está relacionado às propriedades magnéticas de alguns materiais.

Por exemplo, numa agulha de aço, cada átomo de ferro funciona como um pequeno ímã. O campo magnético gerado por um deles interage com o campo de átomos vizinhos. Juntos podem gerar grandes aglomerados desses átomos com *spins* alinhados, formando pequeníssimas regiões magnéticas, o que chamamos de **domínios magnéticos**. Cada domínio magnético pode ser formado por bilhões de átomos com *spin* alinhados. Os domínios, são formados por um grande número de átomos, são microscópicos e existem bilhões deles numa agulha de ferro, mas, também podem ser macroscópicos. Assim como ocorre o alinhamento dos átomos dentro de um mesmo domínio, pode ocorrer o alinhamento entre os domínios. Uma agulha de ferro exhibe propriedades magnéticas quando ocorre o alinhamento entre a maioria dos domínios. E quanto mais domínios estiverem alinhados e quanto maior a perfeição do alinhamento, mais intenso será o ímã. Esses alinhamentos podem ocorrer por influência de um domínio sobre o outro ou por influência de um campo magnético externo.

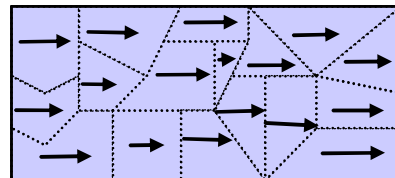


Figura 2.10 – Domínios magnéticos com spins alinhados.

2.6.2. ELETROMAGNETISMO E A MECÂNICA QUÂNTICA

Para entender como e o quê ocorre nas gravações e leituras magnéticas, ou em qualquer processo de magnetização, precisamos saber um pouco sobre as interações eletromagnéticas da matéria e sobre mecânica quântica.

Os fenômenos físicos que ocorrem no mundo microscópico, na escala atômica e subatômica, não são descritos adequadamente pela mecânica clássica de Newton. No universo microscópico ocorrem fenômenos distintos que em muito intrigaram os físicos do início do século XX. Neste contexto foi desenvolvida uma nova teoria, a mecânica quântica, capaz de descrever estes fenômenos, prever uma série de outros e que recai na mecânica clássica para escalas macroscópicas.

a) O PRINCÍPIO DA INCERTEZA

Conforme o princípio da incerteza, desenvolvido pelo físico alemão Werner Heisenberg, no mundo microscópico não é possível falarmos em localização de elétrons. Isso porque, para localizar uma partícula ou medir seu momento, devemos interagir de alguma maneira com esta partícula. Nenhum instrumento de medida pode “ver” ou “sentir” a partícula sem interagir com ela e, dessa

maneira, influenciar intensamente o seu movimento. Para construirmos um supermicroscópio, capaz de visualizar um elétron, teríamos que usar radiação cujo comprimento de onda é da ordem do tamanho de um átomo ou menor ainda. Essa radiação está na faixa dos raios x ou raios γ , cuja energia é tão grande que modificaria muito a velocidade do elétron e, conseqüentemente, o seu *momentum* numa quantidade grande e incerta.

b) NÚMEROS QUÂNTICOS

No mundo microscópico não é possível localizar ou determinar nada de forma absoluta. De acordo com o princípio da incerteza é possível determinar, apenas, a probabilidade de localização das partículas em uma dada região do espaço. Essa probabilidade depende da energia da partícula e está relacionada a **números quânticos**.

Para elétrons que fazem parte de um mesmo átomo, o estado de cada elétron é determinado por um conjunto de quatro números quânticos, descritos a seguir. O princípio de exclusão de Pauli diz que dois elétrons de um mesmo átomo não podem ocupar o mesmo estado simultaneamente, com os quatro números quânticos iguais.

Número quântico principal (n) - Este número, representado por n , está relacionado aos níveis de energia para os elétrons no átomo, ou seja, às camadas eletrônicas, e só pode assumir valores inteiros e positivos. As camadas são representadas por K, L, M, N, O, P, Q... A energia aumenta com o valor de n e existe um número máximo de elétrons em cada camada que são: 2, 8, 18, 32, 32, 18 e 8, respectivamente.

Número quântico secundário ou azimutal (ℓ) - Corresponde aos subníveis, que caracterizam a forma dos orbitais⁵ dos elétrons ao redor do núcleo, sendo representados por " ℓ ". Cada nível de energia, n , pode apresentar n subníveis, os quais são conhecidos por "s", "p", "d", "f",... e correspondem a $\ell = 0, 1, 2, \dots, n-1$, respectivamente. O número máximo de elétrons por subnível é dado por $2(2\ell + 1)$.

Número quântico magnético (m_ℓ) - Este número quântico é importante no caso de existir um campo magnético na região onde está o átomo. Neste caso, este número representará as possíveis orientações dos orbitais na presença do campo e é muito importante no processo de gravação em mídia magnética.

De acordo com o Teorema de Larmor clássico, uma partícula carregada e animada de um movimento de rotação, apresenta um MOMENTO MAGNÉTICO μ proporcional ao seu MOMENTO ANGULAR, L .

⁵ Orbital - Com o advento da Mecânica Quântica desaparece o conceito de órbita ou trajetória e surge ORBITAL que é uma região do espaço onde existe probabilidade do elétron ser localizado. Assim, o modelo planetário do átomo de Bohr foi substituído por um modelo nebuloso, indefinido e probabilístico.

$$\vec{\mu} = \frac{q}{2M} \cdot \vec{L}$$

Uma partícula que se move em órbita circular clássica, tem um momento angular L cujo módulo é dado por $L = Mvr$. O momento magnético é diretamente proporcional ao momento angular e à carga elétrica e inversamente proporcional à massa da partícula.

Para determinado momento magnético, podemos associar um vetor, que apresenta determinada orientação espacial e pode assumir valores inteiros de $+\ell$ a $-\ell$. Por exemplo, para uma subcamada d ($\ell = 2$), m_ℓ pode ser igual a -2, -1, 0, +1 ou +2, cinco valores que correspondem a cinco orientações distintas do momento magnético em relação à direção de um campo magnético externo. Entretanto, nenhuma delas corresponde ao alinhamento paralelo ou anti-paralelo em relação à direção do campo externo.

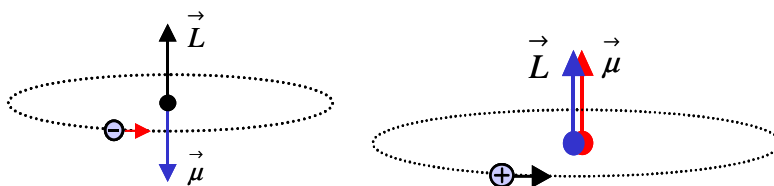


Figura 2.11 – Uma partícula clássica que se move em órbita circular tem um momento angular L cujo módulo é dado por $L = Mvr$. Se a carga é (+) o momento magnético associado à corrente tem o mesmo sentido de L ; se for (-) tem sentido contrário.

c) MOMENTO ANGULAR INTRÍNSECO (*SPIN*)

Já era sabido na época que cargas elétricas em movimento num campo magnético sofrem desvio, mas átomos têm carga total nula e não poderiam sofrer a ação de campos magnéticos. Mas em 1921, um experimento realizado pelos físicos alemães Otto Stern e Walther Gerlach provou que átomos de algumas substâncias também sofrem desvios quando passam por um campo magnético.

O experimento de Stern e Gerlach consiste essencialmente num ímã cujo campo magnético não é uniforme. A interação entre o campo magnético do ímã e um momento magnético dos átomos resulta numa deflexão na passagem deles pelo campo, pois uma força magnética surge dessa interação, que é proporcional à intensidade do campo e à componente do momento magnético. Na saída do ímã, os átomos são detectados por contadores, como mostra a figura esquemática 2.12. Nesta contagem verificaram que aproximadamente 50% dos átomos eram defletidos para cima e 50% para baixo, independentemente da fonte de átomos utilizada.

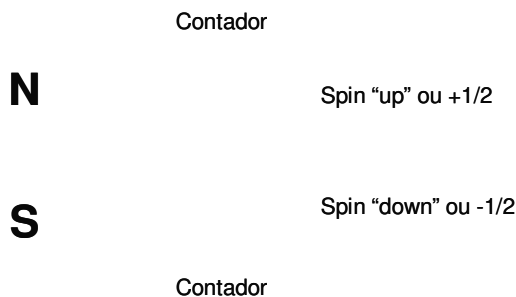


Figura 2.12 – Experimento de Stern Gerlach

Em 1925, S. Goudsmit e G. Uhlenbeck propuseram, a partir de observações experimentais do comportamento de feixes de átomos na presença de um campo magnético, que existiria um quarto número quântico, um MOMENTO ANGULAR INTRÍNSECO do elétron, que chamaram de **SPIN**. Este experimento mostrou que o quarto número quântico é quantizado sendo que, na interação do *spin* com o campo magnético, átomos com *spin* para cima serão desviados para cima e átomos com *spin* para baixo serão desviados para baixo na passagem pelo campo. Pauli sugeriu que o *spin* tivesse dois valores, $+1/2$ e $-1/2$, ou “*spin* para cima” e “*spin* para baixo”, respectivamente.

Sugiro que visitem a página eletrônica abaixo para interagir com um *applet* interessante que simula esse experimento:

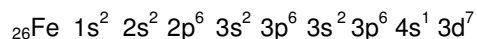
<http://www.if.ufrgs.br/~betz/quantum/SGtexto.htm>

Este número também é importante para o processo de gravação magnética, uma vez que existe interação entre o *spin* do elétron e o campo magnético aplicado.

d) DISTRIBUIÇÃO ELETRÔNICA

Os elétrons dos átomos que conhecemos hoje têm até sete camadas eletrônicas no estado fundamental. Linus Pauling idealizou um diagrama prático, figura 2.13, que permite colocar em ordem crescente de energia os subníveis num átomo.

Veja um exemplo: para o átomo de ferro ($_{26}\text{Fe}$), seus 26 elétrons estão distribuídos de acordo com o esquema abaixo:



Lembramos que os sobrescritos nas letras correspondentes aos orbitais representam o número de elétrons presentes naquele orbital.

Podemos fazer a distribuição eletrônica nos orbitais para um dado átomo usando uma regra

Camada	Subcamadas
1	s
2	s p
3	s p d
4	s p d f
5	s p d f
6	s p d
7	s p

Figura 2.13 – Diagrama de Linus Pauling

conhecida como “*regra de Hund*”, que diz: “*Num subnível, enquanto todos os orbitais não receberem o primeiro elétron, nenhum deles receberá o segundo elétron*”.

Veja a distribuição dos elétrons, segundo a regra de Hund, para o átomo de ferro.

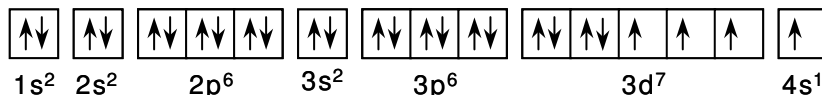


Figura 2.14 – Distribuição eletrônica do átomo de ferro onde cada seta indica um elétron. Seta que indica para cima representa um elétron com *spin* up ou $+1/2$ e a seta que indica para baixo representa um elétron com *spin* down ou $-1/2$.

Observe que, em cada orbital, quando existem dois elétrons, eles têm *spins* opostos. Na maioria dos átomos, os elétrons formam pares de *spins antiparalelos* ou *spins* opostos, **emparelhados**, o que resulta num magnetismo nulo. Por isso, a maioria dos elementos químicos não manifesta propriedades magnéticas. Para cada elétron com *spin* para cima interagindo com um campo magnético externo, há um elétron correspondente com *spin* para baixo, cancelando o efeito magnético do primeiro.

Mas, em elementos como o ferro, o níquel e o cobalto, há elétrons não pareados, como mostra o exemplo da figura 2.14. O *spin* resultante dos elétrons não pareados torna esses elementos magnéticos.

2.6.3. MATERIAIS MAGNÉTICOS

A classificação dos materiais em magnéticos e não magnéticos foi obtida a partir de evidências experimentais ao longo do tempo. Podemos testar se alguma substância tem propriedades magnéticas ou não fazendo o seguinte experimento: fixemos um ímã muito potente e aproximemos, na região dos pólos, diferentes materiais.

- Se um objeto que não é ímã permanente, mas for repelido, trata-se de material diamagnético.
- Se um objeto que não é ímã permanente for atraído, trata-se de material paramagnético; e se a atração for muito forte, com uma possível imantação permanente desse material, ele é denominado ferromagnético.

Vimos anteriormente que o quarto número quântico, o *spin*, está relacionado ao momento magnético intrínseco do elétron. Quando um átomo, íon ou molécula tem **todos os seus elétrons emparelhados**, o momento magnético de um elétron com *spin* $+1/2$ anula o momento magnético do outro elétron com *spin* $-1/2$. Substâncias com estas características são consideradas **DIAMAGNÉTICAS**. Veja a figura 2.15.a.

As substâncias que têm pelo menos um elétron **desemparelhado**, ou seja, **orbitais com elétrons “solteiros”**, apresentam momento magnético total diferente de zero, e são

PARAMAGNÉTICAS. O paramagnetismo se caracteriza pelo alinhamento parcial dos *spins* eletrônicos ou momentos magnéticos atômicos ou moleculares na presença de um campo magnético externo. Veja a figura 2.15.b.

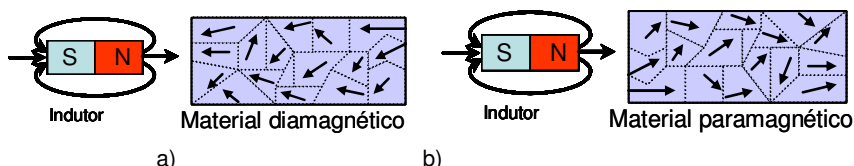


Figura 2.15 - a) Mostra a orientação parcial dos domínios magnéticos do material diamagnético. Veja que as orientações preferenciais dos *spins* apontam em sentido contrário ao campo do ímã indutor, gerando uma fraca repulsão. b) Mostra a orientação parcial dos domínios magnéticos do material paramagnético. Aqui as orientações parciais apontam no mesmo sentido do campo do ímã indutor, gerando uma fraca atração.

As substâncias **FERROMAGNÉTICAS** são aquelas que apresentam um paramagnetismo elevado, ou seja, têm vários elétrons desemparelhados (solteiros). O ferro, o níquel, o cobalto e algumas ligas destes elementos são substâncias ferromagnéticas (figura 2.16).

Os materiais são classificados em diamagnéticos, paramagnéticos ou ferromagnéticos segundo uma permeabilidade magnética. Esta constante é menor do que 1 para materiais diamagnéticos, próximo de 1 para materiais paramagnéticos e muito maior que 1 para materiais ferromagnéticos, podendo apresentar valores bastante distintos. Esta constante depende da intensidade do campo em que são submetidos e do passado magnético do material, chamado magnetismo residual.

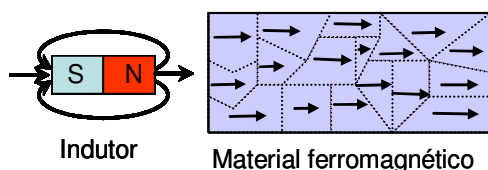


Figura 2.16 - Mostra a orientação dos domínios magnéticos do material ferromagnético com maior grau de alinhamento. Aqui as orientações preferenciais apontam no mesmo sentido do campo do ímã indutor, gerando uma atração forte.

Veja a tabela I, que mostra o valor da constante diamagnética para alguns materiais.

Tabela I – Permeabilidade magnética de alguns materiais.

DIAMAGNÉTICAS		PARAMAGNÉTICAS		FERROMAGNÉTICAS	
Substância	Constante	Substância	Constante	Substância	Constante
Antimônio	0,999952	Ar	1	Cobalto	170

Bismuto	0,999824	Alumínio	1,000022	Níquel	Até 1.000
Cobre	0,999999	Cloreto de Ferro	1,0039	Permalloy	Até 100.000
Nitrogênio	0,999999995			Perinvar	Até 2.000
Água	0.99999992			Aço	Até 1.500
				Ferro	Até 7.000

Fonte: Ciências, Químicas e Biológicas - Maiztegui, Alberto P et all. Ed. Globo, 1980 p. 835

Veja que, dos materiais apresentados na tabela I, o permalloy é aquele que é capaz de atingir o maior grau de magnetização. Permalloy é uma liga, feita de ferro e níquel, que pode variar na proporção de 35% a 90% de níquel em ferro, de acordo com as propriedades desejadas.

O estudo de materiais magnéticos é importante, pois o surgimento de novas alternativas tem revolucionado vários campos da atividade humana como: o surgimento de equipamentos mais sofisticados e econômicos na área da eletrônica; ímãs supercondutores empregados nos aceleradores de partículas; a ressonância magnética nuclear que permite fazer diagnósticos de doenças; a revolução no campo da informática com o surgimento de computadores cada vez mais potentes e com maior capacidade de armazenamento, possível graças ao surgimento de fitas magnéticas, disquetes e agora discos rígidos cada vez menores e com maior capacidade. Nestes dispositivos os dados são armazenados em forma de pequenos campos magnéticos, pois são revestidos de uma fina camada de partículas magnéticas.

2.7. PROCESSOS DE MAGNETIZAÇÃO

Na prática, para magnetizar um corpo é necessário que ele seja imerso num campo magnético muito intenso. Nesse caso a maioria dos domínios magnéticos de materiais ferromagnéticos é orientada numa direção preferencial. Caso estas modificações internas se tornarem definitivas, teremos um ímã permanente capaz de gerar seu próprio campo magnético. Isso pode ser conseguido de diversas formas como, por exemplo:

1) Introduzindo uma barra de material ferromagnético no interior de uma bobina percorrida por uma corrente elétrica muito intensa.

2) Esfregar, por exemplo, a extremidade de uma chave de fenda num dos pólos de um ímã e sempre no mesmo sentido, como fazem os mecânicos para que ela seja capaz de segurar pequenos parafusos de ferro.

3) Aquecer um material ferromagnético até ficar incandescente (passando do valor de sua Temperatura de Curie) e deixar que ele esfrie lentamente na presença de um campo magnético. Assim os domínios magnéticos se alinham à medida que o material esfria.

4) Martelar um material ferromagnético e colocá-lo na presença de um campo magnético intenso.

3. EXPERIMENTOS

As atividades experimentais têm como objetivo principal complementar as atividades de desmontagem dos equipamentos, discussão e estudos feitos anteriormente. As atividades apresentadas apenas são sugestões pré-elaboradas a fim de facilitar o trabalho inicial, pois neste tipo de aula o professor assume o papel de facilitador da aprendizagem e os materiais disponíveis são recursos para desafiar a inteligência e despertar a criatividade dos alunos. O professor deve desempenhar o papel de autoridade somente quando o grupo não chega ao consenso sobre algum detalhe que impeça atingir resultados significativos.

As atividades propostas a seguir não devem ser impostas pelo professor, pois apenas constam a título de sugestões que servem como guia para o mesmo e não precisam ser disponibilizadas aos alunos. Elas podem surgir naturalmente como resultado das discussões em grupo ou podem ser desenvolvidas com alterações de forma que atendam as curiosidades, dúvidas e questionamentos dos alunos. O roteiro das atividades deverá ser explicado superficialmente pelo professor e os materiais necessários colocados à disposição dos alunos. É importante lembrar que atividades deste tipo não podem seguir regras ou procedimentos rigorosos ou descritos como uma receita pré-estabelecida, mas também não podem ser lançadas sem nenhuma organização, correndo-se o risco de proporcionar um ambiente de desorganização e, dessa forma, decepcionar o aluno que não atingirá o objetivo final, isto é, a aprendizagem de novos conceitos. Assim, o professor deve providenciar materiais ou recursos que possam ser utilizados, dar as orientações iniciais e desafiá-los a organizar atividades que explorem fenômenos físicos relacionados com os objetos em estudo. Assim, a organização inicial facilitará o acompanhamento e a avaliação das atividades.

Portanto, propomos uma estrutura que induz ao desenvolvimento de projetos que extrapolem a presente proposta, levando o aluno a explorar a Física aplicada em outros equipamentos, como motores elétricos, tubos de televisão, transformadores, equipamentos de transmissão e recepção de ondas eletromagnéticas, raios-X entre outros.

3.1. UTILIZANDO O COMPUTADOR COMO INSTRUMENTO DE MEDIDA, COLETA E ANÁLISE DE DADOS EXPERIMENTAIS.

Existem inúmeras possibilidades de equipamentos existentes no mercado e *softwares* livres na rede mundial de computadores que convertem o computador num instrumento de medida.

Para escolas com condições financeiras favoráveis, e dispostas a investir em novas tecnologias no ensino, recomendamos os equipamentos da empresa Pico Technology que são relativamente acessíveis financeiramente são acompanhados de software de fácil compreensão e o mais importante, são equipamentos com boa precisão de medida.

Sabe-se que a maioria das escolas não tem condições financeiras para a aquisição de tais recursos. Porém, existem softwares gratuitos na rede mundial de computadores (Internet) que servem como alternativas razoáveis, apesar de não atenderem todas as necessidades ou possibilidades. Como exemplo, temos o *software Oscilloscope* disponível no endereço www.comunidadeelectronicos.com, que utiliza a placa de som do computador como interface de entrada de sinais transformando-o num osciloscópio didático de fácil compreensão. Com o auxílio deste software e um computador munido de uma placa de som, é possível desenvolver uma diversidade de atividades que envolvem medida de frequências, análise espectral de sinais de áudio, amplitude e forma de onda, valores arbitrários de voltagem induzida, pulsos eletromagnéticos de controle remoto de equipamentos eletrônicos, etc. Associado a este software recomendamos a utilização de um *software* gerador de áudio, o ttg, que também tem uma versão livre disponível na rede mundial de computadores. A figura 3.7 apresenta o Layout com um exemplo de forma de onda e análise espectral capturada via placa de som.

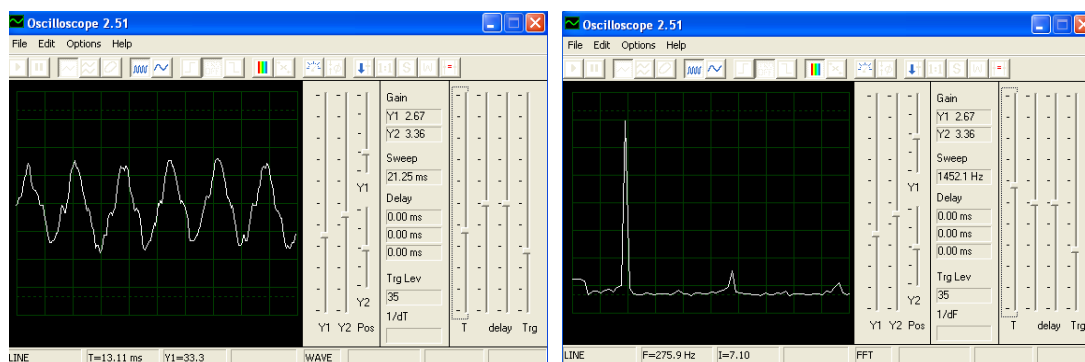


Figura 3.7.a) Janela do *software Oscilloscope* selecionada no modo *scope*, mostrando a forma de onda composta do som produzido pela corda de aço de uma caixa de ressonância; b) a mesma janela no modo FFT (transformadas de Fourier) mostrando as componentes da onda composta.

Para a realização das atividades experimentais que utilizam o computador como instrumento de medida, será utilizado do *Software Visual Analyser* e o gerador de áudio *Waveform Generator* incorporado no mesmo, e que se encontram disponíveis gratuitamente para fins não comerciais no endereço eletrônico www.sillanumsoftva.com tendo em vista que ele apresenta um maior número de opções de medidas e recursos adicionais como a possibilidade da coleta de dados através de dois canais de entrada, um gerador de áudio incorporado no próprio software, apresenta duas telas que mostram a forma de onda e o modo FFT simultaneamente. A figura 3.8 mostra a janela do programa.

A desvantagem destes dois últimos softwares apresentados é que ambos não funcionam como instrumentos de precisão, e, além disso, no modo *scope* a amplitude da onda ou a voltagem induzida é apresentada em valores arbitrários. Portanto, não são indicados onde é necessário realizar medidas precisas, mas que em nada prejudica a compreensão dos fenômenos físicos em estudo. Mas ambos permitem salvar os dados coletados que poderão ser analisados em planilhas eletrônicas como o Microsoft Excel.

Logo, são recursos didáticos interessantes que podem contribuir positivamente na

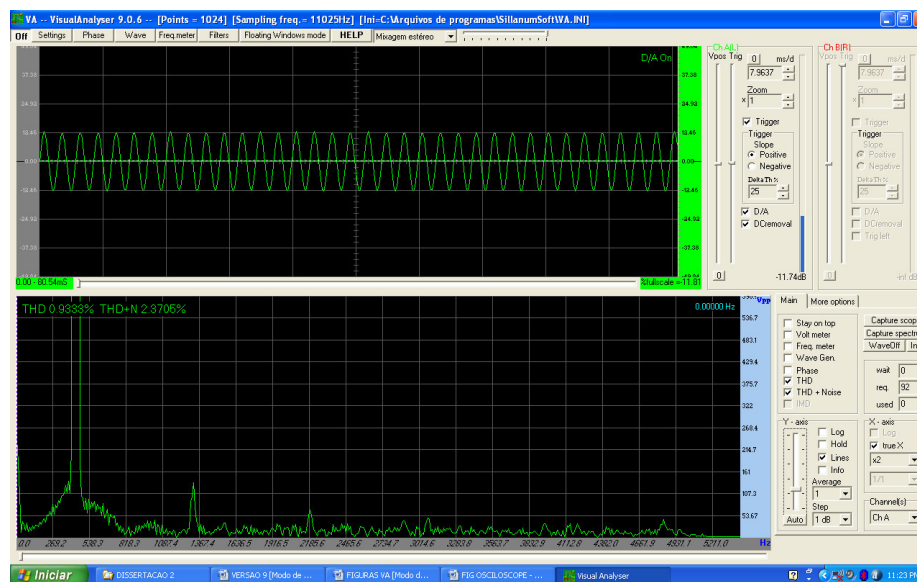


Figura 3.8– Janela principal do software Visual Analyser que será utilizado como ferramenta de medida e coleta de dados nas atividades que utilizam o computador.

compreensão de fenômenos físicos e na melhoria da qualidade do Ensino da Física, apesar das suas limitações.

3.1.1. ORIENTAÇÕES PRELIMINARES SOBRE O FUNCIONAMENTO DO SOFTWARE VISUAL ANALYSER

Para a garantia de um bom funcionamento de *softwares* que utilizam a placa de som como interface, a primeira providência a ser tomada é fazer sua correta configuração, habilitando a entrada de sinais via microfone e a saída de sinais de áudio via caixa de som.

Selecione no painel de controle clicando duas vezes sobre o ícone dos sons e dispositivos de áudio . Clique no botão , no menu *Propriedades*, selecione

as opções, propriedades , *Reprodução* e marque todas as opções de volume, como mostra a figura 3.9.a. Agora marque todas as opções do ajuste de volume para gravação, como mostra a figura 3.9.b.

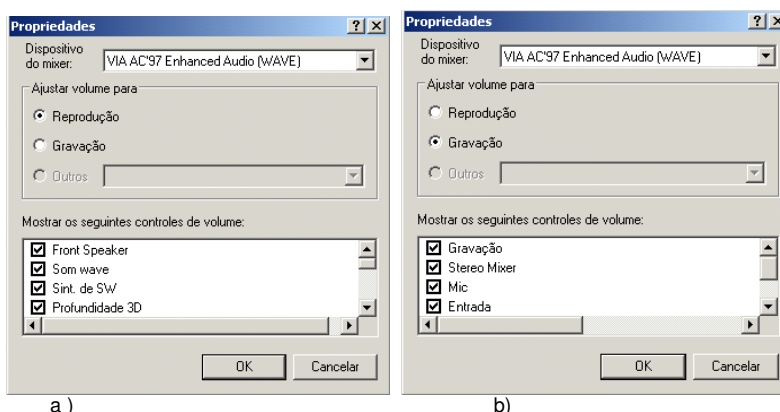


Figura 3.9.a) Janela propriedades com ajustes de volumes de reprodução com todas as opções marcadas; b) Janela propriedades com ajuste de volume de gravação com todas as opções marcadas.

Em seguida habilite todas as opções da janela *Front Speaker*, deixando-a como mostra a figura 3.10.

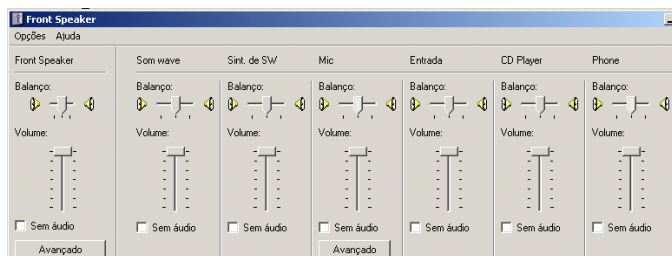


Figura 3.10 – Janela de controle de volume com todas as opções habilitadas e com o volume máximo. Esta é a forma ideal para fazer experimentos de análise de espectro de sinais de áudio.

Para instalar o *software Visual Analyser*, que será utilizado nas atividades experimentais que seguem, basta fazer um download do mesmo a partir do endereço eletrônico www.sillanumsoftVA.com, e seguir as orientações de instalação.

Depois de instalado, basta clicar duas vezes no ícone criado durante a instalação e encontrado na tela do computador. Assim abre a janela principal como mostra a figura 26 mostrada anteriormente.

Observe que existe um *menu* suspenso através do qual temos acesso a todas as configurações possíveis do programa. Além disso existem dois menus na coluna localizada na extremidade direita da tela, o qual apresenta botões funcionam como atalho para os principais itens do menu suspenso. Além disso, existem duas janelas principais. A superior mostra o modo *scope* das oscilações de uma medida, e a inferior mostra o modo FFT, ou as componentes das oscilações mostradas na janela *scope*.

Podemos fixar as principais configurações clicando no *menu* suspenso *Settings*, quando abre a janela mostrada na figura 3.11.

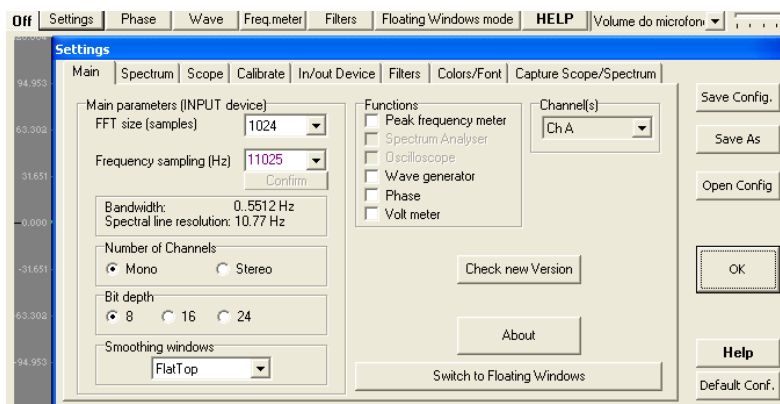


Figura 3.11 – Mostra a janela cenário (Settings) com a opção principal (Main) selecionada e com a janela aberta mostrando as configurações recomendadas para a maioria dos casos que iremos utilizar.

Na mesma janela existe outro *menu* suspenso onde encontramos o botão Principal (*Main*) mostrado na figura 3.11, onde configuramos os parâmetros para a entrada dos dados, escolhemos as funções que pretendemos utilizar, e os canais de entrada dos dados.

Selecionando o botão **Spectrum** configura-se a janela *Spectrum* que exhibe o modo FFT das oscilações.

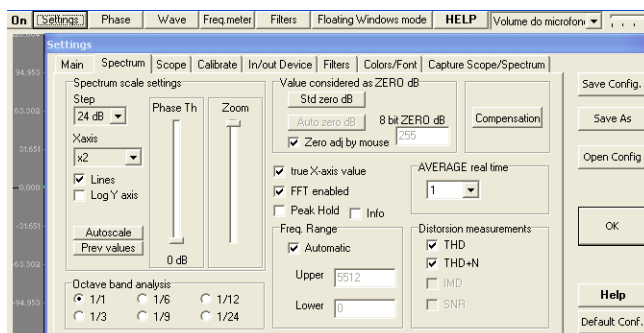


Figura 3.12 – Exemplo de configuração da janela Spectrum que exhibe o modo FFT das oscilações.

Selecionando o botão **Scope** permite configurar a janela do modo *Scope* que exibe a forma de onda da oscilação.

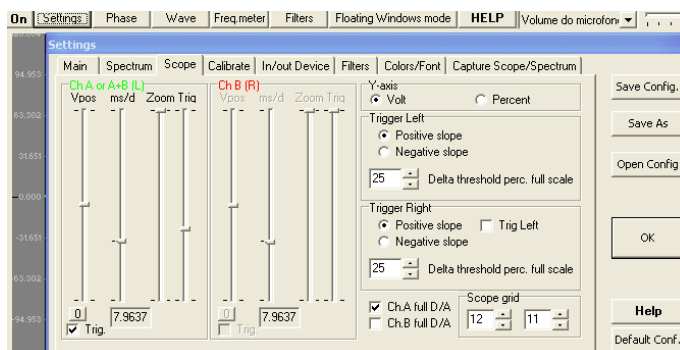


Figura 3.13 – Janela de configuração do modo *Scope*, ou forma de onda.

Selecionando a opção *Calibrate*, abre-se uma janela onde permite fazer a calibragem das

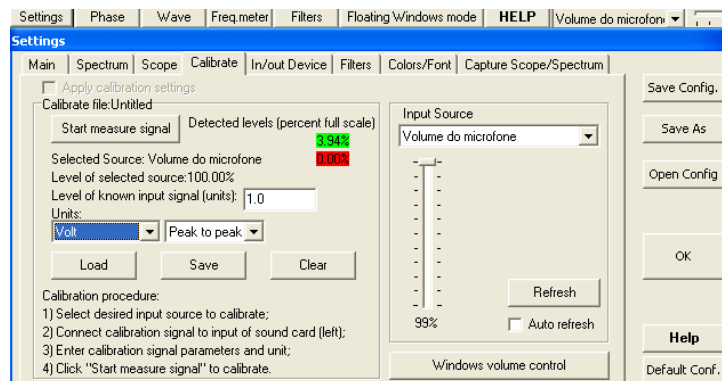


Figura 3.14 – Janela onde é possível calibrar os parâmetros para o sinal de entrada.

medidas que se pretende realizar. Veja a figura 3.14.

Para configurar o modo captura de dados, basta selecionar o botão *Capture Scope/Spectrum*, abre-se então, uma janela com todas as opções de tempo de leitura e outras configurações permitidas conforme mostra a figura 3.15.

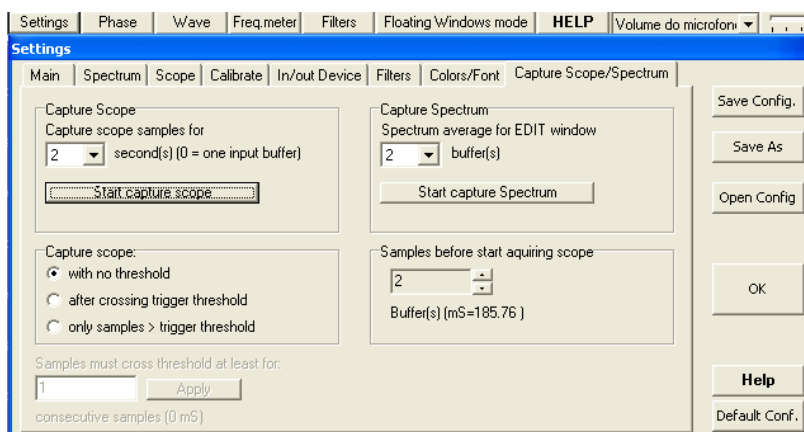
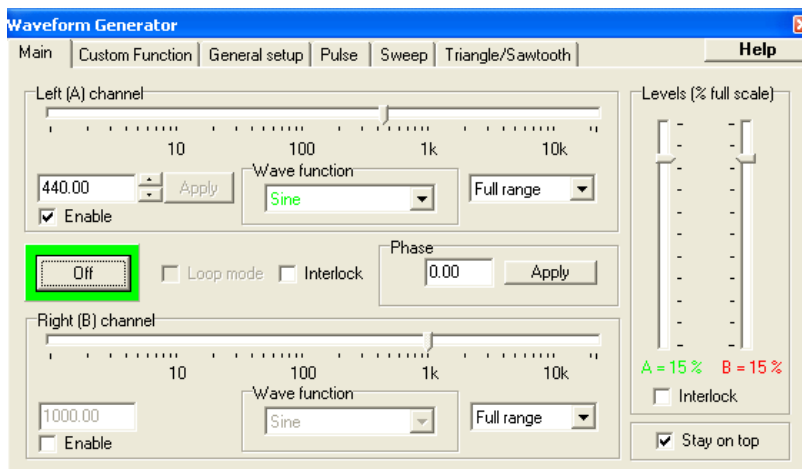


Figura 3.15 – Janela de configuração do modo captura de dados para os modos *scope* e *spectrum*.

Clicando no botão *Wave* do *menu* suspenso, abre-se a janela de configuração do gerador de áudio, como mostra a figura 3.16.



3.16 – Janela de configuração do gerador de áudio onde escolhemos a frequência, a forma de onda, o volume e podemos habilitar um ou dois canais entre outras funções.

Esta janela permite selecionar a frequência do som, a forma de onda, habilitar um ou dois canais, programar funções pré-estabelecidas, o tempo de duração do som, varredura (*sweep*) e o formato da onda dente de serra ou triangular.

Ainda existe um recurso para escolher a fonte de áudio externa, que pode ser estéreo para dois canais, microfone, volume de linha ou do CD. E o volume pode ser regulado no botão deslizante

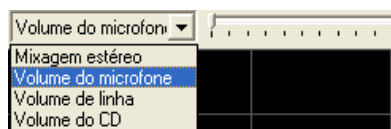


Figura 3.17 – A figura mostra as opções de entrada de som e o botão deslizante para calibrar o volume de entrada.

localizado na extremidade direita do *menu* suspenso.

Notas

É essencial treinar o uso de qualquer software antes de realizar os experimentos ou desenvolver projetos. Além disso, é interessante fazer algumas pré-atividades para testar o funcionamento do equipamento. Assim, o professor terá tempo para passar nos grupos e solucionar dúvidas, mais simples que sejam. É comum encontrar pessoas no grupo que apresentam dificuldades para trabalhar com computador, inclusive professores.

Então, como pré-atividades propomos a realização de um trabalho de observação das formas de onda e o respectivo espectro quando captamos sons de diferentes fontes existentes em nossa volta como:

- a voz das pessoas - relacionar o timbre da voz com a forma da onda e seu respectivo espectro.
- sons de diferentes objetos;
- sons de instrumentos musicais.

3.2. ATIVIDADE EXPERIMENTAL 1 - RESSONÂNCIA COM PÊNDULOS

Através de um experimento simples, procura-se entender o fenômeno da ressonância, pois ele explica como o forno de microondas aquece os alimentos.

Para a montagem do equipamento é necessário providenciar matérias como:

- um suporte de madeira ou ferro com as dimensões indicadas na figura abaixo;
- três metros de fio de algodão;
- quatro pilhas fora de uso ou massas similares;
- fita adesiva.

Faça a montagem esquematizada na figura 3.1 tendo o cuidado para que os pares de pêndulos tenham exatamente o mesmo comprimento medido do ponto de suspensão até a extremidade inferior da massa suspensa. Também poderão ser montados pêndulos com comprimentos diferentes daqueles indicados na figura.

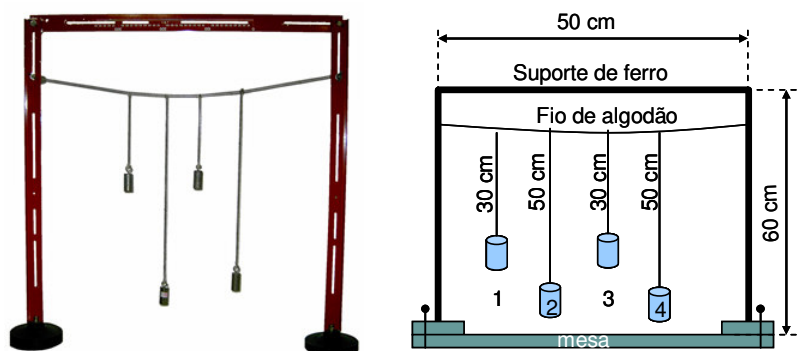


Figura 3.1 – Montagem para realizar experimento da ressonância com pêndulos.

Depois de montado, veja o que acontece quando um dos pêndulos for colocado em movimento. Observe o que acontece com os demais pêndulos.

Com o sistema em equilíbrio, coloque outro pêndulo a oscilar e observe o comportamento dos demais.

Com o sistema em equilíbrio, coloque dois pêndulos de comprimentos diferentes a oscilar simultaneamente. Observe o que acontece no decorrer do tempo.

Também sugerimos que se façam algumas medidas, como o período e a frequência dos pêndulos, e se discuta sobre os resultados obtidos.

Lembrete:

Para determinar o período de um pêndulo simples, basta medir o tempo gasto para efetuar um determinado número de oscilações, dividir pelo número de oscilações (

$T = \frac{\text{tempo}}{\text{n}^\circ \text{ oscilações}}$). A frequência pode ser calculada dividindo-se o número de oscilações pelo

tempo gasto para efetuar essas oscilações ($f = \frac{\text{n}^\circ \text{ oscilações}}{\text{tempo}}$) ou determinar o inverso do período

($f = \frac{1}{T}$).

Apresentamos uma sugestão de tabela para organizar os dados obtidos durante as medidas e representar os resultados obtidos.

Pêndulo	Nº oscilações	tempo (s)	T (s)	f (Hz)
1				
2				
3				
4				

ATIVIDADES EXPLORATÓRIAS

Este é o momento onde os grupos apresentam oralmente suas observações, análises e conclusões que resultaram a partir do desenvolvimento das atividades.

Além das situações individuais de cada grupo, sugerimos que o professor faça o questionamento a seguir.

1. Quando o pêndulo 1 é posto a oscilar, como se comportam os pêndulos 2, 3 e 4? Por quê?
2. Quando o pêndulo 2 é posto a oscilar, como se comportam os pêndulos 1, 3 e 4? Por quê?
3. Quando os pêndulos 1 e 2 são postos a oscilar simultaneamente, como se comportam os pêndulos 3 e 4?
4. Qual é a relação existente entre a ressonância dos pêndulos e o aquecimento dos alimentos pelo forno de microondas?
5. Como podemos montar um sistema de ressonância utilizando réguas de plástico ou de madeira?

3.3. ATIVIDADE EXPERIMENTAL 2 - PRINCÍPIOS DA GRAVAÇÃO MAGNÉTICA

Lembrando da história da gravação magnética, e que a primeira música foi gravada sobre um fio de aço, o autor deste trabalho elaborou a presente atividade para entender e explorar os princípios da gravação e leitura magnética utilizados na fabricação de fitas cassete e disco rígido para computador, através de um experimento simples que pode ser realizado em qualquer sala de aula.

Para montar o equipamento precisamos providenciar um ímã permanente, 70 cm de fio de aço, preso e esticado sobre um suporte de madeira, que pode ser a caixa de ressonância utilizada em experimentos de ondulatória, ou um violão com cordas de aço, uma bússola pequena e dois pincéis atômicos (vermelho e azul).

Observação: a caixa de ressonância pode ser substituída por um violão com duas cordas de aço, uma de nylon, uma de plástico, uma de cobre, alumínio e outros materiais existentes no mercado.

Antes de realizar o experimento, faça a montagem esquematizada na figura 3.2.

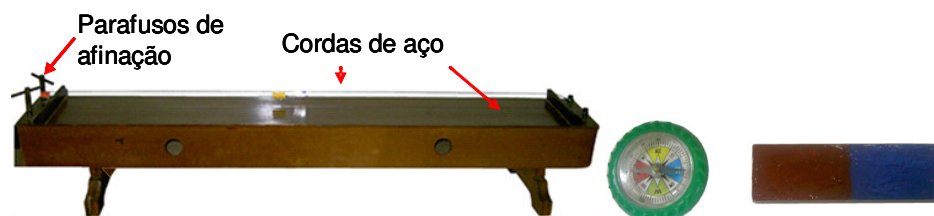


Figura 3.2 – Corda de aço presa e esticada, bússola e um ímã, material necessário para realizar experimento de simulação da gravação magnética.

Para magnetizar o fio de aço, basta aproximar dele um ímã com seus pólos devidamente identificados. Para obter o fio magnetizado como uma sequência de ímãs afaste-o do segmento que já foi magnetizado e aproxime-o novamente num segmento seguinte. Repita o procedimento até que todo o fio esteja magnetizado. Assim o fio se comporta como uma série de ímãs enfileirados. Para facilitar a identificação dos pólos magnéticos no fio, pinte com pincel atômico vermelho os segmentos em contato com o pólo norte do ímã e com pincel atômico azul os segmentos magnetizados com o pólo sul do ímã. Veja detalhes nas figuras 3.3.a e 3.3.b.

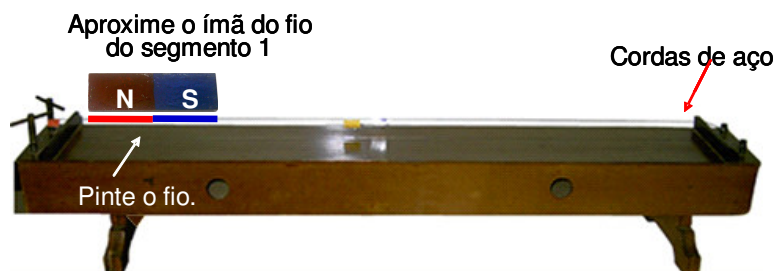


Figura 3.3.a) Encoste o ímã no fio, como indica a figura, e pinte de vermelho o segmento que está em contato com o pólo norte do ímã e de azul o segmento que está em contato com o pólo sul do ímã. Agora afaste o ímã e aproxime-o do próximo segmento, conforme indica a figura do segundo passo.

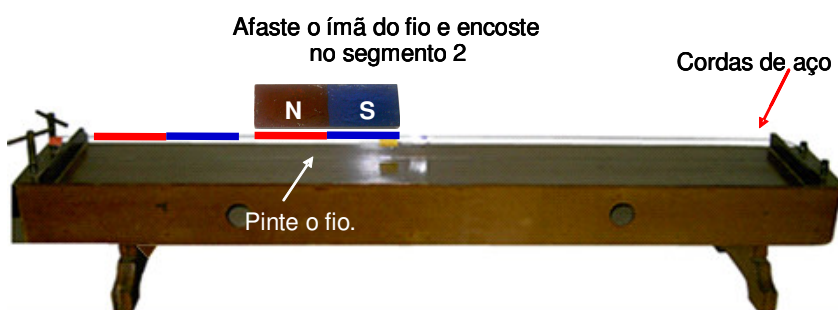


Figura 3.4.b – Afasto o fio do primeiro segmento, agora imantado, e encoste-o no segmento seguinte. Pinte o segundo segmento magnetizado da mesma forma como o anterior. Repita os procedimentos até magnetizar todo o fio.

Para identificar a polaridade dos ímãs (campos magnéticos) gravados no fio basta deslizarmos uma pequena bússola ao longo do mesmo, como indica a figura 3.5, e observar o comportamento da sua agulha magnetizada.

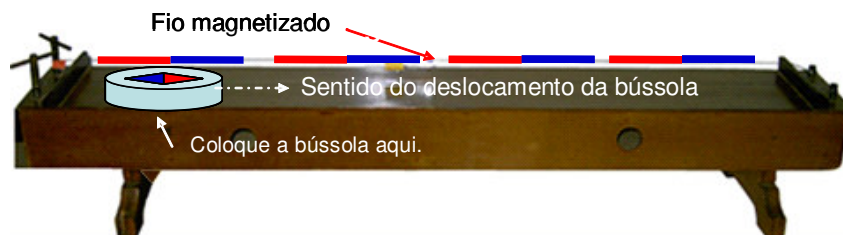


Figura 3.5 – Para observar a interação entre o fio magnetizado e a agulha da bússola, desloque-a para a direita, ao longo do fio.

Podemos repetir o procedimento anterior com outro fio, mas magnetizando-o de maneiras diferentes, com polaridades aleatoriamente distribuídas, como indica a figura 3.6.

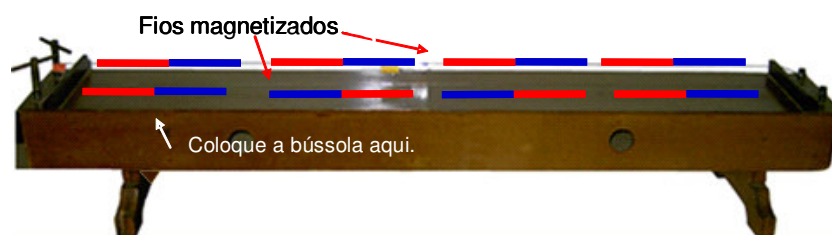


Figura 3.6 – Segundo fio magnetizado com os pólos aleatoriamente distribuídos.

Também sugerimos a utilização de fios feitos com outros materiais, como cobre, alumínio, plástico e outros.

ATIVIDADES EXPLORATÓRIAS

Mais uma vez sugerimos apresentação oral de suas observações, análises e conclusões que resultaram a partir do desenvolvimento das atividades realizadas pelos grupos de trabalho.

Além das situações individuais de cada grupo, sugerimos que o professor faça o questionamento a seguir.

1. Como a agulha da bússola se alinha enquanto é deslocada ao longo do fio magnetizado?
2. Por que a agulha da bússola muda de direção enquanto é deslocada ao longo do fio magnetizado?
3. O que podemos dizer a respeito das forças de atração e repulsão magnética entre o fio magnetizado e a agulha magnética da bússola? Quais pólos se atraem e quais se repelem?
4. Que relações podem existir entre um fio de aço magnetizado e uma fita magnética de um vídeo ou áudio?
5. Aproximando a bússola de um fio de aço não magnetizado o que ocorre? Por quê?
6. O que acontece quando substituímos os fios de aço do experimento acima por fios de nylon plástico, cobre ou alumínio? Por quê?
7. Como a bússola se comporta quando aproximada de diferentes materiais existentes ao seu redor? Exemplos: pernas de ferro de classes, madeira, vidro, alumínio, cobre. Baseado nas observações feitas, classifique os materiais em magnéticos e não magnéticos.
8. Que tipo materiais podem ser utilizados para fabricar ímãs permanentes?
9. Que materiais devem ser utilizados na fabricação de fitas magnéticas? E de disco rígido do computador?
10. De acordo com as observações feitas nos experimentos, quais são as funções do cabeçote do vídeo cassete ou do toca-fitas?

3.4. ATIVIDADE EXPERIMENTAL 3.

ANÁLISE ESPECTRAL DO SOM GERADO PELO GERADOR DE ÁUDIO DO *SOFTWARE VISUAL ANALYSER* VIA PLACA DE SOM DO COMPUTADOR

Nesta atividade pretende-se analisar o espectro do sinal de áudio gerado pelo *software Waveform Generator* via placa de som do computador e discutir a conversão de ondas sonoras em sinais elétricos. Além disso, identificar no gráfico do espectro as componentes de uma onda composta e interpretar no gráfico do espectro a frequência e a amplitude da onda primária e suas componentes secundárias.

Para desenvolver esta atividade é necessário providenciar um microfone com cabo blindado para computador, o *software Visual Analyser* ou Osciloscópio com gerador de áudio *Wavefor Generator* ou *ttg*.

Para realizar a atividade devemos instalar o *software Visual Analyser* que já traz um gerador de áudio incorporado. Outra opção é a versão livre do gerador de áudio *ttg (Test Tone Generator)* e o osciloscópio eletrônico *Oscilloscope*, que é um programa livre e pode ser obtido gratuitamente no endereço eletrônico www.comunidadeelectronicos.com.

Para efetuar a coleta de dados ou a visualização das ondas basta conectar o microfone na entrada da placa de som do computador e abrir o programa *Visual Analyser*, clicando no botão (On), para acionar a leitura clique no botão **Wave** localizado no menu suspenso do programa. Agora configure a frequência, a forma da onda, selecione o canal desejado e ajuste o volume. Por fim, clique no botão On.

Com o *software Visual Analyser* aberto, clique no botão *On*, depois acione o gerador de áudio na frequência desejada. Para salvar os dados ou exibir os gráficos dos modos *scope* e *spectrum*, clique em **Capture Scope** e depois em **Capture spectrum**, assim abre a janela mostrada na figura 3.18.

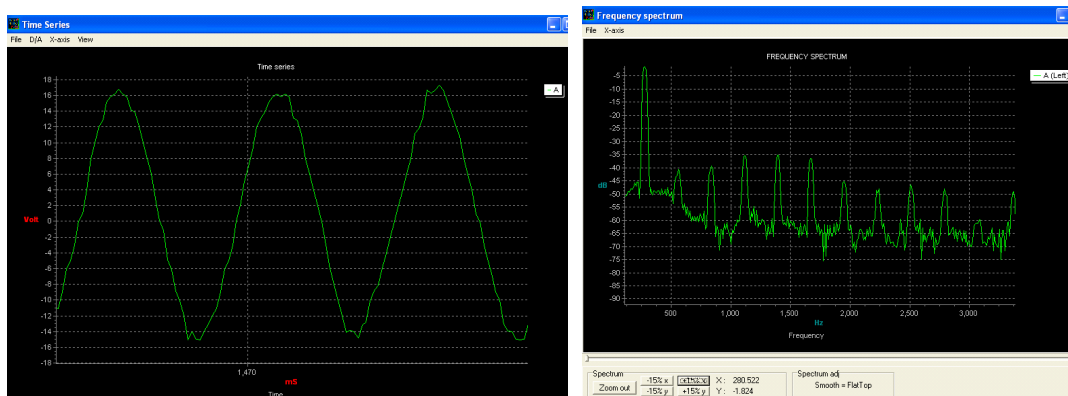


Figura 3.18 – a) Gráfico V x t com a escala para valores arbitrários . b) Gráfico do espectro (dB x Hz) com a escala ajustada para exibir os picos do pacote de ondas.

Para calcular a frequência a partir do gráfico $V \times t$, posicione a seta do mouse num ponto em que a onda cruza o eixo zero para o eixo Y, anote o valor indicado ao pé da tela, depois posicione a seta num ponto seguinte que coincida com uma onda completa. A diferença entre estes valores corresponde ao período. Os parâmetros indicam o tempo inicial e final da oscilação, o parâmetro representa a variação do tempo, ou seja, o período da oscilação. A frequência pode ser determinada

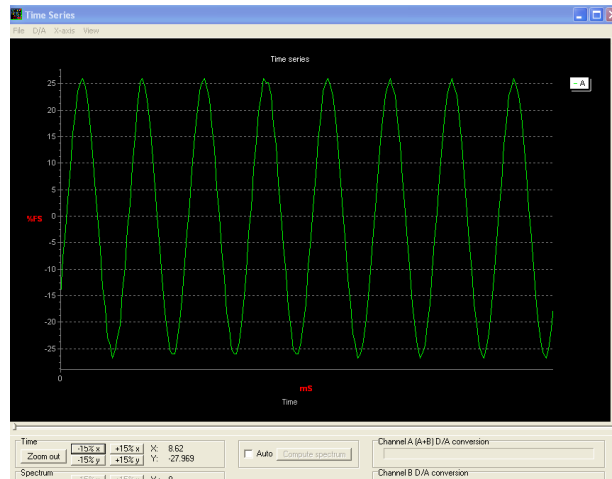


Figura 3.19 – No gráfico (x) é o tempo em que inicia uma oscilação, (o) é o instante em que a oscilação é completada, e xo é a diferença destes estes tempos, ou seja, o período (T) da oscilação.

fazendo $(f = 1/T)$.

Para determinar a frequência e a amplitude da onda a partir do gráfico do espectro, basta clicar com o mouse sobre o pico do espectro e observar o valor da frequência indicada na base da tela. Veja o exemplo da figura 3.20.

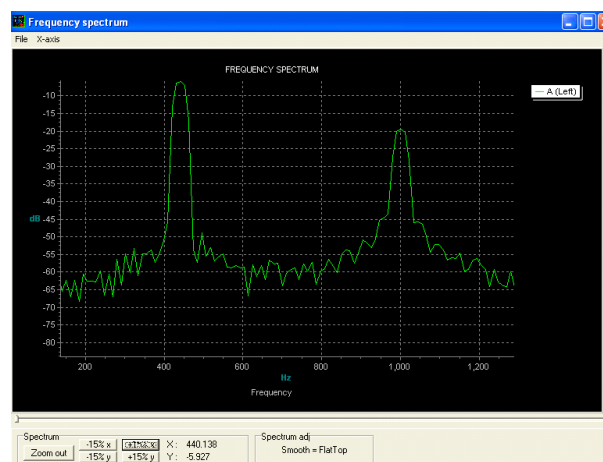


Figura 3.20 – No gráfico o pico maior representa a frequência da onda principal, onde $x = 440$ Hz é a frequência, $A = -5,927$ dB é a amplitude.

Repita os procedimentos para outras frequências, como 120 Hz, 150 Hz, 200 Hz, ou frequências mais altas como 1.000 Hz, 2.000 Hz...

ATIVIDADES EXPLORATÓRIAS

1) Considerando a placa de som do computador que gera o sinal de áudio um circuito ressonante, o que representa uma onda completa no gráfico $V \times t$?

2) Geralmente as ondas geradas no gráfico $V \times t$ são compostas, ou seja, não são ondas senoidais. Como o gráfico gerado no espectro pode explicar esse comportamento? E qual é o fenômeno ondulatório que explica esse fato?

3) Qual é a relação existente entre a frequência da onda fundamental e as frequências das componentes que formam o espectro de uma onda composta?

4) Discuta sobre a relação existente entre a forma de geração de ondas pela placa de som do computador e o magnetron do forno de microondas. Quais são as semelhanças e diferenças entre as oscilações produzidas nos dois casos?

5) Agora use sua criatividade e proponha uma atividade prática com a finalidade de explorar algum fenômeno físico, utilizando o computador como instrumento de medida.

3.5. ATIVIDADE EXPERIMENTAL 4 - RESSONÂNCIA EM CORDAS

Entender o fenômeno da ressonância é de fundamental importância para entender a forma como o forno de microondas aquece os alimentos. Mesmo que o experimento mostra o fenômeno no âmbito macroscópico, é possível fazer uma analogia do evento na escala microscópica. Sempre é importante evidenciar que as ondas transportam energia, e esta pode ser absorvida pela matéria através do fenômeno da ressonância.

Para a realização desta atividade é necessário providenciar uma caixa de ressonância de cordas ou um violão equipado com cordas de aço ou de nylon com espessuras diferentes, uma tira de papel de 1cm x 2cm dobrado em V, um microfone com cabo para a entrada na placa de som do computador.

A caixa de ressonância, construída pelo autor deste trabalho, pode ter características semelhantes como esta da foto na figura 3.21.

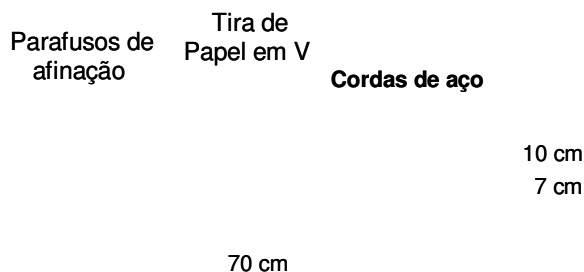


Figura 3.21 – Caixa de ressonância de duas cordas.

Para medir a frequência, utilize um microfone ligado na placa de som para captar o som da caixa de ressonância. Veja o esquema de montagem mostrado na figura 3.12. Gire o parafuso de afinação, esticando a corda até atingir a frequência desejada.



Figura 3.22 – Esquema de montagem dos equipamentos para medir a frequência das cordas da caixa de ressonância.

Para realizar a medida da frequência, abra e acione o *software Visual Analyser*, clique em **Capture spectrum** e toque a uma das cordas.

Repita o procedimento com a segunda corda, tracionando a corda até obter uma frequência igual ou próxima da primeira corda.

Agora coloque a tira de papel sobre uma das cordas e faça a outra vibrar e observe o que acontece.

Mude o valor da frequência da primeira corda, afine a segunda pelo método acima citado. Coloque o papel sobre uma das cordas e faça a outra vibrar. O que acontece? Por quê?

ATIVIDADES EXPLORATÓRIAS

1. Por que a tira de papel colocada sobre a segunda corda fica saltitando enquanto a primeira corda vibra? Como é o nome desse fenômeno?
2. Qual é a relação entre as frequências de oscilação das cordas que entram em ressonância reciprocamente?
3. Que relação podemos estabelecer entre os resultados obtidos nestas experiências e o aquecimento dos alimentos com o forno de microondas?
4. Veja maiores informações sobre fenômenos físicos que explicam o aquecimento dos alimentos com microondas acessando o *menu* “**Artigos e Textos**” deste *site* no item “**03. Conceitos físicos que explicam o aquecimento com microondas**”.

3.6. ATIVIDADE EXPERIMENTAL 5 - INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Através desse experimento, que será realizado com o auxílio do osciloscópio *Visual Analyser*, fazer uma estimativa da voltagem induzida por um ímã que se move através de uma bobina. Assim, pretende-se identificar as grandezas físicas que influenciam na indução de voltagem e entender a lei de Faraday sobre indução eletromagnética.

Para realizar esta atividade devemos mover um ímã através de uma bobina. Uma forma é fazer com que um ímã em queda livre passe no interior da bobina, prendendo-se um tubo de PVC ou similar num prendedor, fixando a bobina sobre esse tubo, colocando-a na vertical, como mostra a figura 5.2.



Figura 3.23 – Equipamentos necessários para a realização da atividade experimental sobre indução eletromagnética

Antes de iniciar a atividade, devemos ligar as extremidades da bobina num cabo que contém duas garras jacaré e um pino para conectá-la no Jack de entrada para microfone na placa de som do computador.

Em seguida devemos abrir e preparar o software para a aquisição dos dados, ou seja, clicar no botão *On* para acionar o programa. Configurar a janela *Scope* para um tempo (± 5 segundos), assim temos um tempo razoável desde o instante em que acionamos o botão da captura dos dados **Capture scope**, abandonar o ímã a partir da extremidade superior do tubo PVC de maneira para que ele atravessasse a bobina, e o encerre-se a captura. Se aumentarmos o tempo ainda mais, podemos repetir o procedimento e fazer a captura dos dados de várias quedas do ímã. Veja um exemplo de medida realizada como foi explicado anteriormente.

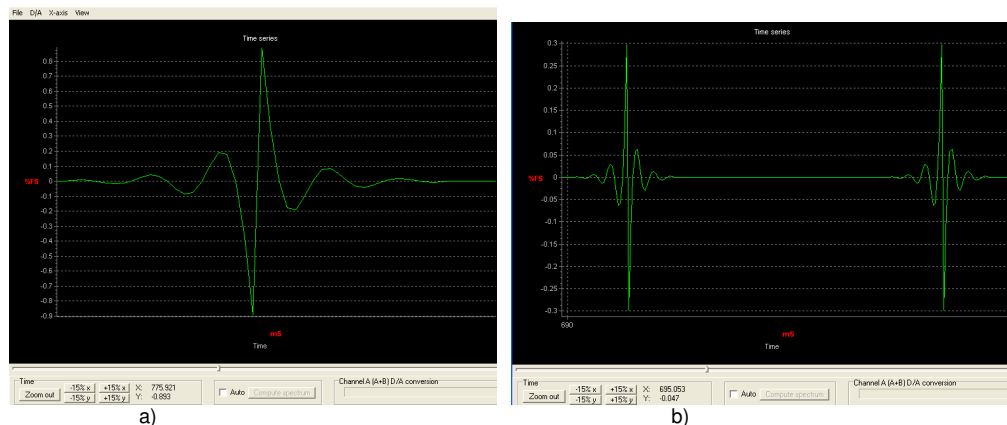


Figura 3.24 – a) Janela *Scope* do *Visual Analyser* mostrando a voltagem induzida pelo ímã abandonado em queda livre no procedimento acima citado. b) Esta é a mesma janela do gráfico (a), porém mostrando dois eventos de indução.

Agora desloque a bobina até a extremidade inferior do cano PVC e repita os procedimentos invertendo os pólos do ímã. Para fins de comparação, podemos utilizar ímãs de tamanhos diferentes e bobinas de tamanhos diferentes.

Veja um exemplo de medida realizada com o equipamento *PicoScope* e compare com os gráficos obtidos com o *Visual Analyser*.

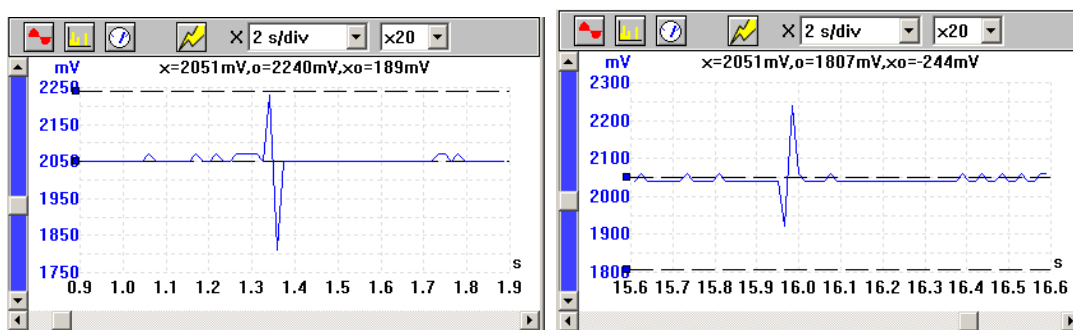


Figura 3.25 a) Gráfico da voltagem induzida por um ímã que se aproxima da bobina com o pólo norte. b) Gráfico da voltagem induzida por um ímã que se aproxima da bobina com o pólo sul.

ATIVIDADES EXPLORATÓRIAS

Indução Eletromagnética

1. Qual é a relação entre a rapidez de deslocamento do ímã com a voltagem induzida na bobina? Para responder esta questão compare os resultados obtidos de pelo menos duas situações em que o ímã foi abandonado de alturas diferentes.

2. Quando ampliamos os gráficos $V \times t$ observa-se que a variação da voltagem não é instantânea, isto é, ela cresce ou decresce gradativamente. O que significa este comportamento?

3. Como a intensidade do campo magnético influencia na voltagem induzida? Compare os resultados obtidos entre experimentos quando foram utilizados ímãs com intensidades de campo diferentes, ou seja, ímãs semelhantes, porém de tamanhos diferentes.

4. Como as características como o número de voltas e comprimento da bobina influenciam na voltagem induzida? Compare os resultados obtidos entre os experimentos que foram realizados com bobinas de tamanhos diferentes.

5. Quais são as grandezas físicas que influenciam no valor da voltagem induzida? Compare os parâmetros das variáveis com os resultados obtidos nas medidas efetuadas.

EXERCÍCIOS DE REVISÃO

- 01. Microondas

São quinze questões objetivas de escolha simples elaboradas com a finalidade de testar os conhecimentos sobre conceitos e leis físicas que explicam o funcionamento de um forno de microondas.

Marque a resposta correta.

- 1) Marque a alternativa na qual todos os aparelhos utilizam as microondas no seu funcionamento.
 - a) *forno de microondas; ultra-som; radar; raio-X*
 - b) radar; telefone celular; forno de microondas
 - c) forno de microondas; radar; laser.
 - d) Nenhuma das anteriores.
- 2) Marque a alternativa INCORRETA a respeito do efeito das microondas sobre células vivas e as medidas de segurança adequadas para evitar danos.
 - a) A grade metálica é projetada de maneira que as perfurações tenham um diâmetro muito menor que o comprimento de onda da luz de forma a permitir a visibilidade, porém com diâmetro muito maior que o comprimento de onda bloqueando e refletindo as microondas de volta para o interior da cavidade de cozimento.
 - b) Mesmo havendo um vazamento de 500 mW/cm² a 10 cm do forno, é seguro permanecer a uma distância superior a 1 m do forno, segundo as normas da ANVISA (5 mW/cm²).
 - c) A porta do forno de microondas é projetada de maneira que tenha três dispositivos de segurança: o selo capacitivo; a cavidade de choque; e a vedação de absorção, que praticamente elimina toda a possibilidade de vazamento.
 - d) As microondas não são radiações ionizantes, portanto não causam câncer, porém podem causar graves queimaduras.
 - e) Os alimentos preparados num forno de microondas não ficam contaminados por radiações nocivas causadoras de doenças como o câncer. A única forma de energia que permanece é o calor.
 - f) Nenhuma das anteriores.
- 3) Marque a alternativa que preenche as lacunas corretamente.

Circuitos ressonantes têm a capacidade de gerar ondas, e são formados pela ligação em paralelo de uma bobina e um capacitor. A habilidade das bobinas de armazenar energia é chamada de _____, enquanto a habilidade dos capacitores de armazenar carga elétrica é chamada de _____.

 - a) indutância – capacitância
 - b) capacitância – indutância

- c) indutância – resistência
 - d) ressonância – capacitância
 - e) Nenhuma das anteriores.
- 4) As microondas são cancerígenas ou podem fazer outros males à saúde?
- a) Sim
 - b) Não
 - c) Nenhuma das anteriores.
- 5) As microondas aquecem os alimentos principalmente por _____ seguido por _____ e por _____.
- a) indução – radiação – ressonância
 - b) radiação – interferência - condução
 - c) condução – ressonância – convecção
 - d) radiação – ressonância – condução
- 6) As microondas são radioativas e podem contaminar os alimentos?
- a) Sim
 - b) Não
 - c) Nenhuma das anteriores.
- 7) Marque a alternativa que preenche as lacunas corretamente.
- No magnetron a parede da cavidade ressonante em conjunto com as aletas se comporta como uma série de _____ e as aletas como um conjunto de _____. E o conjunto se comporta como um circuito ressonante com os valores de indutância e capacitância muito pequenos, emitindo oscilações com alta _____.
- a) bobinas – capacitores – frequência
 - b) resistores – capacitores – energia
 - c) bobinas – capacitores – energia
 - d) capacitores – bobinas – energia
 - e) Nenhuma das anteriores.
- 8) É uma aplicação das microondas na medicina.
- a) Não é usado na medicina.
 - b) Ressonância magnética por imagem.
 - c) Exames de ultra-som.
 - d) Usado em cirurgias de câncer de mama e tratamento de artrite e reumatismo.
9. Marque a alternativa que preenche as lacunas corretamente.
- Maxwell, em 1850, reuniu os resultados obtidos por uma série de pesquisadores na área da Eletricidade e do Magnetismo, e descreveu os campos _____ e _____ como _____. As quatro relações matemáticas complexas, envolvendo as variações destes campos, são conhecidas como equações de Maxwell e são a base do(a) _____.
- A. elétrico – magnético – ondas – eletromagnetismo

- B. elétrico – magnético – partículas – eletromagnetismo
 - C. gravitacional – magnético – ondas – eletricidade
 - D. gravitacional – magnético – partículas – magnetismo
 - E. magnético – elétrico – ondas - mecânica
10. Componente considerado o coração do forno e que gera as microondas.
- A. transformador
 - B. klystron
 - C. magnetron
 - D. Circuito de alta tensão
 - E. Nenhuma das anteriores
11. Recipientes que podem ser utilizados para aquecer alimentos num forno de microondas.
- A. de plástico, vidro e cerâmica.
 - B. de cerâmica, plástico e alumínio.
 - C. de alumínio, cobre e ferro.
 - D. Nenhuma das anteriores
12. O forno de microondas aquece os alimentos
- A. uniformemente.
 - B. de dentro para fora.
 - C. de fora para dentro.
 - D. Nenhuma das anteriores
13. As microondas são
- A. ondas mecânicas
 - B. ondas eletromagnéticas
14. Marque a alternativa que completa corretamente as lacunas:
Quando a cavidade do magnetron conduz _____, a parede da cavidade comporta-se como uma _____ e a abertura da cavidade como um _____, criando assim um circuito ressonante.
- A. corrente – bobina – capacitor
 - B. ondas – capacitor – bobina
 - C. Não sei
 - D. ondas – bobina – capacitor
 - E. energia – bobina – capacitor
15. Quais substâncias são aquecidas por microondas?
- A. água, gordura e açúcares.
 - B. somente água e metais.
 - C. somente água.
 - D. somente água e gorduras

As atividades que seguem, tem como objetivo oferecer uma opção para auto avaliação dos conceitos e leis físicas que explicam o funcionamento de um disco rígido de computador.

Marque a alternativa correta.

16. Marque a alternativa que preenche corretamente as lacunas:

O Disco Rígido é a peça do computador onde as informações, dados e programas, são _____ e podem ser consideradas _____

- a) armazenados – voláteis
- b) processados - permanentes
- c) processados – temporários
- d) armazenados - permanentes
- e) Não sei.

17. Marque a alternativa em que todos os componentes citados pertencem à qualquer Disco Rígido de computador atualmente utilizado.

- a) Disco, dois motores, cabeçote, controladora, atuador.
- b) Somente disco, cabeçote, um motor e uma controladora.
- c) Somente um cabeçote, um motor e um disco.
- d) Não sei.

18. Atualmente os materiais utilizados na fabricação de Discos Rígidos normalmente são constituídos de

- a) um disco de plástico coberto com uma fina camada de material magnético.
- b) um disco de liga de alumínio coberto com uma fina camada de material magnético.
- c) um disco de plástico coberto com uma fina camada de material óptico.
- d) um disco de liga de alumínio coberto com uma fina camada de material óptico.
- e) Não sei.

19. Marque a alternativa que preenche corretamente as lacunas

O magnetismo e a eletricidade têm uma relação muito íntima, e são capazes de gerar forças de campo. Isto é, forças aplicadas a distância, sem a necessidade de existir contato entre os corpos. Da mesma forma como uma carga elétrica estática é rodeada por um campo, um ímã está rodeado por um campo e qualquer objeto com massa está rodeado por um campo Além disso, cargas elétricas em movimento estão rodeadas por um campo e um campo

- a) magnético – magnético – elétrico – magnético – elétrico
- b) elétrico – magnético – elétrico – elétrico – magnético
- c) elétrico – magnético – gravitacional – elétrico – magnético
- d) elétrico – elétrico – gravitacional – gravitacional – magnético
- e) magnético – elétrico – gravitacional – elétrico - gravitacional

20. Colocar uma cartolina sobre um ímã e espalhar limalha de ferro sobre esta cartolina, é uma boa maneira de visualizar a configuração do(s) campo(s) do ímã.
- a) gravitacional
 - b) elétrico
 - c) magnético
 - d) magnético e elétrico
 - e) gravitacional, elétrico e magnético
21. Qual alternativa apresenta três materiais de fácil magnetização, ou seja, materiais que possibilitam a fabricação de um ímã.
- a) Ferro, níquel e cobalto.
 - b) Ferro, cobre e zinco.
 - c) Ferro, níquel e cobre.
 - d) Aço, ouro e prata.
 - e) Desconheço o assunto.
22. Mecânicos gostam de usar chaves de fenda com a ponta magnetizada. Na sua opinião, como ele deve proceder para magnetizá-la?
- a) Atritar a chave com um pano.
 - b) Aquecer a chave na chama do fogo.
 - c) Bater com um martelo sobre a chave.
 - d) Aproximar a chave de um ímã potente.
 - e) Desconheço o procedimento correto.
23. Em 1820, Hans Oesterd descobriu que um fio percorrido por uma corrente elétrica desvia a agulha de uma bússola. Verificou-se assim, pela primeira vez, a relação entre eletricidade e magnetismo: uma corrente elétrica gera um campo magnético. Esse efeito pode explicar
- a) o funcionamento de um gerador de energia elétrica e do motor elétrico.
 - b) o funcionamento do motor elétrico e a gravação de fita magnética.
 - c) o funcionamento do tubo de TV e gravação de fita magnética.
 - d) a gravação e leitura de uma fita magnética.
 - e) Nenhuma das anteriores.
24. Assinale a opção que apresenta a afirmativa correta, a respeito de fenômenos eletromagnéticos.
- a) É possível isolar os pólos de um ímã.
 - b) Imantar um corpo é fornecer elétrons a um de seus pólos e prótons ao outro.
 - c) Ao redor de qualquer carga elétrica, existe um campo elétrico e um campo magnético.
 - d) As propriedades magnéticas de um ímã de aço aumentam com a temperatura.
 - e) Cargas elétricas em movimento geram um campo magnético.
25. A descoberta do átomo e suas propriedades contribuiu fundamentalmente para a compreensão de inúmeros fenômenos, entre os quais o magnetismo de alguns materiais. A forma de organização dos elétrons no átomo explica porque alguns materiais apresentam propriedades magnéticas e outros não. Este comportamento é importante para o armazenamento de dados

através da gravação magnética. Na sua opinião, qual característica ou comportamento do átomo explica o magnetismo de alguns materiais?

- a) O número quântico principal, que corresponde aos níveis de energia ou camadas eletrônicas designadas por K, L, M, N, O, P e Q.
 - b) O número de elétrons na última camada de um elemento, conhecida como camada de valência, que nunca possui mais de oito elétrons.
 - c) O número quântico azimutal, que corresponde aos subníveis denominados s, p, d, f.
 - d) O número quântico magnético representado por “m”, correspondente aos orbitais que caracterizam a região de maior probabilidade de encontrar os elétrons.
 - e) O número quântico spin, também conhecido como “momento angular intrínseco” do elétron.
 - f) Nenhuma das anteriores.
26. Hoje, os melhores equipamentos de leitura de dados são baseados
- a) no efeito magneto-resistência gigante.
 - b) nos processos de leitura a LASER.
 - c) no princípio da indução eletromagnética.
 - d) Não sei.
27. Domínios magnéticos são
- a) átomos individuais que se comportam como um ímã.
 - b) grandes aglomerados de moléculas com spins alinhados, formando pequeníssimas regiões magnéticas.
 - c) grandes aglomerados de átomos com spins alinhados, formando pequeníssimas regiões magnéticas.
 - d) um dos pólos de um ímã.
 - e) Não sei.
28. Considere as seguintes afirmações sobre os processos de magnetização de materiais ferromagnéticos.
- I) Aproximar um objeto de material ferromagnético de uma bobina percorrida por uma corrente elétrica muito intensa por um pequeno instante, processo denominado “Indução Eletromagnética”;
- II) Esfregar, por exemplo, a extremidade de uma chave de fenda num dos pólos de um ímã e sempre no mesmo sentido, como fazem os mecânicos para que ela seja capaz de segurar pequenos parafusos de ferro;
- III) Aquecer um material ferromagnético até ficar incandescente, e deixar que ele esfrie lentamente na presença de um campo magnético. Assim os domínios magnéticos se alinham à medida que o material esfria.
- IV) Martelar um material ferromagnético na presença de um campo magnético intenso, colocando o material alinhado com as linhas do campo.
- Quais estão corretas segundo técnicas aplicadas em processos de magnetização?
- a) Apenas I e II.
 - b) Apenas I, II e III.
 - c) Apenas I, II e IV.

- d) Todas estão corretas.
e) Não sei.
29. Qual das alternativas abaixo está correta de acordo com as leis de Faraday e Lenz?
- a) Ao se aproximar de uma bobina, o pólo norte de um ímã, surge nessa extremidade da bobina um pólo sul que tende a acelerar o ímã, aproximando-o da espira.
b) O processo de aproximação e afastamento do ímã gera na espira um campo elétrico e um campo magnético induzidos de intensidade variável.
c) Ao se posicionar o ímã muito próximo das espiras e mantendo-o em repouso, a corrente elétrica induzida durante esse intervalo de tempo será máxima.
d) A rapidez com que o ímã é aproximado, ou afastado, não altera o valor da corrente elétrica induzida.
e) O processo de aproximação e afastamento do ímã gera na bobina apenas um campo elétrico induzido variável.
f) Não sei.
30. Marque a alternativa que completa a frase corretamente.
“O processo de funcionamento de um motor de corrente contínua é o mesmo que explica o funcionamento de um _____. Nos motores maiores, de corrente alternada, o ímã é substituído por bobinas alimentadas por corrente elétrica e no rotor as bobinas são substituídas por um cilindro rígido e laminado, geralmente de alumínio, sem nenhuma conexão elétrica, e seu funcionamento está baseado no mesmo princípio que explica o funcionamento de _____.”
- a) galvanômetro – uma televisão
b) transformador – um galvanômetro
c) galvanômetro – um transformador
d) transformador – um magnetron
e) Nenhuma das anteriores.

- Atividades complementares

Funcionamento do magnetron - Exercício de ordenação de palavras.

31. Coloque as palavras em ordem formando uma frase

MAGNETRON DO LOCALIZADO CAVIDADE DA ELÉTRONS É QUE
CÁTODO EMITE UM NO FICA O CENTRO E FILAMENTO .



Magnetron

Exercício de ordenação de palavras.

Coloque as palavras em ordem formando uma frase.

Partes do magnetron.

32. O magnetron é o coração do forno de microondas. É ele que gera as ondas. Elétrons são emitidos pelo catodo aquecido. Os elétrons se movem em círculos, formando uma nuvem que induz cargas e corrente nas aletas, que funcionam simultaneamente como bobina que gera um campo magnético variável, e capacitor que gera campo elétrico variável. Estas variações geram as microondas que aquecem moléculas polares.

AQUECIDO ELÉTRONS EMITE QUANDO O CÁTODO ESTÁ

Exercício de preenchimento de lacunas

33. Preencha a lacuna para tornar a frase verdadeira.

Maxwell descobriu que oscilantes ou acelerados(as) geram ondas eletromagnéticas.

Atividades de múltiplos tipos têm como finalidade exercitar e aperfeiçoar os conhecimentos sobre o funcionamento do forno de microondas.

Exercício de preenchimento de lacunas

34. Preencha as lacunas deixando a frase correta.

Se a frequência da fonte excitadora for próxima ou igual à frequência natural do sistema, o sistema oscila com uma , pois nessas condições a absorvida pelo sistema é máxima. Em sistemas ressonantes a taxa média de absorção de energia é igual à energia média fornecida pela fonte excitadora.

• Associação de colunas - Partes do forno de microondas.

35. Associe corretamente os termos da coluna à direita com as frases da coluna à esquerda.

Garante uma distribuição uniforme das microondas no alimento.

???

Conhecido como circuito dobrador de meia onda.

???

Controla a potência de emissão do magnetron.

???

Refletem e direcionam as microondas até o interior da câmara de cozimento.

???

Capta e irradia a energia das ondas para a câmara de cozimento.

???

Exercício de preenchimento de lacunas

36. Se a frequência da fonte excitadora for próxima ou igual à frequência natural do

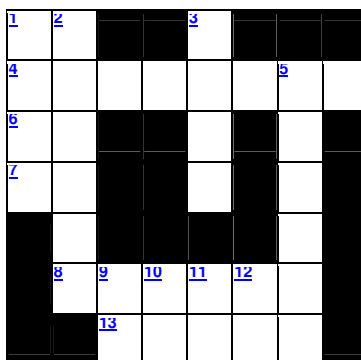
sistema, o sistema oscila com uma [?], pois nessas condições a

[?] absorvida pelo sistema é máxima. Em sistemas ressonantes a taxa média de absorção de energia é igual à energia média fornecida pela fonte excitadora.

Partes do forno de microondas e aquecimento.

Palavras cruzadas.

37. Complete as palavras cruzadas, clique no botão "Verificar" para exibir sua pontuação. Se tiver dúvidas, você pode clicar no botão "Pista" para mostrar a próxima letra correta. Clique no número na grade e veja a pista para preencher as lacunas.



Verificar

Horizontal:

1. Não forma palavra.
4. Lipídios e são aquecidas pelas microondas.
6. Não forma palavra.
7. Não forma palavra.
8. Parte do magnetron que irradia ondas.
13. Uma molécula da água é considerada _____, pois apresenta pólos elétricos, e por isso tende a se alinhar com o campo elétrico das microondas, aumentando a sua agitação e conseqüentemente seu aquecimento.

Vertical:

1. Substância presente nos seres vivos e é formada por moléculas polares.
2. Raios x _____ moléculas e átomos, pois tem energia suficiente para arrancar elétrons dos átomos.
3. Parte do forno que conduz as microondas da antena do magnetron até a câmara de cozimento.
5. Substância sintetizada pelas plantas durante o processo de fotossíntese, e também é aquecida pelas microondas.
9. Não forma palavra.
10. Não forma palavra.
11. Não forma palavra.
12. Não forma palavra.

REFERÊNCIA

AWASCHALOM, D. D.; FLATTÉ, M. E.; SAMARTH, N. **Spintrônica**. Scientific American Brasil, São Paulo, n. 2, Julho de 2002 p. 40-45

BAIBICH, M. **Magnetorresistência gigante**. Disponível em:
<http://www.cmpa.tcche.br/administrator/cel_araujo/Magnetorresistencia_Gigante.doc>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2008.

BRASTEMP. **Princípios de microondas**. [S.l.:s.n., 200-]

CAPPUZOLLI, U. **A ciência do pequeno em busca da maioria**. Scientific American Brasil, São Paulo, n. 1, junho de 2002. p. 34-36.

ELECTROLUX. **Microondas**: manual de instruções: ME28S, ME28G, ME28X. Curitiba, 2006.

FAGUNDES, V. **Ondas polêmicas**. São Paulo: Ciência Hoje 31 (181): 54-55, 2002.

FARIA, R. N.; LIMA, Luis Felipe C.P. **Introdução ao magnetismo dos materiais**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005.

GOMES, A. T. **Telecomunicações: transmissão e recepção**. São Paulo: Ed. Érica, 1985.

HEWITT, P. G. **Física Conceitual**. Porto Alegre: Editora Bookman, 9.ed., 2002.

MAI, I. **Mundo Físico 2**: fluidos, termologia, oscilações. Três de Maio: Instituto Dinâmico Publicações, 2006.

MAI, I. **Mundo Físico 3**: eletromagnetismo, ótica, física moderna. Três de Maio: Instituto Dinâmico Publicações, 2007.

MINATTI, E. **O mundo das Proteínas**. Disponível em
<<http://www.qmc.ufsc.br/qmcweb/artigos/proteinas.html>>. Acesso em: 21 de junho de 2007.

MORIMOTO, C. **Por dentro do HD**. Geek Especial Hardware, [São Paulo], v. 5, n. 23, p. 6-15, [2006].

NOGUEIRA, J. de S.; RINALDI, C.; FERREIRA, J. M.; PAULO S. R. de. Utilização do computador como instrumento de ensino: uma perspectiva de aprendizagem significativa. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 22 nº 4, Dezembro, 2000.

TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R. A. **Física Moderna**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 3ª edição, 2001.

VALADARES, E. de C.; CHAVES, A.; ALVES, E. G. **Aplicações da física quântica**: do transistor à nanotecnologia. São Paulo: Livraria da Física, 2005.

Endereços Eletrônicos disponíveis em Janeiro de 2008.

http://es.wikipedia.org/wiki/Microonda#Bandas_de_frecuencia_de_microondas

<http://www.if.ufrgs.br/~betz/quantum/SGtexto.htm>

<http://www.prorad.com.br/pro/rni.pdf>

<http://quark.qmc.ufsc.br/~minatti/>

http://www.ufrgs.br/Alimentus/pao/fabricacao/fab_assamento_maillard.htm

Endereços Eletrônicos disponíveis em Julho de 2006.

<http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php>

<http://geocities.yahoo.com.br/paradoxosdafisica/mecanicaquantica.htm>

www.prof2000.pt

<http://www.clubedohardware.com.br/artigos/1239>

<http://www.museudocomputador.com.br/enciclohd.php>

[http://www.terravista.pt/ilhadomel/2388/gloshd.html#Cabeças%20Indutivas](http://www.terraviva.pt/ilhadomel/2388/gloshd.html#Cabeças%20Indutivas)

<http://www2.ufpa.br/dicas/mic/mic-hd.htm>

<http://telefonica.no.sapo.pt/record.htm>

<http://www.sbirt.ibict.br>

<http://www.pqi.poli.usp.br/lec/nano/primarias/objetivos.htm>

www.letronet.com.br

www.tecmania.com

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/waves/magnetron.html>

http://myspace.eng.br/tec/for_mic1.asp#comp_princ

www.itnu.de/radargrundlagen/roehren/tu05-en.html

www.gallawa.com/microtech/magnetron.html

<http://paginas.terra.com.br/informatica/burgoseletronica/magnetron.htm>

<http://www.letronet.com.br/psist/ppesq/ppesqlivcap/ppesqfm/ppesqfmd5/ppesqfm5d2.htm>

<http://www.tpub.com/neets/book11/45i.htm&prev=/search%3Fq%3Dmagn>

http://www.ufrgs.br/Alimentus/pao/fabricacao/fab_assamento_maillard.htm

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/waves/magnetron.html>

http://myspace.eng.br/tec/for_mic1.asp#comp_princ

www.itnu.de/radargrundlagen/roehren/tu05-en.html

www.gallawa.com/microtech/magnetron.html

<http://paginas.terra.com.br/informatica/burgoseletronica/magnetron.htm>

<http://www.letronet.com.br/psist/ppesq/ppesqlivcap/ppesqfm/ppesqfmd5/ppesqfm5d2.htm>

<http://www.tpub.com/neets/book11/45i.htm&prev=/search%3Fq%3Dmagn>

TEXTOS DE APOIO AO PROFESSOR DE FÍSICA

- nº. 1 Um Programa de Atividades sobre Tópicos de Física para a 8ª Série do 1º Grau
Axt., R., Steffani, M. H. e Guimarães, V. H., 1990.
- nº. 2 Radioatividade
Brückmann, M. E. e Fries, S. G., 1991.
- nº. 3 Mapas Conceituais no Ensino de Física
Moreira, M. A., 1992.
- nº. 4 Um Laboratório de Física para Ensino Médio
Axt, R. e Brückmann, M. E., 1993.
- nº. 5 Física para Secundaristas – Fenômenos Mecânicos e Térmicos
Axt, R. e Alves, V. M., 1994.
- nº. 6 Física para Secundaristas – Eletromagnetismo e Óptica
Axt, R. e Alves, V. M., 1995.
- nº. 7 Diagramas V no Ensino de Física
Moreira, M. A., 1996.
- nº. 8 Supercondutividade – Uma proposta de inserção no Ensino Médio
Ostermann, F., Ferreira, L. M. e Cavalcanti, C. H., 1997.
- nº. 9 Energia, entropia e irreversibilidade
Moreira, M. A., 1998.
- nº. 10 Teorias construtivistas
Moreira, M. A. e Ostermann, F., 1999.
- nº. 11 Teoria da relatividade especial
Ricci, T. F., 2000.
- nº. 12 Partículas elementares e interações fundamentais
Ostermann, F., 2001.
- nº. 13 Introdução à Mecânica Quântica. Notas de curso
Greca, I. M. e Herscovitz, V. E., 2002.
- nº. 14 Uma introdução conceitual à Mecânica Quântica para professores do ensino médio
Ricci, T. F. e Ostermann, F., 2003.
- nº. 15 O quarto estado da matéria
Ziebell, L. F., 2004.
- v.16, n.1 Atividades experimentais de Física para crianças de 7 a 10 anos de idade
Schroeder, C., 2005.
- v.16, n.2 O microcomputador como instrumento de medida no laboratório didático de Física
Silva, L. F. da e Veit, E. A., 2005.
- v.16, n.3 Epistemologias do Século XX
Massoni, N. T., 2005.

- v.16, n.4 Atividades de Ciências para a 8a série do Ensino Fundamental: Astronomia, luz e cores
Mees, A. A.; Andrade, C. T. J. de e Steffani, M. H., 2005.
- v.16, n.5 Relatividade: a passagem do enfoque galileano para a visão de Einstein
Wolff, J. F. de S. e Mors, P. M., 2005.
- v.16, n.6 Trabalhos trimestrais: pequenos projetos de pesquisa no ensino de Física
Mützenber, L. A., 2005.
- v.17, n.1 Circuitos elétricos: novas e velhas tecnologias como facilitadoras de uma aprendizagem significativa no nível médio
Moraes, M. B. dos S. A., Ribeiro-Teixeira, R. M., 2006.
- v.17, n.2 A estratégia dos projetos didáticos no ensino de física na educação de jovens e adultos (EJA)
Espindola, K. e Moreira, M. A., 2006.
- v.17, n.3 Introdução ao conceito de energia
Bucussi, A., 2006.
- v.17, n.4 Roteiros para atividades experimentais de Física para crianças de seis anos de idade
Grala, R. M., 2006.
- v.17, n.5 Inserção de Mecânica Quântica no Ensino Médio: uma proposta para professores
Webber, M. C. M. e Ricci, T. F., 2006.
- v.17, n.6 Unidades didáticas para a formação de docentes das séries iniciais do ensino fundamental
Machado, M. A. e Ostermann, F., 2006.
- v.18, n.1 A Física na audição humana
Rui, L. R., 2007.
- v.18, n.2 Concepções alternativas em Óptica
Almeida, V. O.; Cruz, C. A. da e Soave, P. A., 2007.
- v.18, n.3 A inserção de tópicos de Astronomia no estudo da Mecânica em uma abordagem epistemológica
Kemper, E., 2007.
- v.18, n.4 O Sistema Solar – Um Programa de Astronomia para o Ensino Médio
Uhr, A. P., 2007.
- v.18 n.5 Material de apoio didático para o primeiro contato formal com Física; Fluidos
Damasio, F. e Steffani, M. H., 2007.