



**Editora Profissionalizante**

Cursos e Apostilas Digitais

# Osciloscópio

## Primeiros Passos



**Este material foi entregue a você através da**

**Editora Profissionalizante**

<http://www.editoraprofissionalizante.com.br>

Você encontrará neste livro algumas informações históricas sobre os Osciloscópios bem como os assuntos iniciais e introdutórias quanto a utilização prática deste valioso Instrumento tecnológico tão amplamente utilizado em manutenção de equipamentos tecnológicos e outros infinitos segmentos de trabalhos.

[www.editoraprofissionalizante.com.br](http://www.editoraprofissionalizante.com.br)

# **ÍNDICE**

INTRODUÇÃO

CAPÍTULO 1

**1.1 - Analisando Formas de Onda**

**1.2 – Fenômenos Periódicos e Transitórios**

**1.3 - A Senóide**

**1.4 - Formas de Onda Complexas**

**1.5 – Medidas de um sinal**

CAPÍTULO 2 - O QUE É UM OSCILOSCÓPIO

**2.1 - O Osciloscópio**

**2.2 - Os nomes do osciloscópio**

**2.3 – Tipos de Osciloscópio**

**2.4 - O Funcionamento do**

**Osciloscópio**

**2.5 – O Tubo de Raios Catódicos**

**2.6 – Persistência Retiniana e Efeito Estroboscópico**

**2.7 – Fósforos**

**2.8 - Os circuitos do Osciloscópio**

**2.9 - Osciloscópios Digitais**

**2.10- Convertendo sinais analógicos**

- 2.11 - Requisitos mínimos**
- 2.12 - A Transformada de Fourier**
- 2.13 - Os circuitos do Osciloscópio**
- 2.14 – A Base de Tempo**
- 2.15 – Disparo ou “trigger”**
- 2.16 – Sincronismo Externo**
- 2.17 – Entrada Horizontal**
- 2.17 – Amplificador Vertical**
- 2.18 - AC/DC**
- 2.19 - Eixo Z**
- 2.20 - O Cursor**

**CAPÍTULO 3 - OUTROS CIRCUITOS DOS OSCILOSCÓPIOS  
COMUNS**

- 3.1– Foco e brilho**
- 3.2 - Posicionamento vertical e  
horizontal**

**CAPÍTULO 4 – PONTAS DE PROVA**

- 4.1- As pontas de Prova dos  
Osciloscópios**
- 4.2 – O Atenuador**
- 4.3 – O Compensador**
- 4.4 - Fonte de Alimentação**

## **4.5 – Outros Recursos**

**CAPÍTULO 5 - DUAS IMAGENS - DUPLO TRAÇO E DUPLO FEIXE**

**CAPÍTULO 6 - O OSCILOSCÓPIO NA OFICINA (IMAGENS MÚLTIPLAS)**

### **6.1 - Recursos dos Osciloscópios Digitais**

### **6.3 - O Disparo num Osciloscópio de Tempo Real**

### **6.4 - Uma amostragem por ciclo**

### **6.5 - Metodologia de Amostragem**

### **6.6 - Disparo no osciloscópio de amostragem de tempo equivalente**

### **6.7 - Criando um diagrama de olho**

### **6.8 - Olhos em tempo real**

### **6.9 - Vantagens dos osciloscópios em tempo real:**

### **6.10 - Vantagens do Osciloscópio por Tempo Equivalente**

**CAPÍTULO 7 – USANDO O OSCILOSCÓPIO**

### **7.1 – Nossos Osciloscópios**

### **7.3 – Fazendo as conexões no circuito a ser analisado**

### **7.4 – Compensando as pontas de prova**

**CAPÍTULO 8 - USANDO O OSCILOSCÓPIO NA PRÁTICA**

**8.1 – Observando formas de onda**

**8.2 – Observando dois sinais**

**simultaneamente**

**8.3 - Medindo diferenças de fase**

**8.4 – Medindo Tensões Contínuas**

**8.5 – Medidas de Corrente Contínua**

**8.6 – Medindo o período e a**

**frequência**

**8.7 - Ripple**

**8.8 – Largura de Pulso e Ciclo Ativo**

**8.9 – Amortecimento**

**8.10 – Tempos de subida e tempos de**

**descida**

**8.11 – Modulação**

**8.12 – Teste de diodos**

**8.13 – Figuras de Lissajous**

**8.14 - Medindo frequências e Fases**

**com as Figuras de Lissajous**

**Conclusão**

**ANEXO – PEQUENO DICIONÁRIO DE TERMOS TÉCNICOS  
EM INGLÊS**

# Introdução

Houve tempo em que a maioria dos praticantes da eletrônica se contentava em ter um bom multímetro, pois sabia que um osciloscópio estava muito além de suas posses.

Se bem que o multímetro possa ser o muito útil para todos que trabalham com eletricidade ou eletrônica, pois além de poder realizar uma infinidade de testes de circuitos e componentes, não se pode dizer que ele seja completo, principalmente para as exigências de nossos dias.

Todos sabem que numa boa oficina de eletrônica, ou no trabalho de campo, incluindo as telecomunicações, eletricidade, informática, eletrônica automotiva, automação e muito mais, um osciloscópio deve estar presente.

Se bem que os osciloscópios avançados de tecnologia digital já estavam presentes nas oficinas mais avançadas, o seu custo até então impedia que ele fosse acessível aos profissionais com menos recursos. Isso já não ocorre mais em nossos dias.

Apesar dos tradicionais osciloscópios de tubos de raios catódicos (TRC) ainda estarem presentes no nosso mundo técnico, quer seja em versões de baixo custo como obtidas de recuperação de sucatas, que são acessíveis a todos que desejam ter um instrumento completo em sua bancada de trabalho, podemos contar com fantásticas versões digitais que podem atender aos mais exigentes profissionais a um custo acessível, muito mais acessível do que muitos possam pensar.

Osciloscópios novos com excelentes recursos podem ser adquiridos de diversos fornecedores e, até mesmo osciloscópios recuperados, usados ou arrematados em leilões podem ser encontrados em casas de componentes e equipamentos, principalmente no entorno da Rua Santa Ifigênia em São Paulo. Assim, com o osciloscópio a capacidade de se visualizar formas de onda num circuito, fenômenos transitórios e também realizar medidas precisas de sinais de todos os tipos é um recurso poderoso para se encontrar falhas em circuito, testar componentes, como ensinamos na nossa série de quatro volumes

Como Testar Componentes, e também ajustar ou analisar o desempenho dos mais diversos equipamentos eletrônicos. No próprio laboratório de física, nas escolas do segundo grau e universidades, o osciloscópio possibilita a realização de diversos experimentos didáticos de grande importância, assim como nas escolas técnicas e cursos superiores de engenharia. Tudo isso justifica plenamente a aquisição de um osciloscópio. No entanto, o grande problema é que, uma vez adquirido o osciloscópio, temos de saber como usá-lo. Os osciloscópios, em geral, não são acompanhados de literatura apropriada para esta finalidade e esta é uma falha que observamos já há muito tempo. Os osciloscópios básicos mais simples não vêm com um guia de uso, mas tão somente com um pequeno manual básico que contém suas funções e que normalmente não ajuda muito quem nunca trabalhou com este instrumento. Osciloscópios realmente bons possuem ampla literatura acompanhando o produto e, além disso, os fabricantes disponibilizam na internet notas de aplicações que atendem a todo o tipo de usuário, como no caso da Agilent. A documentação técnica que acompanha um osciloscópio normalmente é feita para quem já sabe usar este instrumento no que deseja. Ela simplesmente ensina como usar os recursos específicos daquele modelo ou ainda mostra os recursos ele tem. É claro que não é possível ensinar tudo o que um osciloscópio pode fazer num único livro, como este. Na verdade, não acreditamos que mesmo um livro muito longo que pretenda ser completo consiga fazer isso, pois as utilidades do osciloscópio não têm limites. No entanto, é preciso dar os primeiros passos e é essa justamente nossa finalidade neste pequeno livro no qual vamos levar aos nossos leitores o que de fundamental se necessita saber para poder usar o osciloscópio e, a partir desses conhecimentos, ser possível criar ou deduzir novos usos, conforme as necessidades de cada um.

Além disso, em nossa série Curso de Eletrônica, teremos posteriormente no volume de Instrumentação, um avanço maior. Mas, se o leitor pretende aprender a usar um osciloscópio, quer seja ele analógico de tubo de raios catódicos ou digital de armazenamento (DSO) em sua oficina, no seu trabalho ou mesmo no seu hobby, este livro lhe possibilitará a dar os primeiros passos, mostrando como funciona este útil equipamento e como usá-lo nas aplicações básicas.

Nosso livro foi elaborado tendo como base um osciloscópio de armazenamento digital (Digital Storage Oscilloscope) MSO-X-2024A da Agilent, mas os conceitos e as aplicações descritas servem para todos os tipos de osciloscópios, como os da série 1000 da Agilent, e até mesmo os mais antigos nos casos básicos. Completamos, informando que um tutorial para professores e estudantes sobre o uso do osciloscópio tomado como exemplo e outros da mesma série da Keysight pode ser encontrado no link <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/54136-97008.pdf>. O documento se encontra em português.

Acreditamos que com os conceitos explicados neste livro ficará muito mais fácil para o leitor entender como funciona, e como utilizar o osciloscópio na sua atividade diária como profissional, estudante, professor ou amador da eletrônica.

# Capítulo 1

## 1.1 - Analisando Formas de Onda

Na natureza nos deparamos com muitos fenômenos que se manifestam de forma ondulatória. Assim, quando observamos as ondas que o vento forma na superfície de um lago, ou ainda quando uma pedra é atirada na água, temos exemplos de fenômenos periódicos ou ondulatórios naturais. Quando batemos num diapasão produzindo som também temos um exemplo de um fenômeno que resulta em ondas. Na figura 1 temos um exemplo disso.

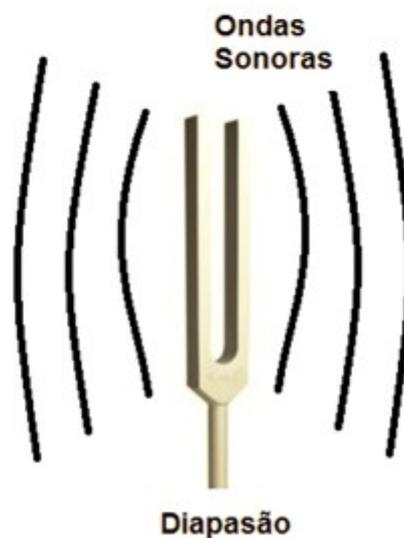


FIGURA 1- PRODUZINDO ONDAS SONORAS

Certa quantidade de fenômenos ondulatórios naturais pode ser percebida pelos nossos sentidos como no caso da luz que sensibiliza nosso sentido visual, ou ainda dos sons que ouvimos. No entanto, temos casos em que nossos sentidos não podem ser estimulados e as ondas não são percebidas. Isso ocorre com os sinais dos circuitos eletrônicos, tensões alternadas de alimentação numa rede de energia além de pulsos de transientes num cabo ou numa rede de energia.

Denominamos sinais, correntes elétricas que estão presentes nos circuitos eletrônicos, transportando informações tanto na forma analógica como digital. É o caso das correntes alternadas que alimentam os equipamentos, dos sinais gerados por osciladores e dos sinais amplificados e transmitidos por diversos circuitos.

As formas das ondulações que ocorrem nos fenômenos periódicos, seja elas de natureza mecânica, como as ondas sonoras, sejam de natureza elétrica como os sinais do circuito, ou ainda eletromagnéticas como a luz, dão muitas informações sobre a sua natureza.

O modo como as ondulações ocorrem, quando visualizado na forma gráfica resultam no que denominamos “forma de onda”.

As formas de onda de muitos fenômenos naturais, como os sons puros, são senoidais, mas existem muitos outros fenômenos em que as formas de onda são complexas. Na figura 2 temos alguns exemplos destas formas de onda complexas.

Instrumentos musicais produzem sons cujas formas das vibrações possuem formas de onda complexas. Muitos fenômenos físicos também ocorrem segundo padrões que se relacionam com formas de ondas complexas.



FIGURA 2 – FORMAS DE ONDA DE SINAIS COMPLEXOS

Nos circuitos eletrônicos, a possibilidade de sabermos como as ondulações ocorrem, visualizando-as de uma forma gráfica na tela de um instrumento, é uma poderosa ferramenta de diagnóstico de defeitos e mesmo de projeto.

Isso significa que as ondulações não podem ser vistas nem sentidas, mas podem ser visualizadas de uma forma gráfica, ou seja, através de um “retrato”. Essa forma não é a ondulação ou oscilação em si, mas retrata o modo que ela se comporta e isso é o bastante.

Na figura 3 temos um exemplo de visualização de uma forma de onda na tela de um instrumento (osciloscópio).

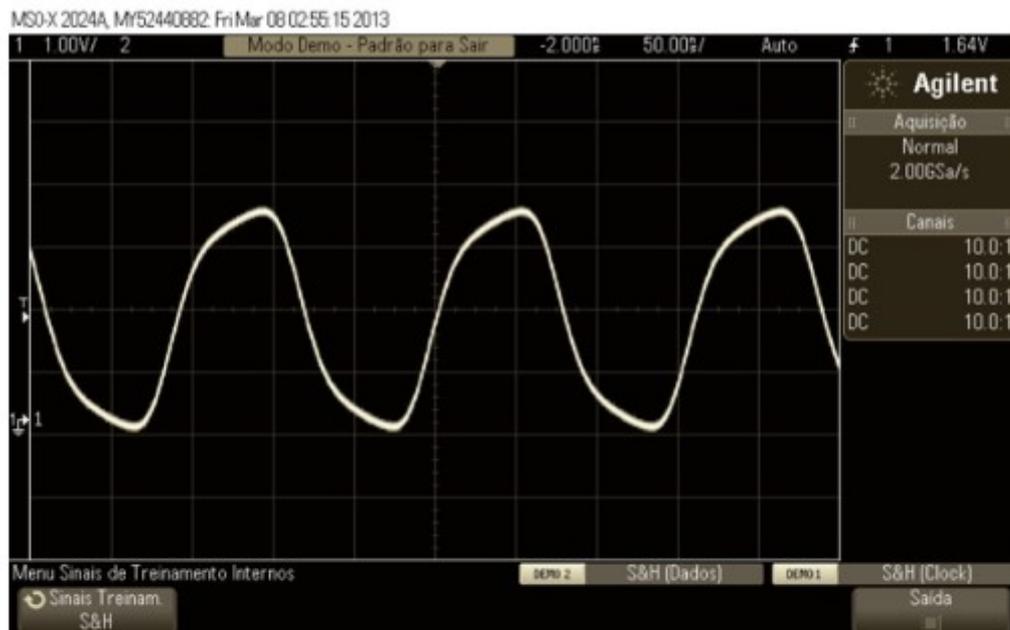


FIGURA 3 – VISUALIZAÇÃO DE UM SINAL COMPLEXO NUM OSCILOSCÓPIO  
 © KEYSIGHT TECHNOLOGIES, INC.

Para exemplificar como elas ocorrem, tomemos como exemplo uma corrente alternada que circula num fio ou por um determinado ponto de um circuito.

Esta corrente não pode ser vista nem sentida, a não ser que sua tensão seja suficientemente alta e toquemos no local, tomando um choque, mas isso não nos traz muitas informações sobre sua natureza.

No entanto, podemos saber muito sobre este tipo de corrente se for possível colocar num gráfico a forma como ele ocorre.

Dizemos que estamos “plotando” esta corrente, quanto tiramos medidas instante a instante e colocamos num gráfico.

Na prática isso é impossível de ser conseguido com um lápis e papel, pois as correntes variam de forma tão rápida que não podemos tomar medidas instante a instante e anotar, de modo que possamos criar um gráfico que mostre como ela varia.

Para analisar este tipo de corrente que varia muito rapidamente,

podemos fazer com que ela seja apresentada de forma gráfica na tela de um instrumento capaz de responder às suas variações. Pela sua análise podemos descobrir muito sobre essa corrente e sobre o circuito que a gera.

A visualização do gráfico que representa o modo como a corrente varia é possível graças ao instrumento que denominamos osciloscópio. Na figura 4 mostramos um osciloscópio em funcionamento.



**FIGURA 4 – OSCILOSCÓPIO 1000B DA KEYSIGHT EM FUNCIONAMENTO APRESENTANDO DOIS SINAIS SIMULTANEAMENTE . © KEYSIGHT TECHNOLOGIES, INC.**

amostra, pois ele se repete continuamente da mesma forma, conforme mostra a figura 5. Nesta figura temos a representação de dois ciclos de uma corrente alternada.

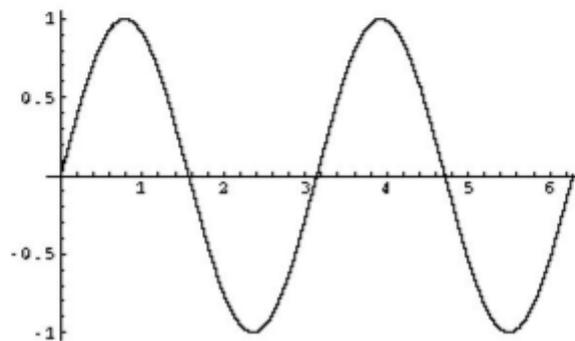


FIGURA 5 – REPRESENTAÇÃO DE DOIS CICLOS DE UMA CORRENTE ALTERNADA

Além dos fenômenos periódicos, existem fenômenos que ocorrem de uma forma rápida apenas uma vez, ou poucas vezes, não se repetindo mais ao longo do tempo. Estes fenômenos são denominados “transitórios”. Um exemplo disso é uma súbita variação da tensão da rede de energia que ocorre quando fechamos um interruptor, ou quando uma carga indutiva é desligada. Na figura 6 temos a representação deste tipo de fenômeno

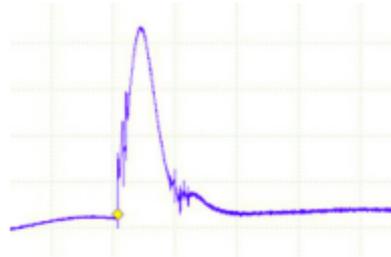


FIGURA 6 – TRANSIENTE ÚNICO

Na figura 7 temos um exemplo de transiente que se repete por algum tempo, para desaparecer em seguida.



FIGURA 7 – TRANSIENTE DO TIPO GERADO AO SE ACIONAR UM INTERRUPTOR QUE CONTROLA UMA CARGA INDUTIVA.  
© KEYSIGHT TECHNOLOGIES, INC.

## **Termos técnicos**

**Se alguns dos termos que estamos usando são pouco familiares ao leitor, recomendamos que antes leia os volumes 1 e 2 do nosso Curso de Eletrônica (Eletrônica Básica e Eletrônica Analógica). Os conhecimentos que eles trazem são fundamentais para que se possa entender o assunto deste livro.**

Para observar os dois tipos de fenômenos usando um osciloscópio, devem ser utilizadas técnicas diferentes, pois enquanto um está sempre presente num circuito, o outro só ocorre por um curto intervalo de tempo que, na maioria dos casos, não podemos saber exatamente quando.

Na prática, a observação dos dois tipos de fenômenos é de grande importância para a eletrônica e também para a física. Em especial, quando analisamos pulsos de interferências e ruídos em telecomunicações, ou ainda a qualidade da energia que é fornecida, a análise dos transientes é de vital importância.

Normalmente os osciloscópios comanda de

raios catódicos não têm recursos para visualizar os transientes. No entanto, os osciloscópios digitais como os da Keysight série 1000 e 2000 possuem memórias que podem detectar exatamente quando ocorre um transiente e memorizar a sua forma, apresentando-a no display para análise, quando precisarmos.

Na figura 8 temos um transiente registrado por um osciloscópio da Agilent.

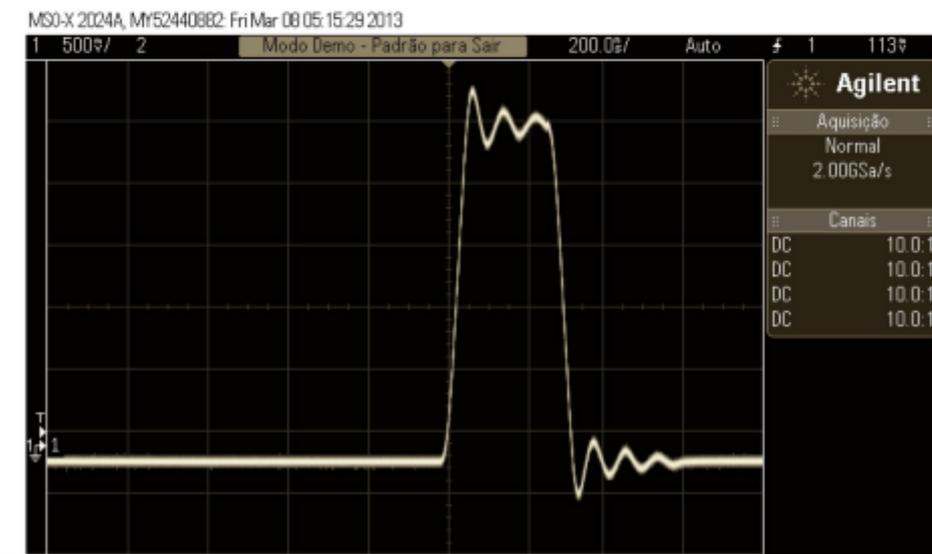


FIGURA 8 – REGISTRANDO UM TRANSIENTE. © KEYSIGHT TECHNOLOGIES, INC.

## **1.3 - A Senóide**

As oscilações naturais de muitos fenômenos são puras, ou seja, apresentam uma forma de onda senoidal. Dizemos que são puras porque podemos associar uma frequência única à sua composição.

Sons puros, oscilações livres ou movimentos harmônicos simples, sinais gerados por osciladores eletrônicos ideais têm uma forma de onda senoidal.

O que ocorre é que, segundo Fourier, qualquer forma de onda pode ser associada a uma forma de onda senoidal e suas harmônicas, ou seja, frequências múltiplas. Assim, a forma de onda senoidal seria a fundamental, e todas as outras formas podem ser geradas partir dela.

Um exemplo de forma de onda senoidal é a obtida de um gerador, como um alternador, onde uma bobina gira dentro do campo magnético criado por um ímã ou por uma segunda bobina, conforme mostra a figura 9.

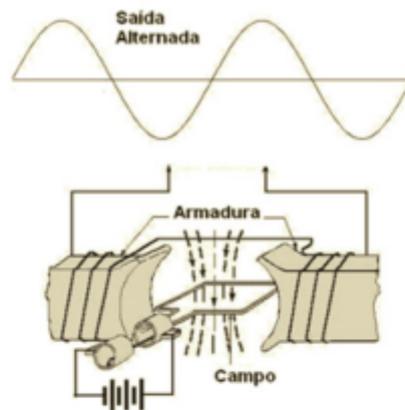


FIGURA 9 – UM ALTERNADOR GERA UMA CORRENTE ALTERNADA SENOIDAL.

Quando a bobina corta perpendicularmente as linhas do campo magnético temos a máxima tensão gerada e, quando corta paralelamente, não temos tensão. Assim, à medida que a bobina gira a tensão aumenta e diminui, invertendo de polaridade.

Em trigonometria, e também em eletricidade, é comum associarmos as formas de onda senoidais a um ponto que gira sobre um círculo, conforme mostra a figura 10.

Assim, cada ponto da senóide pode ser associado a um ângulo e um ciclo completo deste sinal senoidal corresponde sempre a um giro completo da espira ou 360 graus.

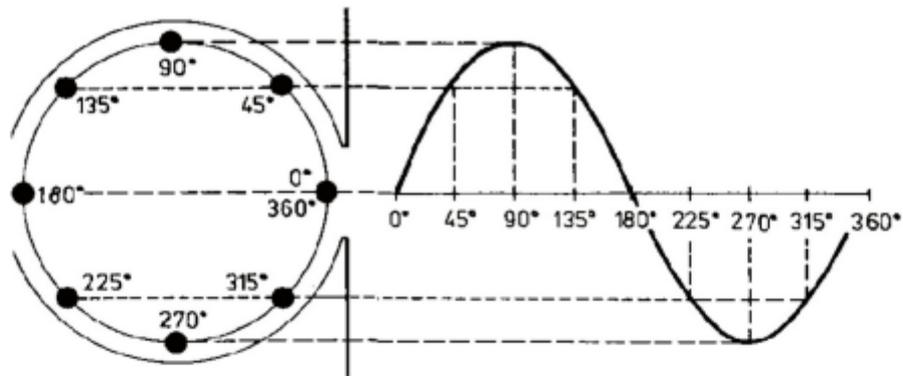
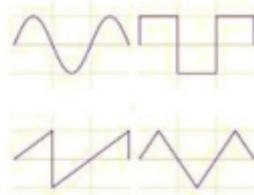


FIGURA 10 – OS ÂNGULOS QUE CORRESPONDEM AOS VALORES QUE A INTENSIDADE DA SENÓIDE ASSUME.

## 1.4 - Formas de Onda Complexas

Na prática, entretanto, as formas de onda que observamos nos fenômenos de todos os tipos, incluindo as correntes que passam nos circuitos eletrônicos não são sempre senoidais, conforme mostra a figura 11.



## FIGURA 11 - ALGUMAS FORMAS DE ONDAS ENCONTRADAS NOS CIRCUÍTOS ELETRÔNICOS

A forma de onda natural produzida pela oscilação de correntes num circuito é senoidal. Dizemos então que os sinais puros possuem formas de onda senoidais, conforme mostra a figura 12.

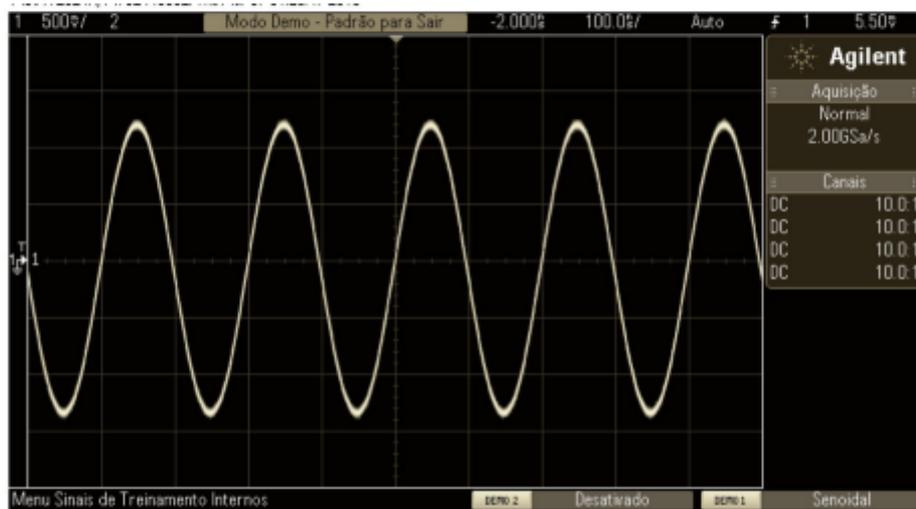


FIGURA 12 – UM SINAL PURO POSSUI UMA FORMA DE ONDA SENOIDAL. NA FIGURA TEMOS UM SINAL DESSE TIPO VISUALIZADO NUM OSCIOSCÓPIO.  
© KEYSIGHT TECHNOLOGIES, INC.

No entanto, por diversos motivos, tais como deficiências dos circuitos que geram estes

sinais, ou ainda suas próprias características próprias, a oscilação das correntes não segue um padrão senoidal. O sinal gerado se deforma em relação ao sinal puro, levando-os a apresentar uma forma de onda complexa.

Podemos ter formas de onda complexas tanto em circuitos de baixas como de altas frequências. No caso dos circuitos de baixa frequência nos interessa em especial os sinais de áudio que normalmente são encontrados em sistemas de comunicações, aparelhos de som, etc.

Um diapásão produz um som cuja forma de onda se aproxima bastante de uma senóide, sendo por isso utilizado na afinação de instrumentos e mesmo como referência para outras aplicações. Na figura 13 temos um diapásão.



FIGURA 13 – UM DIAPASÃO

No entanto outras fontes sonoras como, por exemplo, as cordas um violão, nossa voz e objetos quando batemos neles, não produzem sons cujas formas de onda sejam senoidais.

Nestes casos, temos a produção de formas ondas complexas, como a mostrada na figura 14.

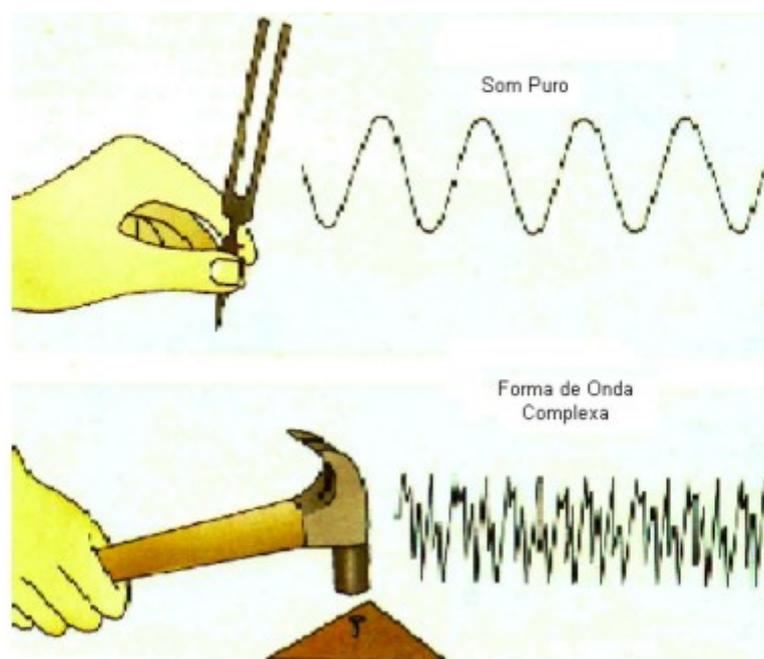


FIGURA 14 - FORMA DE ONDA COMPLEXA

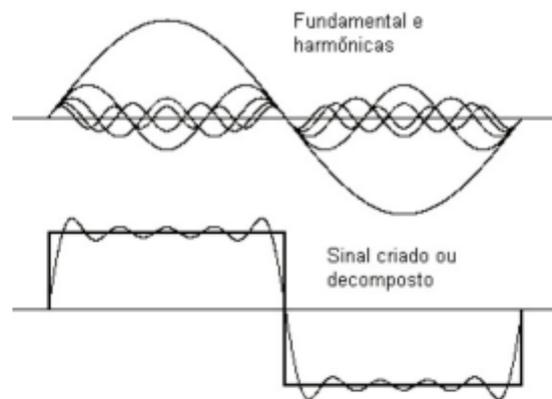
Isso ocorre porque quando tais objetos são excitados, não apenas um som ou onda sonora é produzido, mas diversos, de frequências diferentes que se superpõem

interferindo uns nos outros criando assim um padrão complexo como o exemplificado na figura 14.

Em outras palavras, estas formas de onda complexas são, na verdade, formadas pela superposição de diversas ondas de características diferentes.

Isso também pode ocorrer com os sinais gerados por um circuito eletrônico. Os circuitos, em lugar de gerar apenas uma frequência, que é a que desejamos operar, produzem juntamente com ela, diversos outros sinais de frequências diferentes que, se superpondo por interferência, geram um sinal complexo.

Um matemático Inglês chamado Fourier desenvolveu uma teoria muito importante para a análise de sinais complexos. Segundo Fourier, podemos decompor qualquer tipo de sinal periódico (que tenha frequência fixa) em sinais senoidais de uma frequência fundamental e harmônicas de intensidades diferentes, conforme mostra a figura 15.



**FIGURA 15 – UM SINAL QUALQUER PODE SER DECOMPOSTO OU CRIADO POR SINAIS SENOIDAIS DE FREQUÊNCIAS MÚLTIPLAS**

Isso significa que um sinal que não possua uma forma de onda senoidal, possui harmônicas de diversas intensidades que se estendem teoricamente até uma frequência infinita.

Na prática, acima de certo valor da harmônica, a sua intensidade é tão pequena que não tem efeito algum na determinação da forma de onda do sinal.

Para análise de sinais, esta teoria é de extrema importância, pois permite que qualquer forma de onda possa ser sintetizada ou analisada digitalmente com facilidade por circuitos como

microprocessadores ou DSPs (Digital Signal Processors ou Processadores Digitais de Sinais).

Na síntese basta indicar a intensidade do sinal fundamental e a intensidade de cada harmônica, para que o sinal seja produzido, e na análise basta dar a intensidade do sinal fundamental e das harmônicas até um valor desejado.

Nos circuitos que trabalham com sinais, a teoria de Fourier é de vital importância. Esta teoria nos leva ao que se denomina de “Transformada de Fourier” que é uma equação que permite representar qualquer tipo de sinal de forma simples, qualquer que seja a complexidade de sua forma de onda.



JEAN BAPTISTE JOSEPH FOURIER (1768 –  
1830)

Este matemático francês é que, através de suas séries, e de um novo tratamento para as funções periódicas, provou que qualquer forma de fenômeno periódico pode ser decomposta em séries harmônicas senoidais.

Em eletrônica isso significa que podemos sintetizar qualquer forma de sinal a partir de sinais senoidais, ou decompor qualquer sinal numa componente fundamental, e componentes harmônicas com intensidades

que correspondem à forma do sinal original. É muito comum, ao se analisar um sinal num osciloscópio, falarmos em “composição harmônica”, para e indicar a proporção em que os sinais de frequências múltiplas contribuem para a sua formação.

### **Dificuldades**

**Sugerimos aos leitores deste livro que estejam com dificuldades de entendimento que leia o Curso Eletrônica – Vol 1 – Eletrônica Básica e Vol 2 – Eletrônica Analógica, onde explicações mais detalhadas sobre formas de onda e oscilações são dadas. No livro Curso de Eletrônica – Vol 5 – Radiocomunicações, o leitor pode aprofundar-se ainda mais neste assunto.**

## **1.5 – Medidas de um sinal**

A primeira medida grandeza importante associada a um sinal é a frequência que numericamente é o número de vezes em cada segundo em que se completa um ciclo

da geração dessa energia. A frequência é medida em hertz (Hz).

A frequência está associada ao número de vezes em que um ciclo é completado em cada segundo. Veja no curso básico mais sobre sua medida, com os múltiplos usados, quilohertz, megahertz e gigahertz.

Se bem que a frequência, como demais grandezas, possa ser associada a qualquer fenômeno periódico, independentemente de sua forma de onda ser senoidal ou não, para efeito de estudos faremos sua análise tomando como referência uma forma de onda senoidal.

Na medida de um sinal também é importante o tempo que um ciclo completo leva para ser completado. Trata-se do período.

O período é o intervalo de tempo que dura um ciclo de um sinal. Sua unidade é o segundo, mas para se expressar sinais que duram muito pouco (rápidos ou de frequências muito altas) usamos seus submúltiplos como o milissegundo (0,001 s) ou ms; o microssegundo (0,000 001 s) ou  $\mu$ s; nanossegundo (0,000 000 001 s) ou ns e psicosegundo (0, 000 000 000 001 s) ou ps.

Assim, para um sinal ou uma corrente alternada cuja frequência é 60 Hz, por exemplo, o período ou tempo de um ciclo completo é  $1/60$  s, conforme mostra a figura 16.

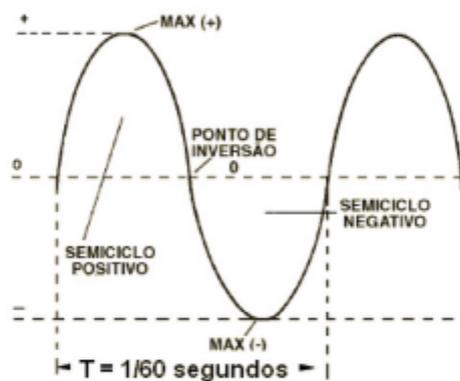


FIGURA 16 – A CORRENTE ALTERNADA DE 60 HZ TEM UM PERÍODO DE  $1/60$  SEGUNDO

Veja que “o período é o inverso da frequência” ou, escrevendo isso como fórmula:

$$T = 1/f$$

**Onde:**

T é o período (em segundos)

$f$  é a frequência (em hertz)

A amplitude de um sinal senoidal ou uma tensão alternada é expressa de diversas formas, conforme podemos observar pela figura 17.

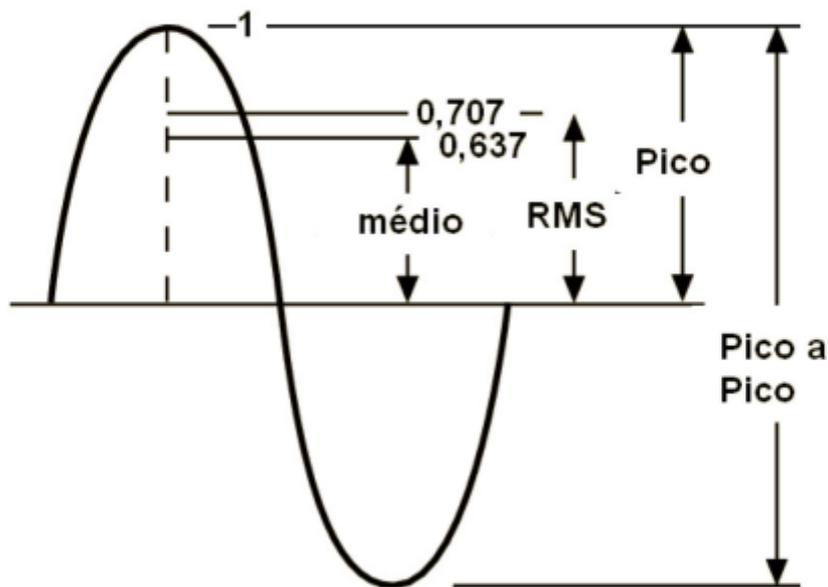


FIGURA 17 – VALORES NUMA SENÓIDE.

O valor máximo que a tensão atinge é o valor de pico. Indicamos esse valor por  $V_p$ . A média dos valores instantâneos que não é metade da tensão de pico, mas um pouco mais (0,637), devido à forma de onda

senoidal, nos dá o valor médio  $V_m$ .

No entanto, um valor muito importante é o “valor médio quadrático” ou “root mean square”, do inglês, que nos leva a abreviação  $V_{rms}$ . Este valor corresponde à raiz quadrada de 2 dividida por 2 vezes do valor máximo, ou conforme mostra a fórmula:

$$V_{rms} = 0,707 \times V_p$$

**Onde:**

$V_{rms}$  é a tensão média quadrática (em volts)

$V_p$  é a tensão de pico

0,707 é a raiz quadrada de 2 (1,41) dividido por 2

Veja que, levando em conta que a raiz quadrada de 2 é aproximadamente 1,41, dividindo esse valor por 2, obtemos 0,707. Isso significa que obtemos a tensão rms multiplicando a tensão de pico por 0,707. Da mesma forma, conhecendo a tensão rms obtemos o valor de pico, multiplicando-o por 1,41.

A tensão de “110 V” que encontramos na nossa rede de energia tem esse valor rms.

assim, no instante em que ela se encontra

no seu máximo, o pico vai a:

$$V_p = 1,41 \times 110 = 155,1 \text{ V}$$

O mesmo é válido para as intensidades de corrente: podemos falar em corrente de pico ( $I_p$ ), corrente média ( $I_m$ ) e corrente rms ( $I_{rms}$ ) num circuito.

Outro valor importante que devemos observar na representação de um sinal senoidal é a sua fase. A cada instante, dentro de um ciclo, o sinal tem certo valor. Este valor muda constantemente, dependendo da frequência da tensão alternada.

Conforme já explicamos, em certas aplicações é importante saber o valor que a tensão ou a corrente num circuito assume num certo instante dentro do ciclo.

Para esta finalidade o que se faz é dividir o ciclo em 360 graus (como numa circunferência) e indicar o instante por um ângulo entre 0 e 360, conforme o leitor poderá constatar pela figura 18.

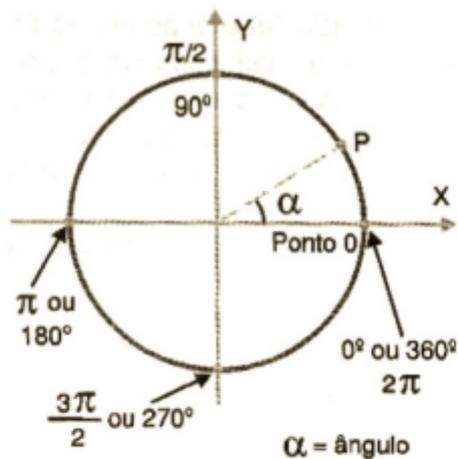


FIGURA 18 – AS MEDIDAS DO CÍRCULO TRIGONOMÉTRICO

Os 360 graus são adotados lembrando que um ciclo de um sinal senoidal, como a corrente alternada, pode ser associado uma volta completa das espiras de um alternador.

Dessa forma pode-se indicar o instante desejado num ciclo por um ângulo de fase, dado em graus.

Podemos também usar o mesmo conceito para comparar dois sinais que não estejam perfeitamente sincronizados, ou seja, que não atingem os pontos de máximo e mínimo no mesmo instante.

Dizemos que estes sinais estão “defasados” e

podemos indicar a diferença de fase entre elas por um ângulo, conforme pode ser observando se na figura 19.

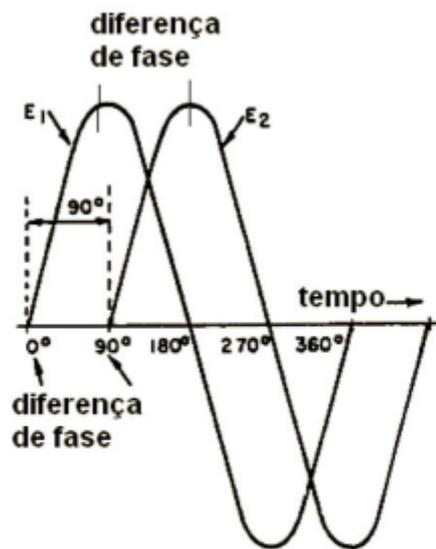


FIGURA 19 – DEFASAGEM ENTRE DUAS CORRENTES

Quando a diferença de fase entre duas correntes ou tensões é de 180 graus, dizemos que elas estão em oposição de fase: quando uma é positiva a outra é negativa e vice-versa, conforme mostra a figura 20.

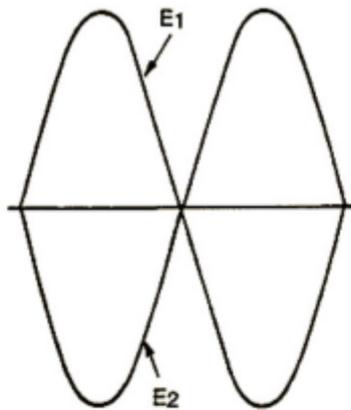


FIGURA 20 - DUAS TENSÕES EM OPOSIÇÃO DE FASE

Na figura 21 temos a visualização desses sinais num osciloscópio Agilent.

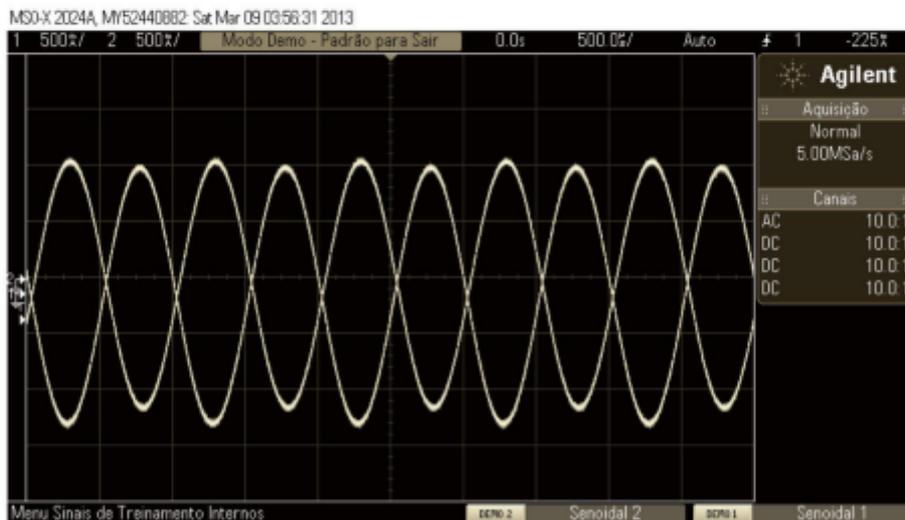


FIGURA 21 – VISUALIZAÇÃO NUM

OSCILOSCÓPIO KEYSIGHT DE DOIS  
SINAIS EM OPOSIÇÃO DE FASE. ©  
KEYSIGHT TECHNOLOGIES, INC.

Neste ponto é conveniente diferenciarmos os sinais que passam através de um circuito ou de meios de transmissão da energia que é transportada através de correntes alternadas, ambos tendo formas de onda que tanto podem ser senoidais como outras. Energia pode ser transportada de um lugar a outro, através de fios ou outros meios, utilizando-se uma corrente alternada. No entanto, as correntes alternadas também podem ser usadas para transportar informações.

É o que ocorre com circuitos de rádio onde conseguimos alterar as características de uma corrente alternada de frequência muito alta de modo que ela leve informações como voz, imagem, dados, etc.

Quando a corrente alternada é usada para transportar informações, dizemos que se trata de um “sinal”. Da mesma forma, correntes que tenham formas de onda complexas num circuito transportando sons, imagens, etc, também são chamados

de sinais.

No caso da rede de energia, as correntes são de baixa frequência, assim como no caso de correntes que correspondem aos sons, cujas frequências variam de 20 Hz a 20 000 Hz (20 kHz). No entanto, correntes de altas frequências, denominadas RF (rádio-frequências), podem chegar a bilhões de hertz (GHz) ou mesmo trilhões de hertz (THz).

### **Medidas elétricas**

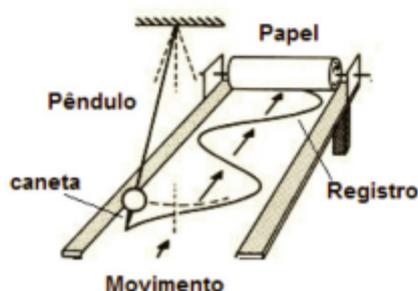
**Para os leitores que têm dificuldades com as medidas de grandezas elétricas, sugerimos consultar nosso livro Curso de Eletrônica – Eletrônica Básica**

# Capítulo 2 - O QUE É UM OSCILOSCÓPIO

## 2.1 - O Osciloscópio

A visualização de fenômenos periódicos pode ser feita de diversas maneiras. Podemos dar como exemplo um pêndulo que balança e desejamos registrar o fenômeno num papel. Para isso podemos utilizar um sistema mecânico simples que é mostrado na figura 22.

Prendemos no pêndulo uma caneta e deslocamos uma folha de papel com velocidade constante sob o pêndulo, de modo que ela “desenhe” a forma de onda correspondente ao movimento que desejamos registrar.



## FIGURA 22 – REGISTRANDO AS OSCILAÇÕES DE UM PÊNDBULO

É claro que, no caso dos fenômenos elétricos que ocorrem num circuito, como eles são muito rápidos, este método não se aplica. Para as variações dos sinais nos circuitos elétricos, devemos usar instrumentos especiais denominados osciloscópios, como o mostrado na figura 23.

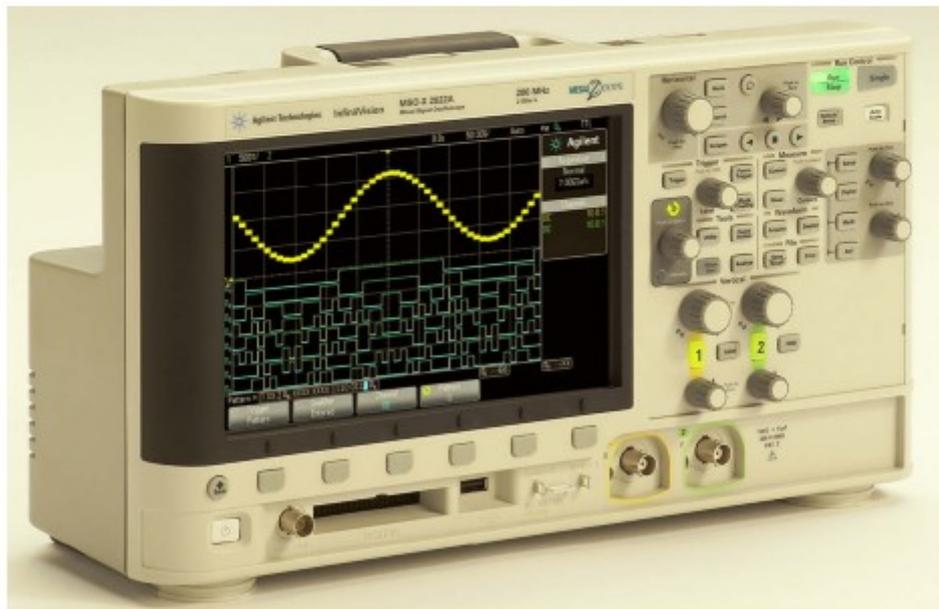


FIGURA 23 – UM OSCILOSCÓPIO KEYSIGHT DE DOIS CANAIS DA SÉRIE 2000X -  
IMAGENS: © KEYSIGHT TECHNOLOGIES,  
INC. 31/01/2013 - REPRODUCED WITH

PERMISSION, COURTESY OF KEYSIGHT  
TECHNOLOGIES, INC. (REPRODUZIDO COM  
A PERMISSÃO E CORTESIA DA KEYSIGHT  
TECHNOLOGIES, INC.)

O osciloscópio se destina a observação de sinais elétricos, mas com o uso de transdutores podemos observar outros tipos de sinais como correspondentes a sons, luz modulada, movimentos, etc.

Assim, ligando à entrada do osciloscópio um circuito que desejamos analisar ou ainda um transdutor, tal como um microfone, podemos observar a forma de sinais elétricos ou sons. A forma de onda a ser analisada é projetada numa tela.

Na figura 24 temos o sinal captado ao se ligar um microfone ao osciloscópio e produzir um som contínuo de voz, por exemplo, "Ahhhh".

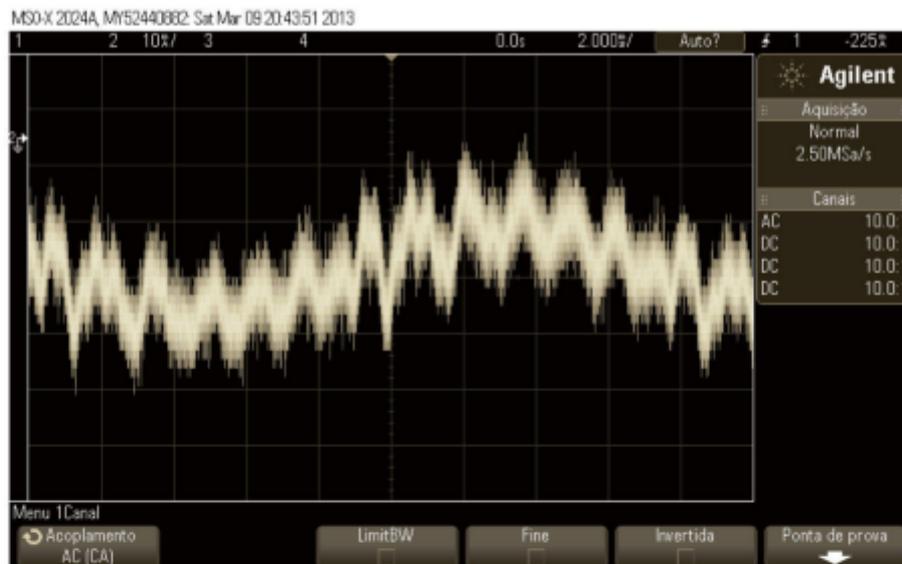


FIGURA 24 – SINAL CAPTURADO  
CORRESPONDENTE À VOZ HUMANA,  
USANDO UM MICROFONE. © KEYSIGHT  
TECHNOLOGIES, INC.

O primeiro tipo de osciloscópio que se tornou tradicional nas oficinas e bancadas de projetos é o osciloscópio de raios catódicos. Assim, ao analisar o funcionamento deste instrumento, partiremos desta versão.

O osciloscópio de raios catódicos não é uma criação recente. Sua invenção data de 1897 quando Ferdinand Braun propôs a utilização de um tubo de raios catódicos,

recém descoberto, para visualizar fenômenos elétricos.

Os aperfeiçoamentos do osciloscópio têm levado a versões cada vez mais completas e tipos acessíveis, além do uso de novas tecnologias.

Assim, como no caso dos televisores e dos monitores de vídeo, o tubo de raios catódicos está sendo substituído por displays de cristal líquido, LEDs e mesmo OLEDs e a tecnologia de captura e visualização dos sinais está passando para a forma digital, conforme veremos mais adiante.

O importante ainda é que muito mais eficientes e compactos, os osciloscópios digitais (amostragem digital), estão com os preços cada vez mais acessíveis.

Assim, mesmo os que possuam osciloscópios de tecnologias mais antigas, hoje podem ter em suas oficinas, em suas escolas ou mesmo em sua bancada de projetos particulares um osciloscópio digital ou osciloscópio de armazenamento digital (DSO – Digital Storage Oscilloscope).

Os dois tipos de osciloscópios fazem a mesma coisa basicamente: visualizar numa

tela a forma de onda um sinal ou um fenômeno periódico ou transitório. No entanto, a forma como fazem isso varia muito, segundo os recursos que possuem.

Neste livro analisaremos o princípio de funcionamento dos dois tipos, com exemplos que podem ser aplicados tanto aos osciloscópios analógicos como digitais.

No entanto, nas nossas ilustrações usaremos um osciloscópio de última geração, o modelo MSO-X-2024A da Agilent, que usamos em nosso laboratório para gerar as formas de onda apresentadas.

É claro que ensinaremos como obter as mesmas imagens em outros osciloscópios, se bem que possam não ter a mesma qualidade deste excelente instrumento.

Assim, para entender como funciona o osciloscópio iremos partir de sua história, começando com os tipos mais antigos que eram analógicos, utilizando tubos de raios catódicos ou TRC.

Os osciloscópios analógicos, ou de raios catódicos modernos, possuem recursos que permitem visualizar sinais cujas frequências vão desde fração de hertz, como as que correspondem aos batimentos cardíacos de

uma pessoa, até sinais da ordem de algumas centenas de megahertz que correspondem aos gerados por rádio-transmissores, sistemas de comunicações sem fio e outros. Da mesma forma, os tipos digitais que correspondem à última geração, podem ir além com a captura de formas de sinais, armazenamento em memória, emulação de instrumentos como um voltímetro e até enviar as imagens para um computador. Este recurso do MSO-X-2024A que utilizamos neste nosso trabalho é especialmente importante, pois permitiu que obtivéssemos as imagens para ilustrar este trabalho diretamente dele e as transferíssemos para o livro, sem precisar de qualquer tipo adicional de processamento.



KARL FERDINAND BRAUN (1850 —1918)  
INVENTOR DO OSCILOSCÓPIO,  
COMPARTILHOU O NOBEL DE FÍSICA COM  
GUGLIELMO MARCONI EM 1909.

## **2.2 - Os nomes do osciloscópio**

Na literatura técnica encontramos diversas denominações para este instrumento. Na verdade, como ocorre em muitos ramos da eletrônica em nosso país, os nomes em inglês são usados de maneira tão comum como os nomes em português, que então se misturam.

Assim, o mais comum é a tradução do termo inglês Oscilloscope que nos leva ao

conhecido Osciloscópio.

No entanto, encontramos termos simplificados e até mesmo apelidos. Podemos então encontrar a denominação “scope” como contração de osciloscópio e também acrônimos.

Por exemplo, para os osciloscópios com tubos de raios catódicos podemos encontrar CRO dignificando Cathode Ray Oscilloscope e DSO para Digital Storage Oscilloscope ou Osciloscópio de armazenamento digital.

Também encontramos o termo MSO de Mixed Signal Oscilloscope para designar os tipos que trabalham com sinais mistos. Estes osciloscópios consistem em MSOs com canais adicionais de analisadores lógicos.

### **Inglês Técnico**

**No site do autor, na seção “Inglês Para Eletrônica” o leitor encontrará muitos artigos que tratam deste importante tema.**

## **2.3 – Tipos de Osciloscópio**

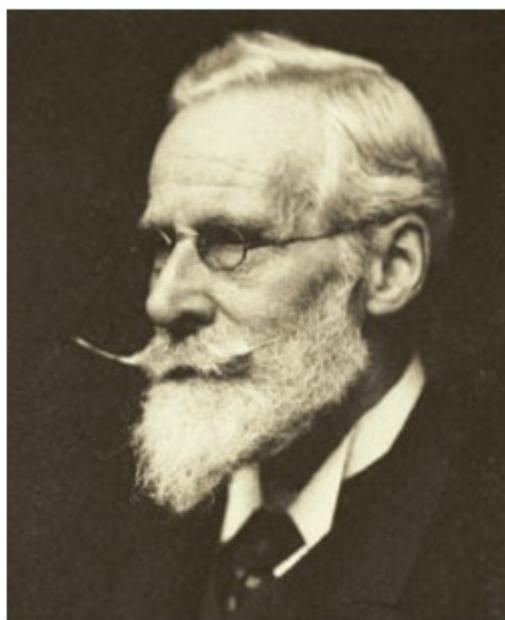
Conforme já explicamos no item anterior, os

osciloscópios mais tradicionais, já sendo superados pelas novas tecnologias digitais, são os que fazem uso de um Tubo de Raios Catódicos ou TRC (CRT – Cathode-Ray Tube, se usarmos o termo em inglês).

Observamos que, na terminologia dos osciloscópios, além dos nomes, existem muitos termos em inglês que são mantidos na forma original, mesmo em documentação técnica em português. Quando isso ocorrer, e existirem termos equivalentes em português, citaremos os dois.

Assim, para explicar como funciona um osciloscópio e também seu uso básico, neste livro partiremos dos osciloscópios analógicos com TRC (Tubos de Raios Catódicos) chegando aos tipos mais modernos de tecnologia digital como os DSOs (Digital Storage Oscilloscopes).

E para as ilustrações estaremos capturando as principais imagens num osciloscópio digital MSO-X-2024A da Agilent, cedido especialmente para a elaboração deste livro.



WILLIAM CROOKES (1832-1919) FOI QUEM  
DESCOBRIU OS RAIOS CATÓDICOS.  
COLOCANDO NUM TUBO DE VIDRO, ONDE  
FOI FEITO O VÁCUO, UM CATODO  
AQUECIDO POR UM FILAMENTO E UM  
ELETRODO EM FORMA DE CRUZ, ELE VIU  
QUE NA PARTE OPOSTA APARECIA UMA  
“SOMBRA” E ÁREAS CLARAS PRODUZIDAS  
PELA INCIDÊNCIA DE ELÉTRONS  
ACELERADOS. ESSES ELÉTRONS  
ACELERADOS RECEBERAM O NOME DE  
RAIOS CATÓDICOS E O TUBO EM QUE FOI  
FEITA A DEMONSTRAÇÃO DE SUA  
EXISTÊNCIA RECEBEU O NOME DE TUBO  
DE CROOKES.



## O TUBO DE CROOKES

Podemos encontrar no mercado especializado osciloscópios analógicos que possibilitam a observação de frequências que vão dos 20 MHz até mais de 500 MHz a um custo razoável.

É comum que estes osciloscópios sejam chamados analógicos ou ainda de tubos de raios catódicos (TRC), para serem diferenciados dos tipos digitais ou de amostragem digital (DSO).

Os tipos de amostragem digital podem registrar numa memória os sinais, para que eles sejam analisados posteriormente e até mesmo transferir as imagens para uma memória externa ou computador.

Um tipo de osciloscópio que também pode ser encontrado em algumas aplicações é o

que faz uso do computador. Uma placa de amostragem de sinais é ligada a um computador que então registra os sinais e os projeta na tela.

Seu princípio de funcionamento é o mesmo dos osciloscópios digitais, apenas com a diferença de que é usado o computador para processar e apresentar as imagens.

### **TV Como Osciloscópio**

**Recebemos constantemente pedidos de pessoas que desejam utilizar um televisor como osciloscópio, pois afinal possuem um tubo de raios catódicos. O que ocorre é que os televisores possuem tubos cuja resposta de frequência é lenta e que, portanto, só serviriam para observar sinais de muito baixas frequências, na faixa de áudio. Ao analisamos o funcionamento do osciloscópio nos próximos itens ficará claro o porquê de não podermos usar um televisor comum eficientemente como osciloscópio.**

## **2.4 - O Funcionamento do Osciloscópio**

Iniciamos nossos estudos do osciloscópio pelo tipo básico, que é o que tem por base um tubo de raios catódicos.

Este tubo foi utilizado em televisores e monitores de vídeo por muitos anos, mas agora está sendo substituído pelos displays de LEDs ou LCD. Este tubo projeta a imagem da forma de onda que deve ser observada numa tela recoberta de fósforo.

Partimos então da figura 25 em que temos um diagrama de blocos simplificado de um osciloscópio comum com tubos de raios catódicos ou TRC. Este diagrama contém as etapas básicas, já que, dependendo do tipo e custo, podem existir muitos blocos adicionais, com as mais diversas funções.

Posteriormente, analisaremos em detalhes os circuitos que encontramos nos osciloscópios, tanto nos tipos analógicos como digitais, para que tenhamos um instrumento completo.

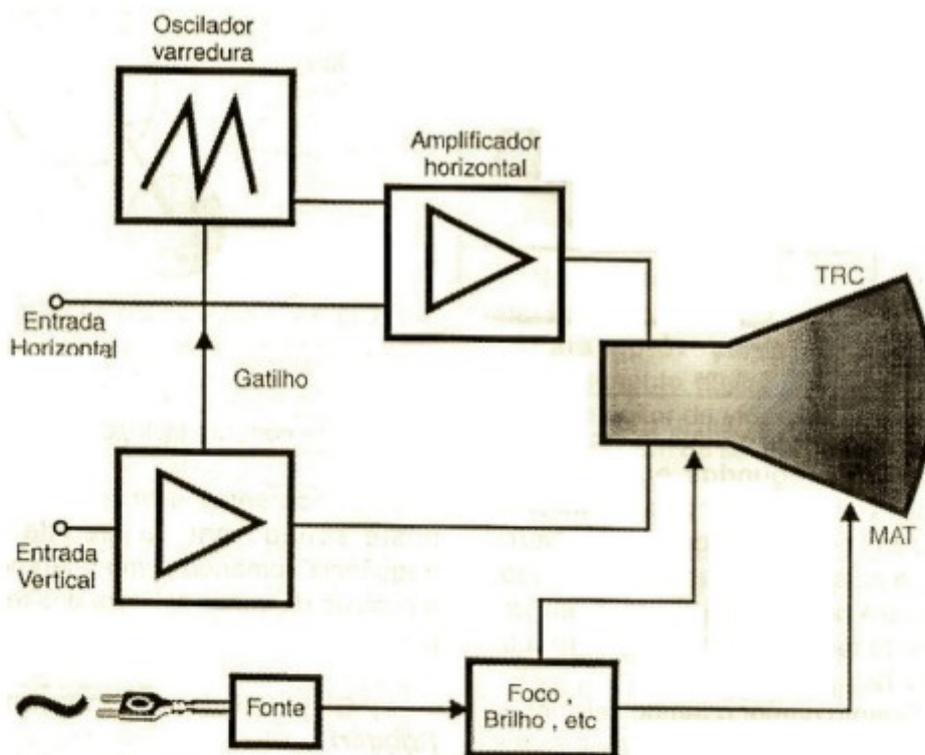


FIGURA 25 – DIAGRAMA DE BLOCOS DE UM OSCILOSCÓPIO BÁSICO

Assim, os osciloscópios podem ter as mais diversas configurações internas, com mais circuitos que o modelo básico e que visam aplicações específicas, por exemplo, o uso automotivo, telecomunicações, informática, etc.

Para efeito didático vamos tomar um osciloscópio de raios catódicos “mínimo”, ou seja, apenas com os circuitos básicos que

nos permita entender o seu princípio de funcionamento e partindo dele, chegaremos aos tipos mais avançados, incluindo os digitais.

O número de etapas que um osciloscópio possui e o tipo de circuito usado dependerá de sua aplicação e dos recursos adicionais que ele incorpora.

Além das etapas que processam o sinal e permitem sua visualização, que serão analisadas mais adiante, destacamos a fonte de alimentação especial que deve gerar tanto as baixas tensões para os circuitos eletrônicos, como a alta tensão para o cinescópio.

A alta tensão depende do tamanho do tubo de raios catódicos podendo ficar entre 1 200 e 5 000 volts para os tipos comuns.

Para entender melhor o princípio de funcionamento do osciloscópio analógico ou com tubo de raios catódicos partimos justamente do elemento básico, que é o tubo de raios catódicos ou TRC.

## 2.5 – O Tubo de Raios

### Catódicos

Na figura 26 temos uma vista simplificada de um tubo de raios catódicos a partir da qual iniciamos nosso estudo do osciloscópio analógico.

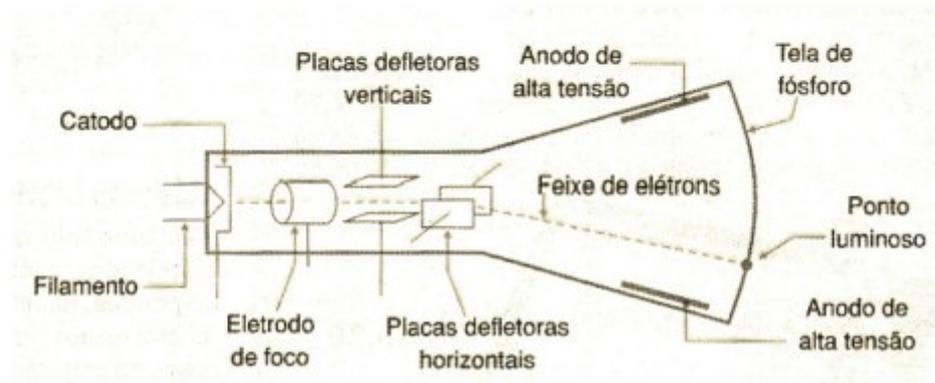


FIGURA 26 – ESTRUTURA DE UM TUBO DE RAIOS CATÓDICOS (TRC)

O TRC tem por base um tubo de vidro, com o formato indicado na figura, no interior do qual se produz o vácuo pela extração de todo ar.

Na parte posterior do tubo existe um filamento que, ao ser percorrido por uma corrente elétrica, aquece um eletrodo denominado catodo. O catodo é revestido de substâncias alcalinas que liberam elétrons

com facilidade.

Aplicando-se uma alta tensão do lado oposto do tubo, no eletrodo de anodo, que nada mais é do que o revestimento condutor interno do tubo, os elétrons liberados pelo catodo são acelerados em sua direção, formando assim um feixe.

Por esse motivo, a parte posterior do tubo, que “dispara” os elétrons, é denominada canhão eletrônico.

Para controlar o feixe de elétrons existem diversos eletrodos adicionais importantes.

Um primeiro eletrodo a ser considerado é o de foco que faz com que os elétrons disparados formem um feixe estreito, de modo que, ao incidirem no lado oposto do tubo, ele os faça numa área muito pequena, com as menores dimensões possíveis.

Isso é importante, pois é justamente ao incidir no lado oposto do tubo, a tela que é recoberta de fósforo, eles produzem um ponto luminoso que, ao se movimentar, desenhará as imagens que desejamos visualizar, conforme mostra a figura 27.

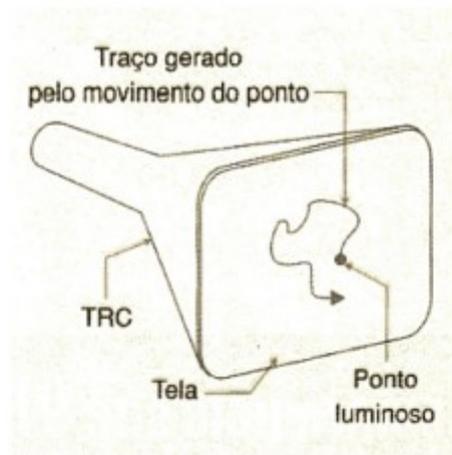


FIGURA 27 – MOVIMENTO DO PONTO LUMINOSO GERANDO IMAGENS NA TELA DE UM TRC.

No pescoço do tubo de raios catódicos encontramos dois conjuntos de placas, um colocado na posição horizontal e outro na posição vertical.

Quando o feixe de elétrons, que é formado por partículas negativas, passa por entre essas placas, uma tensão aplicada nelas pode provocar uma deflexão do feixe, ou seja, mudar a trajetória dos elétrons, conforme mostra a figura 28.

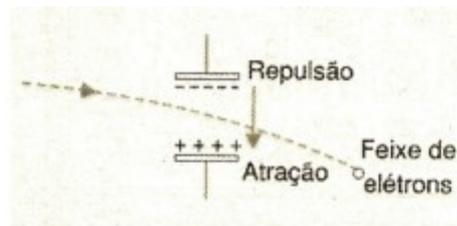


FIGURA 28 – A DEFLEXÃO ELETROSTÁTICA DE UM FEIXE DE ELÉTRONS.

Isso significa que, se nas placas defletoras horizontais, aplicarmos uma tensão de modo que uma fique positiva e outra negativa, o feixe é repelido pela negativa e atraído pela positiva. Dessa forma, ele se curva em direção à positiva, conforme mostra a mesma figura.

Veja que, controlando a tensão nessas placas, podemos modificar no sentido horizontal a trajetória do feixe, fazendo-o incidir em qualquer ponto de uma linha horizontal na tela, conforme mostra a figura 29.

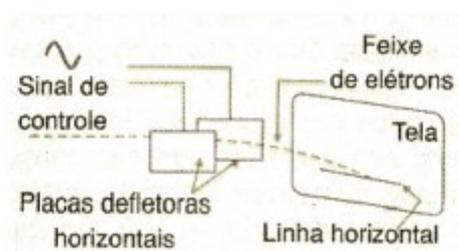


FIGURA 29 – A DEFLEXÃO HORIZONTAL  
DO FEIXE DE ELÉTRONS.

Por esse motivo, estas placas são denominadas de “deflexão horizontal” ou simplesmente placas horizontais.

Da mesma forma, podemos deflexionar o feixe no sentido vertical, aplicando tensões apropriadas nas placas verticais, conforme mostra a figura 30.

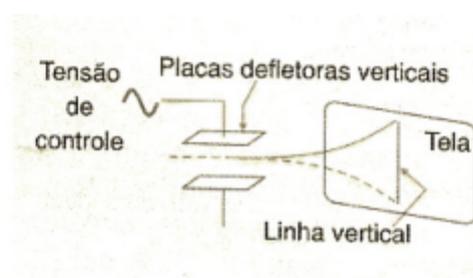
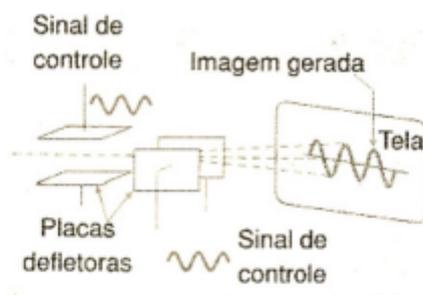


FIGURA 30 – A DEFLEXÃO VERTICAL DO  
FEIXE DE ELÉTRONS.

Estas placas de deflexão vertical permitem então levar o feixe a produzir pontos em qualquer lugar de uma linha vertical na tela. Combinando as tensões dos dois conjuntos de placas podemos fazer com que o feixe de elétrons incida em qualquer ponto da tela. Assim, movimentando o ponto luminoso na tela, através destas tensões, podemos

desenhar qualquer imagem que desejarmos, conforme mostra a figura 31.



**FIGURA 31 – COMBINANDO A DEFLEXÃO VERTICAL E HORIZONTAL.**

Ligando o tubo de raios catódicos a circuitos apropriados, podemos usá-lo para visualizar fenômenos elétricos dinâmicos que ocorram num circuito, ou mesmo fenômenos físicos de outras naturezas, com o uso de transdutores apropriados.

O tipo de deflexão que estudamos é a denominada deflexão eletrostática, pois a direção do feixe de elétrons é alterada pelo campo elétrico criado entre as placas. No entanto é possível ter uma deflexão eletrodinâmica.

Esta deflexão, através de campos magnéticos, é encontrada em cinescópios de televisores analógicos antigos que, pela sua construção, precisam ter tubos curtos,

diferentemente dos tubos dos osciloscópios que são longos, conforme mostra a figura 32.



FIGURA 32 - TRC DE TV E DE  
OSCILOSCÓPIO

Assim, no pescoço dos cinescópios de TV, que também são tubos de raios catódicos, encontramos bobinas defletoras, denominadas “yokes”.

### **TV Analógica**

**Tanto a TV analógica como os osciloscópios com TRC tendem a desaparecer, substituídos por equipamentos equivalentes de tecnologia digital.**

## **2.6 – Persistência Retiniana e Efeito Estroboscópico**

Para entendermos como nosso cérebro interpreta as imagens que vemos na tela do osciloscópio sob diversas condições, é interessante analisar o que é o efeito estroboscópico e a persistência retiniana.

Imagine um ambiente completamente escuro em que existe uma lâmpada comum que pisque numa determinada frequência. Se você pedir para uma pessoa caminhar neste ambiente, você só vai conseguir vê-la nos breves instantes em que a lâmpada estiver acesa.

Isso significa que você não vai ver a pessoa caminhando, mas vai vê-la como se ela tivesse sido “fotografada” em locais que mudam sucessivamente à medida que ela se desloca no ambiente, conforme mostra a figura 33.



FIGURA 33 – NESTA FOTO DA CANON (IMAGEM INTERNET), A MESMA PESSOA É FOTOGRAFADA EM INTERVALOS MUITO CURTOS, DANDO A IMPRESSÃO DE QUE SÃO DIVERSAS PESSOAS, EXATAMENTE COMO NOSSO CÉREBRO INTERPRETARIA A CENA SOB A ILUMINAÇÃO DE UMA LÂMPADA QUE PISCASSE RAPIDAMENTE. O movimento da pessoa será então visto “aos soquinhos” e não de uma forma contínua. É exatamente isso que ocorre nos bailes e casas noturnas quando somos iluminados por uma luz estroboscópica que pisca rapidamente. Vamos agora mudar o movimento da

pessoa, pedindo que ela dê um passo para frente e um para trás, repetindo continuamente este movimento. Se a pessoa fizer isso lentamente, veremos novamente a pessoa se movimentar aos soquinhos, indo e voltando conforme mostra a figura 34.



FIGURA 34 – PARALISANDO UMA IMAGEM EM DOIS PONTOS

Se pedirmos que a pessoa acelere gradualmente este movimento, vai chegar o instante em que a lâmpada pisca justamente quando ela estiver na posição A e depois na posição B, conforme mostra a figura 35.

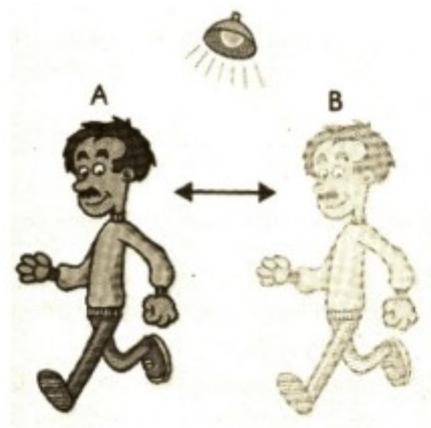


FIGURA 35 – A IMAGEM PARALISADA EM UM PONTO

Como só podemos ver a pessoa nos instantes em que a lâmpada está acesa, a imagem que nossos olhos perceberão será interessante: veremos duas pessoas, uma em A e outra em B.

Indo além se a pessoa for suficientemente rápida, ela conseguirá alcançar a frequência das piscadas da lâmpada de tal forma, que a lâmpada sempre piscará quando ela estiver na posição A.

Teremos então a imagem da pessoa paralisada em A, pois não veremos mais quando ela vai até B e volta (pois isso ocorre no intervalo em que a lâmpada está apagada).

Em outras palavras, nestas condições conseguiremos “paralisar” ou “congelar” o movimento da pessoa, mesmo que ela continue se movimento!

Este efeito é muito importante no caso do osciloscópio, pois se tivermos um fenômeno que mude rapidamente, a ponto da sua projeção na tela impedir que o vejamos, podemos paralisá-lo com o uso de uma projeção que varie numa frequência apropriada.

Em outras palavras, podemos sincronizar o movimento da pessoa com o modo como osciloscópio produz sua imagem e assim o paralisamos. Isso possibilitará a observação do fenômeno, como se ele estivesse parado.

O efeito que vimos pode ser ainda mais acentuado se considerarmos uma característica da visão humana denominada “persistência retiniana”.

Para isso, temos ainda um fenômeno a ser considerado.

Nossos olhos não conseguem separar eventos que ocorram num intervalo de tempo menor que  $1/10$  de segundo.

Se uma lâmpada piscar numa frequência menor que aproximadamente 10 Hz (10

piscadas por segundo ou 1/10 de segundo para cada piscada) distinguiremos perfeitamente estas piscadas. No entanto, se as piscadas forem mais rápidas, não as conseguiremos separar e veremos a lâmpada acesa continuamente.

Isso ocorre com a TV analógica em que as imagens estão mudando a razão de 60 por segundo, mas nossa visão não consegue perceber isso. É como se 60 fotos fossem projetadas em cada segundo na tela do televisor.

### **Quadros e campos**

**Na verdade, são projetados 30 quadros por segundo, cada um dividido em dois campos com metade das linhas que formam a imagem, ou seja, temos 60 campos por segundo no nosso país em que se aproveita a frequência da rede de 60 Hz para o sincronismo.**

Não conseguimos perceber esta mudança rápida das “fotos”, mas tão somente as mudanças de posição dos objetos dando-se a impressão de movimento.

Assim, se no caso da lâmpada que ilumina a pessoa que “vai e vem” as piscadas ocorrerem numa velocidade maior que 10 Hz, veremos a pessoa parada e a lâmpada acesa (sem piscar).

Da mesma forma, se a imagem for projetada na tela de um osciloscópio, mesmo que ela mude de posição de forma dinâmica, veremos como se estivesse parada.

Este é o efeito estroboscópico, que pode ser observado em muitos outros casos. Um deles pode ser até observado com uma simples experiência: se tivermos uma roda raiada ou uma hélice que gire diante de uma lâmpada que pisca, só veremos os raios nas posições em que a lâmpada está acesa.

Se o movimento estiver sincronizado com as piscadas, a roda parecerá parada. Se o movimento tiver uma velocidade um pouco maior do que a das piscadas, a roda parecerá girar para trás.

Você pode fazer uma experiência muito simples para comprovar isso, levando em conta justamente as piscadas ou mudanças da tela da TV analógica (não serve digital) e uma hélice de papelão.

Gire-a diante da TV. Dependendo da

velocidade, a hélice em determinados instantes estará parada, estará girando “para frente” ou girando “para trás”, conforme mostra a figura 36.

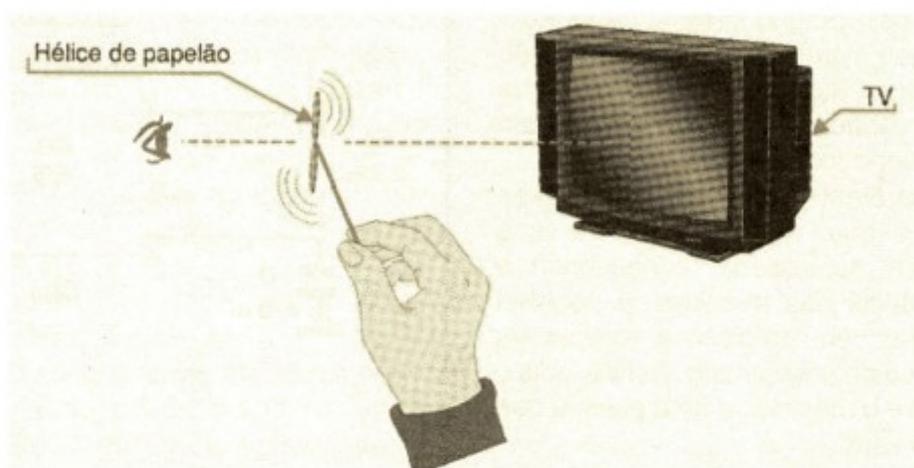


FIGURA 36 – EXPERIÊNCIA SIMPLES PARA SE VISUALIZAR O EFEITO ESTROBOSCÓPICO

Por este motivo é que nos filmes projetados em TV, onde aparecem rodas raiadas ou hélices, elas parecem às vezes estar paradas ou girando ao contrário. É a combinação de seu movimento com a velocidade com que sua imagem é tomada pela câmera.

## 2.7 – Fósforos

A persistência da imagem na tela de um osciloscópio de raios catódicos depende do tipo de fósforo que ela utiliza.

O que ocorre é que, quando o feixe de elétrons incide na tela, o ponto em que isso ocorre ainda brilha por algum tempo, depois que o feixe desaparece ou muda de posição.

Assim, do mesmo modo que é necessário que tenhamos o efeito da persistência retiniana para que nosso cérebro interprete uma imagem que se move como tendo um movimento contínuo, a persistência do fósforo da tela também é importante.

Numa imagem de TV, as cenas mudam rapidamente e a imagem precisa acompanhar isso. Assim, a persistência do fósforo que cobre a tela deve ser pequena. No caso dos osciloscópios, existem diversos tipos de fósforos, pois as imagens podem mudar em velocidades diferentes.

Isso significa que um fósforo de alta persistência deve ser usado num osciloscópio que monitora sinais lentos,

como os que ocorrem quando o aparelho é usado em aplicações médicas (batimento cardíaco, por exemplo).

Um fósforo de baixa persistência, por outro lado, deve ser usado quando observamos fenômenos muito rápidos, como sinais de alta frequência, por exemplo.

A tabela abaixo relaciona os tipos de fósforos mais comuns. Nela denominamos “fluorescência” a emissão de luz pelo impacto dos elétrons o que é diferente de “fosforescência” que é a emissão de luz pelo material que ocorre depois que ele deixa de ser excitado.

Nessa tabela, definimos decaimento como a perda da intensidade em porcentagem por milissegundo. Por exemplo, um fósforo de decaimento 50 precisa de 50 milissegundos para que sua intensidade caia a 0,1% do brilho máximo.

<b>Tipo de fósforo</b>	<b>Fluorescência</b>	<b>Luminância relativa (%)</b>	<b>Decaimento (%/ms)</b>
P1	Verde-amarelada	50	95
P2	Verde-azulado	55	120
P4	Branco	50	20
P7	Azul	35	1200
P11	Azul-Púrpura	15	20
P31	Verde-amarelado	100	32

O fósforo normalmente utilizado nos tubos de raios catódicos de osciloscópios é o P31. Devemos lembrar que um feixe de alta intensidade não pode incidir por muito tempo num único ponto de uma tela. Um ponto que fique parado num único ponto “marca” a tela, queimando-a. Vemos isso em monitores de vídeo antigos, em que mantendo uma imagem parada por muito tempo, essa imagem fica registrada num tubo, queimando o fósforo da tela. Vemos

isso em monitores que foram usados em caixas de banco, onde um logotipo fica marcado.

É por esse motivo que são usados os “salva telas”, ou “screen savers” que são imagens que se movimentam na tela, quando o computador não está sendo usado, de modo que uma imagem única, com pontos claros incidindo num mesmo local, não cause uma queima irregular do fósforo, marcando a tela.

**Screen savers**  
**O efeito de marcar a tela também**  
**pode ser observado em alguns tipos**  
**de displays digitais, daí a**  
**necessidade dos screen savers.**

Por este motivo, para preservar a qualidade da imagem de um osciloscópio analógico é importante fazer o ajuste correto da intensidade do feixe “brilho” para prolongar a vida útil de um tubo de raios catódicos.

Outro fenômeno importante que ocorre nos tubos de raios catódicos é a emissão secundária. Quando os elétrons incidem na camada de fósforo, com o impacto, eles

provocam a liberação de mais elétrons que, pela sua carga negativa, tendem a dispersar o feixe por repulsão.

Este fenômeno pode ser evitado com a colocação no interior do tubo de uma camada condutora à base de grafite, denominada aquadag. Esta camada capta os elétrons que são emitidos pelo fósforo.

Para dotar esta camada de uma elevada tensão positiva, ela é ligada ao segundo anodo acelerador. Na figura 37 mostramos esta camada.

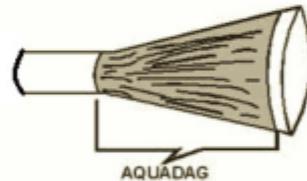


FIGURA 37 – CAMADA QUE ABSORVE OS ELÉTRONS RESULTANTES DA EMISSÃO SECUNDÁRIA

Nos osciloscópios digitais não temos um feixe de elétrons correndo numa tela para produzir as imagens. As imagens são produzidas ponto a ponto (pixéis) através de elementos discretos numa tela (display). Estes pontos são excitados por um circuito

de varredura digital (matricial) controlado por um DSP (Veja mais sobre DSPs ou Processadores Digitais de Sinais no final do livro) ou microcontrolador.

No entanto, nossos olhos operam de forma analógica de modo que uma imagem digital deve ter as mesmas características da imagem analógica dos osciloscópios com tubos de raios catódicos.

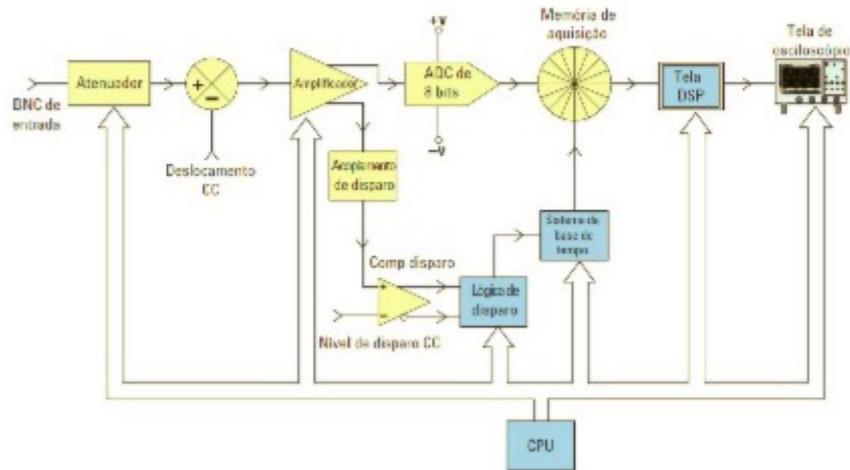
Assim, a imagem é gerada e apresentada na tela ponto a ponto formando também quadros que se renovam segundo uma taxa que depende do tipo de aparelho.

Evidentemente, esta taxa deve ser escolhida de modo a ser suficientemente rápida para que tenhamos um efeito de imagem contínua que se modifica conforme o próprio fenômeno observado se altera.

Desta forma, se bem que os sinais de entrada que desejamos observar sejam os mesmos e as imagens obtidas num display sejam as mesmas de um osciloscópio com tubo de raios catódicos, os circuitos internos são diferentes.

Na figura 38 temos então os blocos de um osciloscópio de armazenamento digital (DSO), como o que tomaremos por base para

nossas explicações.



# Osciloscópio – Primeiros Passos

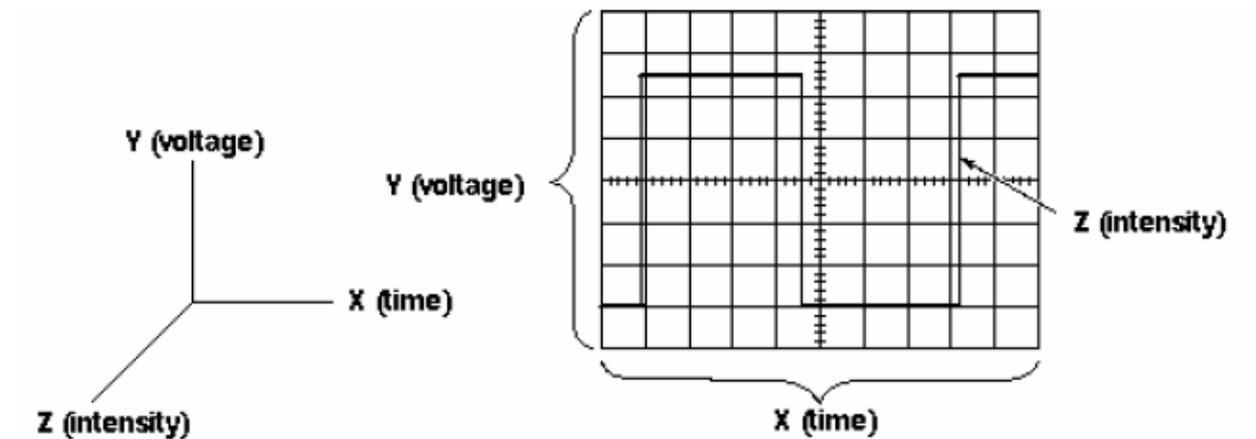
## 2ª Parte

### Sumário

- O que é um osciloscópio?
- O que podemos medir com um osciloscópio?
- Como funciona o osciloscópio?

## O que é um Osciloscópio?

- Instrumento que permite observar e caracterizar quantitativamente sinais eléctricos (tensões) variáveis no tempo.



## O que podemos medir com um Osciloscópio?

- A forma de onda de uma tensão eléctrica;
- Os valores das amplitudes;
- Os valores das componentes DC e AC;
- Os valores temporais: frequência, *duty cycle*;
- A diferença de fase entre dois sinais.



## O que podemos medir com um Osciloscópio?

● Utilidade não se limita ao mundo da electrónica – com o transdutor apropriado podemos caracterizar qualquer variável física:

- Transdutor piezoeléctrico - Força;
- Microfone – Intensidade sonora;
- Célula foto-voltaica – Intensidade luminosa
- ...



Light Source

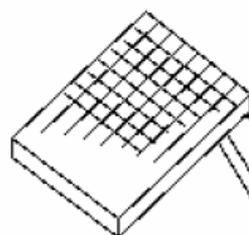
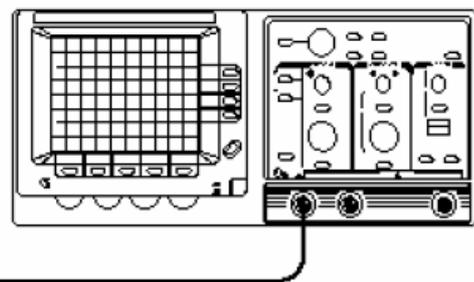
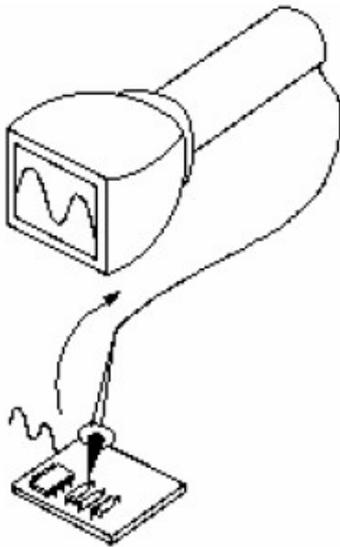


Photo Cell

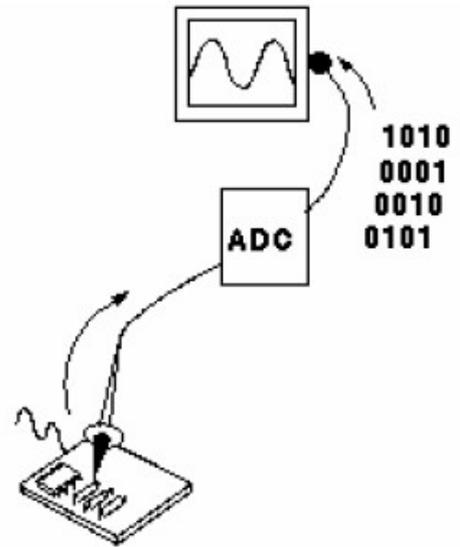


## Como funciona o Osciloscópio?

### Analógico



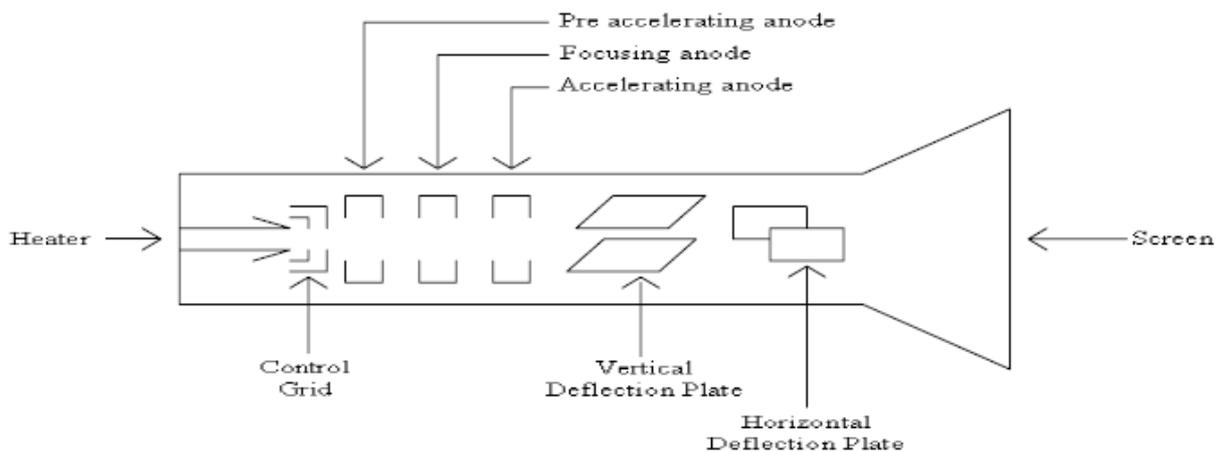
### Digital



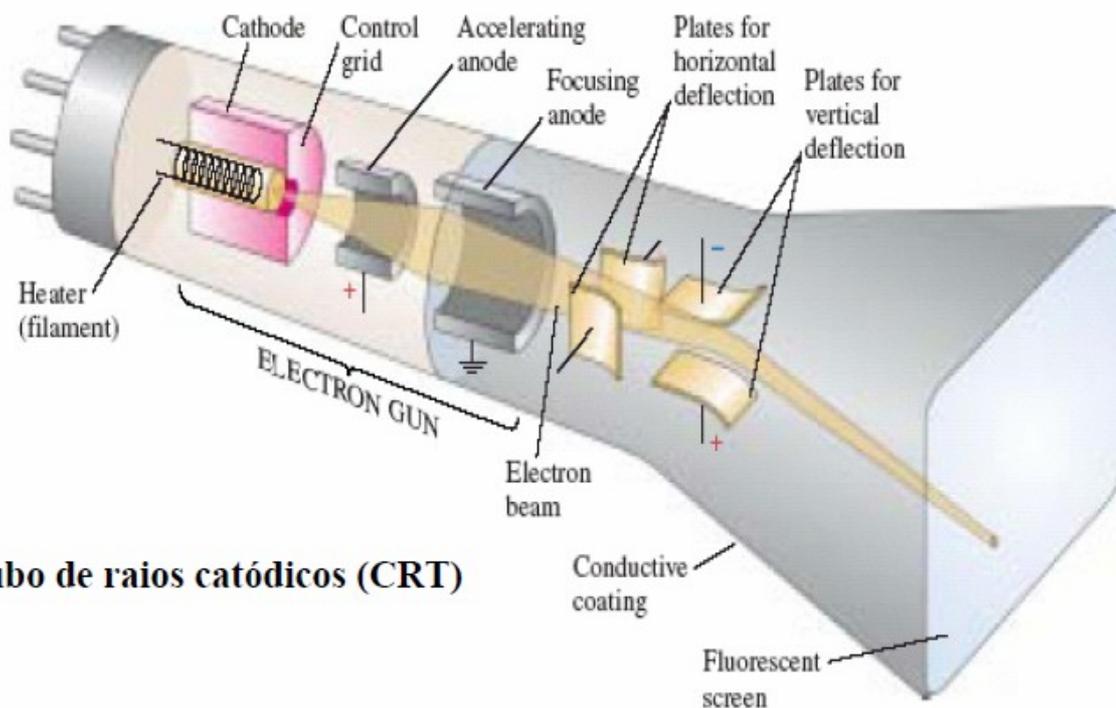
## Osciloscópio analógico

● A peça fundamental do osciloscópio analógico é o tubo de raios catódicos (CRT). Este é constituído por:

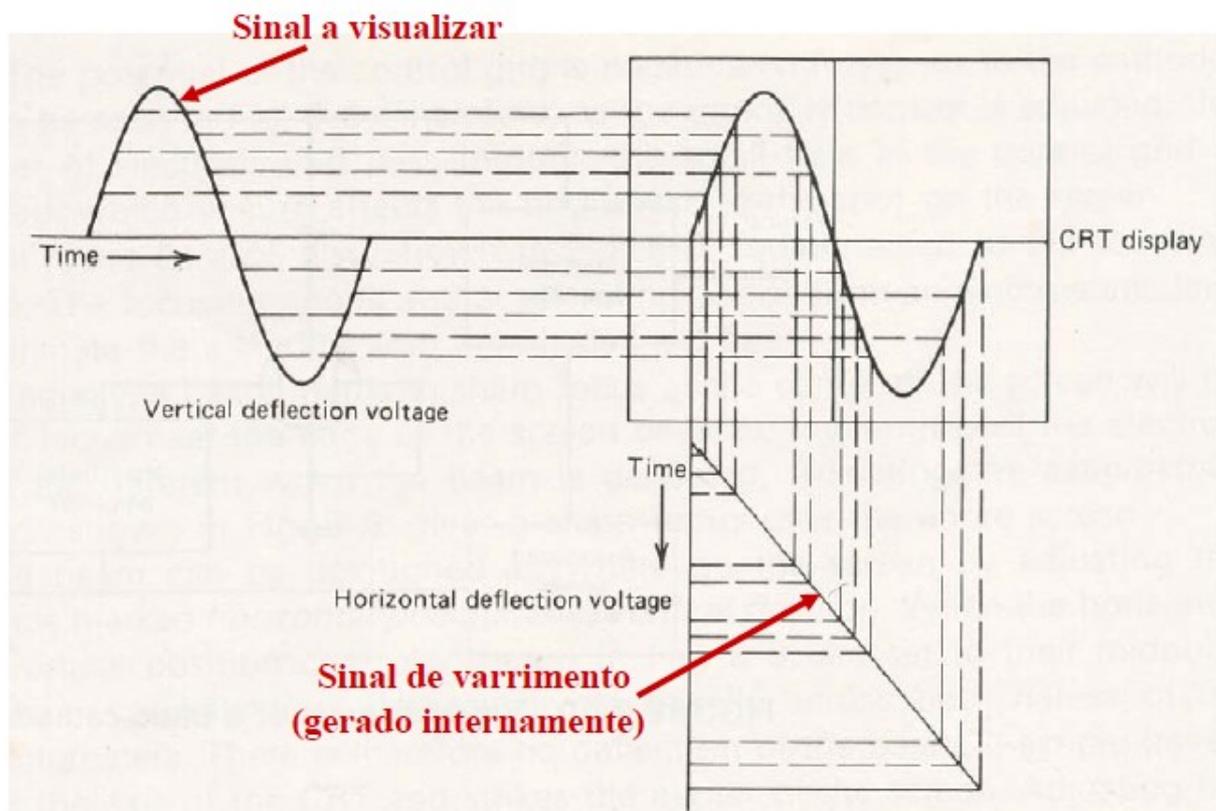
- Um canhão de electrões (vários KVolts);
- Elementos de aceleração e focagem (feixe concentrado de electrões);
- Eléctrodos de deflecção vertical e horizontal;
- Um ecrã revestido de um material (fosforescente) que se ilumina quando atingido pelo feixe de electrões.



## Osciloscópio analógico

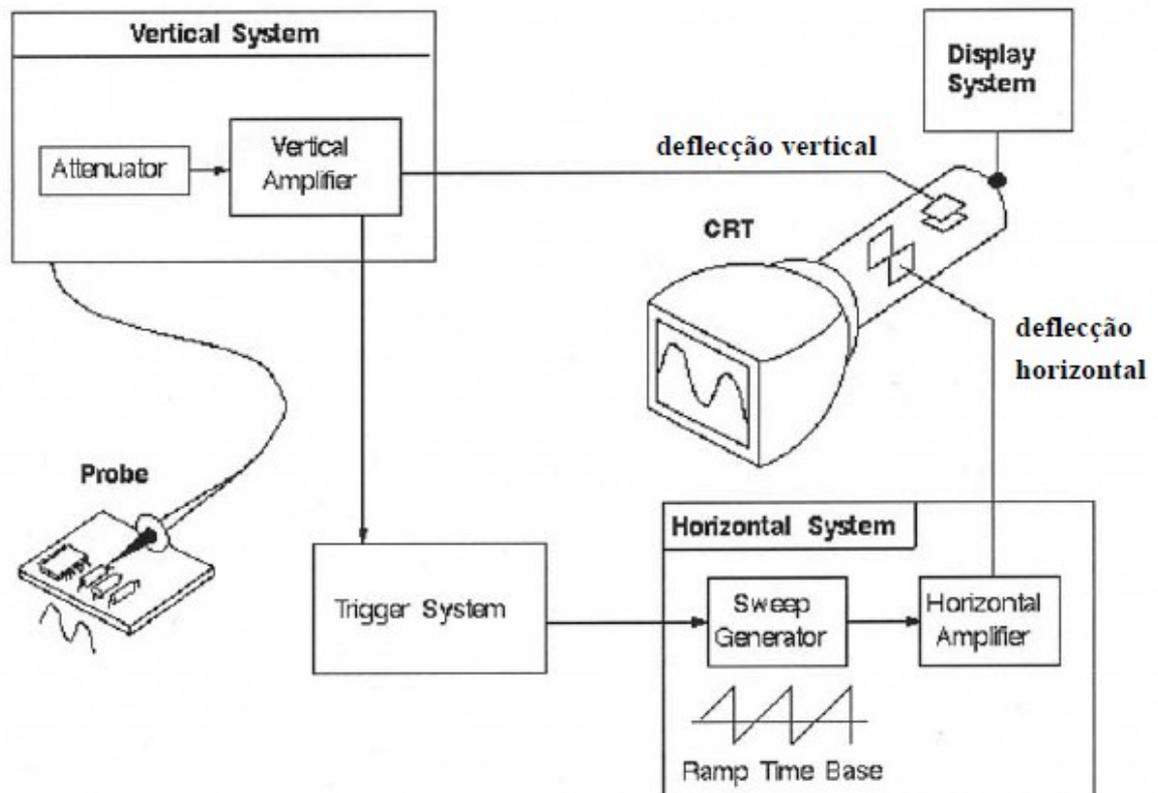


## Osciloscópio analógico



# Osciloscópio analógico

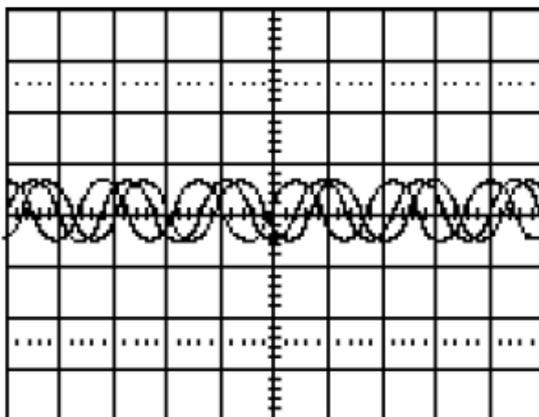
## Diagrama de blocos



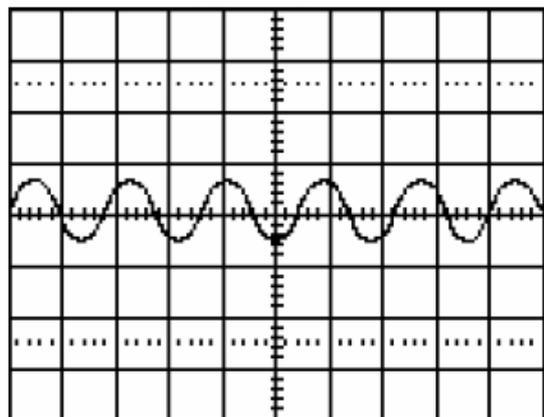
## Osciloscópio analógico

- **Sistema de Trigger** – garante que o varrimento horizontal começa sempre no mesmo ponto do sinal a visualizar (imagem estabilizada).

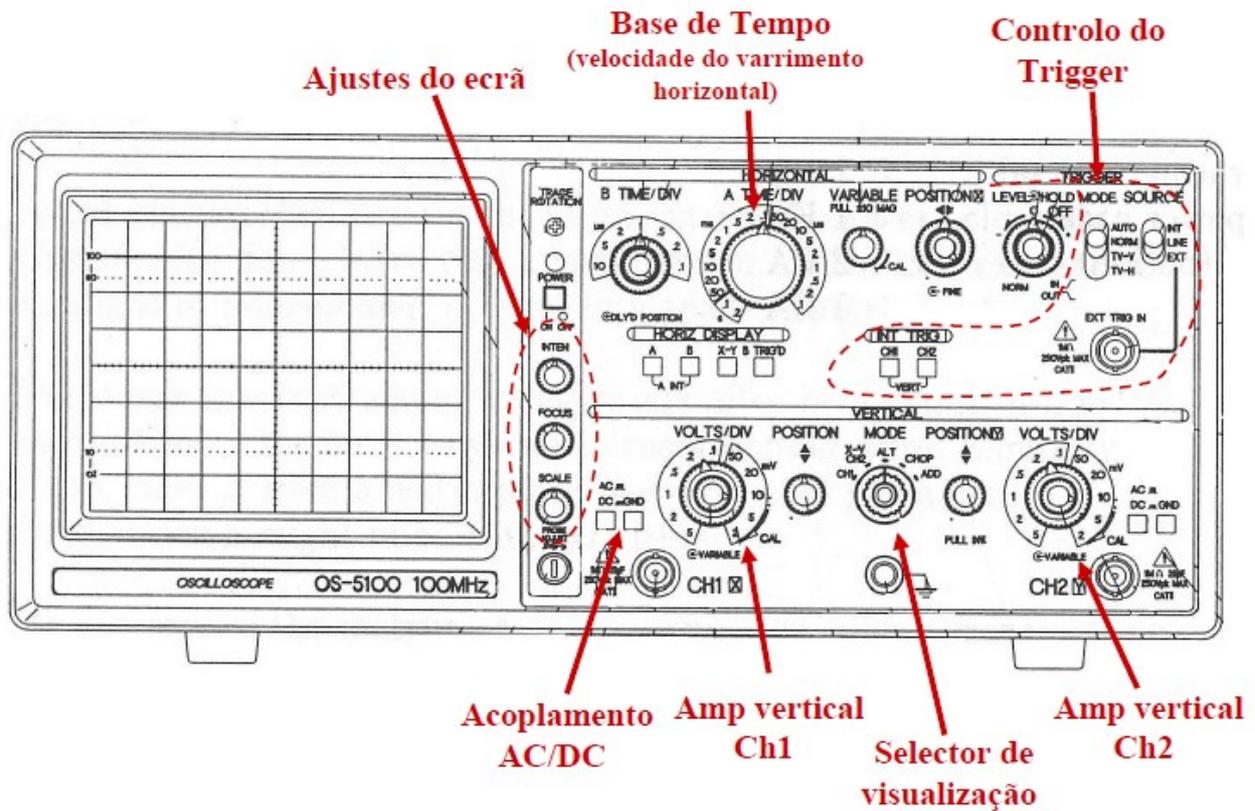
**Trigger não ajustado**



**Trigger ajustado**

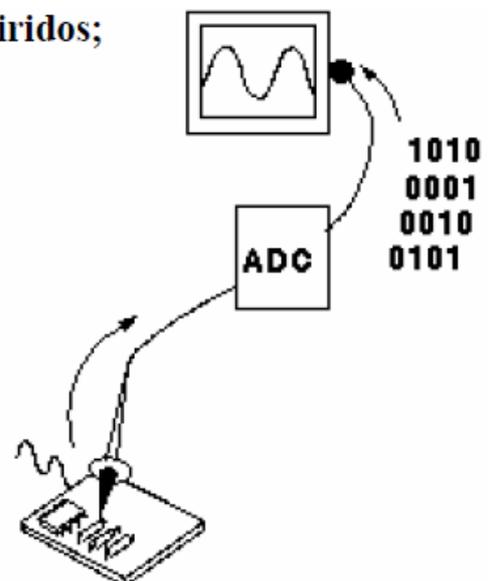


## Osciloscópio do Lab 214



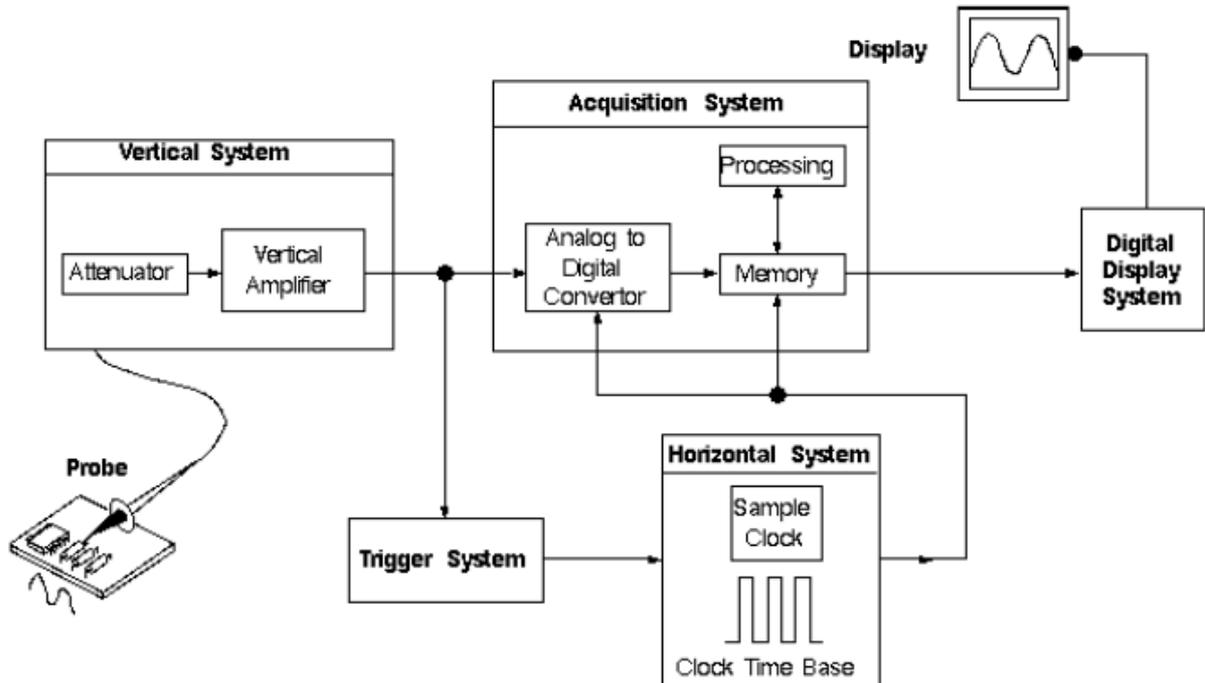
## Osciloscópio digital

- Visualização de sinais em tempo real e captura de eventos (sinais não repetitivos);
- Medição e processamento dos sinais adquiridos;
- Registo de sinais;



# Osciloscópio digital

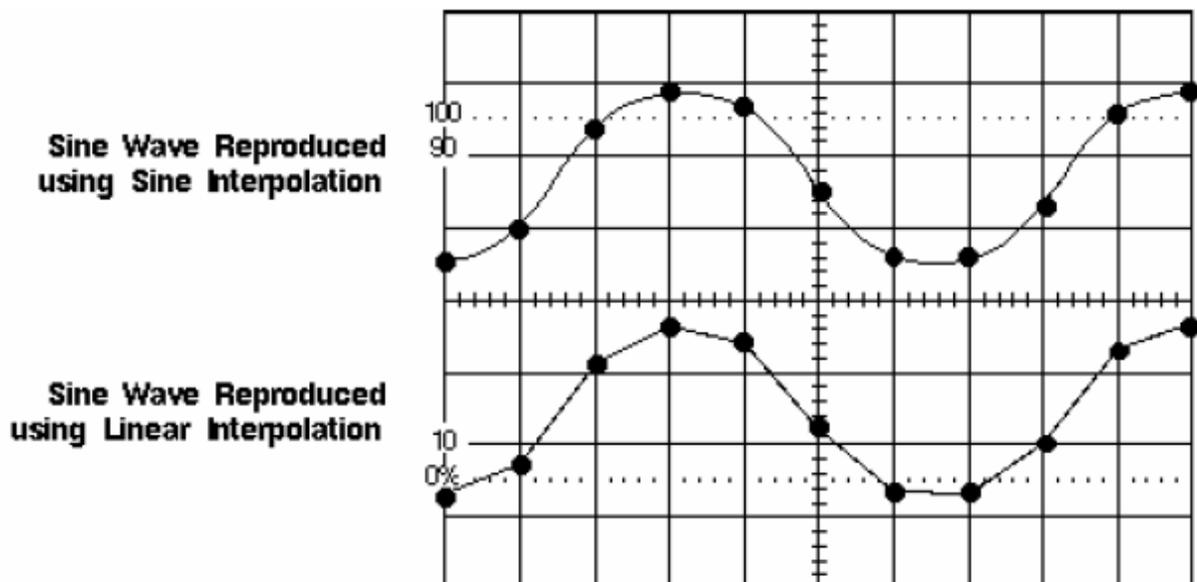
## Diagrama de blocos



# Osciloscópio digital

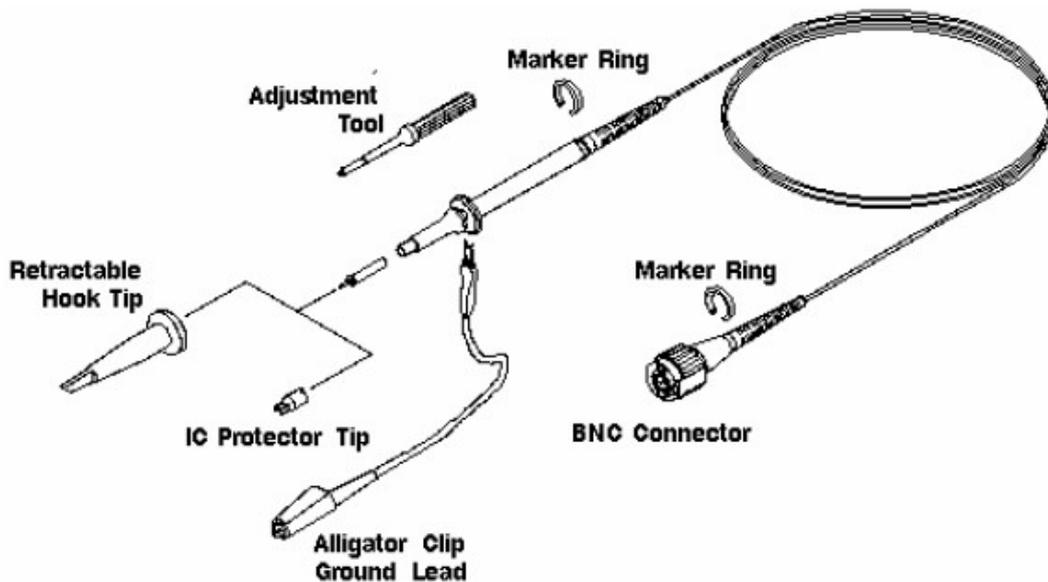
## Osciloscópio digital

- Para apresentar no *display* um sinal contínuo a partir das amostras, o osciloscópio usa um processo chamado **interpolação**;



## Pontas de prova

- Cabo coaxial para reduzir ruído electromagnético;
- Elevada impedância para minimizar a interferência na tensão a medir.



## Pontas de prova

- **Atenuação 1X:**
  - Provoca alguma interferência;
  - Indicada para sinais muito pequenos.
- **Atenuação 10X:**
  - Minimiza o efeito de carga no circuito a testar;
  - Mais adequado para sinais com conteúdo de alta frequência.

Continua na próxima Apostila da [Editora Profissionalizante](#) Sobre  
Osciloscópios