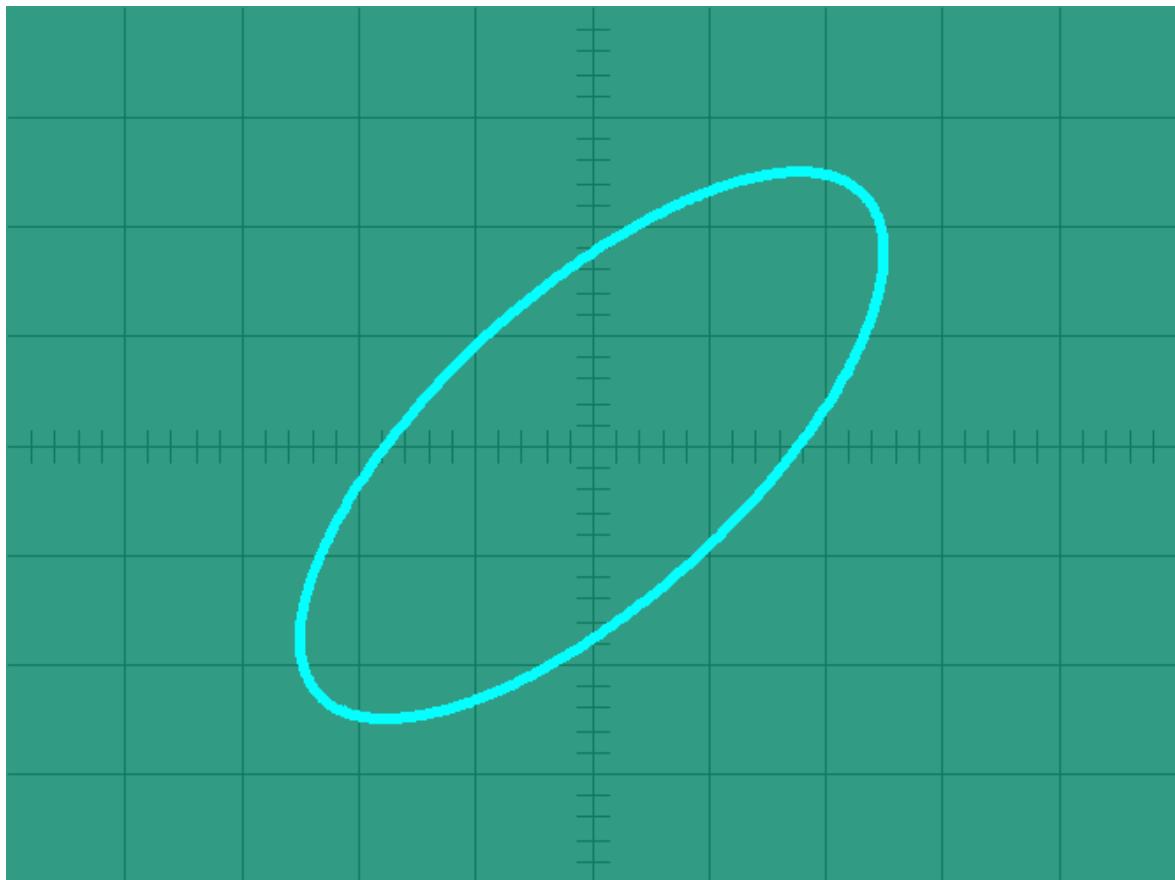


# ABC do OSCILOSCÓPIO

princípio de funcionamento e estado da tecnologia



mário ferreira alves

mjf@isep.ipp.pt | v3 fev.2007



## PREFÁCIO

Nas últimas décadas, o ser humano tem vindo a depender cada vez mais de sistemas eléctricos, electrónicos e computacionais. Na primeira metade do século XX a electricidade era apenas utilizada como fonte de energia “facilmente transportável” para obter outras formas de energia úteis (e.g. iluminação, força motriz, aquecimento) nos locais necessários. Entretanto, o aparecimento dos dispositivos semicondutores e programáveis a partir de meados do século XX marcou um importante ponto de viragem a diversos níveis, pois começou a ser possível utilizar sistemas eléctricos e electrónicos para acções de controlo. Mais recentemente, a enorme evolução das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) fazem que algumas visões no passado passem a ser paradigmas na actualidade, nomeadamente o da ubiquidade dos sistemas computacionais, onde se preconiza a incorporação de dispositivos “inteligentes” (com capacidade sensorial, de armazenamento, de processamento e de comunicação) em toda e qualquer entidade passível de ser monitorizada/controlada.

Actualmente, muito dificilmente nos damos conta da quantidade e complexidade das TIC que incorporam os sistemas que nos rodeiam, mesmo no dia-a-dia - desde os electrodomésticos ao automóvel, passando pelos telefones móveis e sistemas de domótica. Neste contexto, o papel do Engenheiro assume particular relevância a nível da concepção destes sistemas, mas também a nível da sua instalação, teste, validação, manutenção e actualização/evolução. É neste contexto que as ferramentas de teste/diagnóstico de sistemas eléctricos e electrónicos ganham particular importância, salientando-se os multímetros e os osciloscópios como os mais versáteis, podendo ser utilizados num sem número de aplicações. Saliente-se que embora estes equipamentos sirvam para medir grandezas eléctricas, poderemos utilizá-los para analisar qualquer outra grandeza (não eléctrica), desde que estejamos providos dos transdutores e circuitos de condicionamento de sinal adequados.

Enquanto que o multímetro se limita a apresentar a indicação de um ou mais parâmetros característicos (e.g. valor eficaz, valor de pico, frequência) de uma dada grandeza (e.g. tensão, corrente), quando é necessária uma análise mais aprofundada da grandeza mensuranda, nomeadamente a nível do seu comportamento temporal, torna-se fundamental a utilização de um osciloscópio. Na sua forma mais básica, o osciloscópio é um instrumento de medição que permite analisar visualmente um ou mais sinais eléctricos em tempo-real, permitindo medir e comparar diversos parâmetros destes sinais.

A aquisição de competências a nível do funcionamento e utilização do osciloscópio torna-se então fundamental para alunos de cursos de engenharia. No caso particular do ISEP, salientam-se os cursos de Engenharia Electrotécnica e Mecânica actualmente em funcionamento, onde este tema é abordado no âmbito de diversas disciplinas sob a responsabilidade do Grupo de Disciplinas de Ciências Básicas da Electrotecnia. Saliente-se que o domínio desta ferramenta por parte dos alunos assume uma importância imediata para sustentar os trabalhos laboratoriais e projectos que fazem parte do seu percurso na escola.

Neste contexto, e da experiência adquirida pelo autor na lecionação desta matéria, aponta-se como tempo necessário e suficiente para o aluno ser capaz de conhecer e utilizar as funcionalidades básicas de um osciloscópio cerca de seis

horas. Destas, três a quatro horas deverão ser dedicadas a uma exposição dos conceitos fundamentais e da forma de utilizar o osciloscópio, essencialmente utilizando aulas “teóricas”. Complementarmente, considera-se obrigatório o aluno utilizar um osciloscópio durante pelo menos uma aula “prática” (duas horas), familiarizando-se com equipamento associado tal como pontas de prova e geradores de sinais. Esta aprendizagem experimental endereça o osciloscópio como “um fim”. É também importante que o aluno consolide o seu conhecimento ao longo de uma ou mais aulas práticas subsequentes, onde passa a utilizar o osciloscópio como “um meio”, no âmbito de trabalhos práticos.

Este documento é uma evolução de [1] e apresenta o princípio de funcionamento do osciloscópio, sintetizando os aspectos fundamentais relacionados com a sua utilização e sumariando o estado actual da tecnologia, tanto no que respeita a osciloscópios analógicos como a osciloscópios de amostragem (conhecidos como osciloscópios “digitais”).

O modelo do ensino superior está neste momento a ser alterado no sentido da harmonização preconizada pelo Acordo de Bolonha. As licenciaturas em Engenharia vão ser reduzidas para 3 anos, preconizando-se uma diminuição da carga horária presencial. Desta forma, é necessário criar mecanismos para facilitar a autonomia de estudo ao aluno. É neste contexto que ganham particular importância ferramentas que permitam aos alunos a aquisição de conhecimentos sem necessidade de deslocação a um laboratório, já que o tempo para efectuar as experiências presencialmente vai ser menor. Neste contexto, surgem dois tipos de ferramentas computacionais potencialmente interessantes: os simuladores de osciloscópio e os osciloscópios baseados em placas de som. Os simuladores de osciloscópio representam virtualmente um osciloscópio no PC, normalmente incluindo um gerador de sinais (também virtual) para servir de fonte de sinal. Os osciloscópios baseados em placas de som utilizam placas de som convencionais (existentes na quase globalidade dos PCs) para a entrada/saída de sinais, implementando normalmente um osciloscópio de dois canais e um gerador de sinais. É esta a motivação para que este documento apresente uma breve referência a algumas destas ferramentas.

Este documento está estruturado em 6 secções. A primeira introduz alguns conceitos e terminologia relevantes neste contexto. A Secção 2 endereça o princípio de funcionamento dos osciloscópios analógicos e de amostragem, bem como apresenta algumas das características que podem e devem pesar aquando da aquisição destes equipamentos. As questões relacionadas com a interligação entre o osciloscópio e os circuitos sob teste são abordadas na Secção 3, enquanto que a Secção 4 apresenta uma descrição dos comandos mais habitualmente encontrados nos osciloscópios analógicos e de amostragem. Na Secção 5 apresentam-se algumas técnicas para efectuar medições de tensão e de tempo. Finalmente, a Secção 6 aborda o estado actual da tecnologia, apresentando as características mais relevantes de diversos tipos e modelos de osciloscópios disponíveis no mercado.

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>3</b>
1.1. O QUE É E PARA QUE SERVE UM OSCILOSCÓPIO? .....	3
1.2. ASPECTO EXTERIOR DE UM OSCILOSCÓPIO.....	4
1.3. MEDIÇÃO DE GRANDEZAS NÃO ELÉCTRICAS E NÃO PERIÓDICAS? .....	5
1.4. SIGNIFICADO DE “ANALÓGICO” E “DIGITAL” .....	5
1.5. INSTRUMENTOS “REAIS” E “VIRTUAIS” .....	7
<b>2. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO E CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS.....</b>	<b>11</b>
2.1. OSCILOSCÓPIOS ANALÓGICOS E DE AMOSTRAGEM.....	11
2.2. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO OSCILOSCÓPIO ANALÓGICO .....	12
2.3. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO OSCILOSCÓPIO DE AMOSTRAGEM .....	15
2.4. MÉTODOS DE AMOSTRAGEM.....	16
2.5. CARACTERÍSTICAS MAIS RELEVANTES .....	19
<b>3. INTERLIGAÇÃO ENTRE O OSCILOSCÓPIO E OS CIRCUITOS EM ANÁLISE.....</b>	<b>23</b>
3.1. CONCEITOS INTRODUTÓRIOS .....	23
3.2. SOBRE LIGAÇÕES DE MASSA E TERRA.....	24
3.3. PONTAS DE PROVA .....	26
3.4. COMPENSAÇÃO DO CIRCUITO DE ATENUAÇÃO.....	30
<b>4. COMANDOS FUNDAMENTAIS .....</b>	<b>33</b>
4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	33
4.2. COMANDOS DO ECRÃ .....	35
4.3. COMANDOS DO SISTEMA VERTICAL .....	35
4.4. COMANDOS DO SISTEMA HORIZONTAL.....	39
4.5. COMANDOS DO SISTEMA DE SÍNCRONISMO .....	41
<b>5. TÉCNICAS DE MEDIÇÃO .....</b>	<b>45</b>
5.1. O ECRÃ.....	45
5.2. AJUSTE INICIAL DOS COMANDOS .....	46
5.3. MEDIÇÃO DE TENSÃO .....	47
5.4. MEDIÇÃO DE PERÍODO E FREQUÊNCIA .....	49
5.5. MEDIÇÃO DE TEMPO DE SUBIDA .....	50
5.6. MEDIÇÃO DE DESFASAMENTO.....	50
5.7. SÍNCRONIZAÇÃO DE FORMAS DE ONDA COMPLEXAS .....	53
<b>6. ESTADO DA TECNOLOGIA .....</b>	<b>55</b>
6.1. TIPOS DE OSCILOSCÓPIOS ACTUAIS E EMERGENTES .....	55
6.2. OSCILOSCÓPIOS DE BAIXO CUSTO .....	56
6.3. OSCILOSCÓPIOS TOPO DE GAMA.....	58
6.4. OSCILOSCÓPIOS BASEADOS EM COMPUTADOR .....	59
6.5. SIMULADORES DE OSCILOSCÓPIOS .....	61
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>63</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>65</b>
APÊNDICE A – PRINCÍPIO DO <i>EFEITO HALL</i> .....	65
APÊNDICE B – COMPENSAÇÃO DO CIRCUITO DE ATENUAÇÃO: PROVA .....	66
APÊNDICE C – ANÁLISE DE SINAIS DE VÍDEO.....	67
APÊNDICE D – MÉTODO ELÍPTICO PARA MEDIÇÃO DE DESFASAMENTO: PROVA.....	68



## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. O que é e para que serve um osciloscópio?

Basicamente, um osciloscópio é um instrumento de medição que representa graficamente sinais eléctricos no domínio temporal.

No modo de funcionamento usual, um osciloscópio mostra como é que um ou mais sinais eléctricos variam no tempo (Figura 1). Neste caso, o eixo vertical (YY) representa a amplitude do sinal (tensão) e o eixo horizontal (XX) representa o tempo. A intensidade (ou brilho) do ecrã é por vezes denominada de eixo dos ZZ.

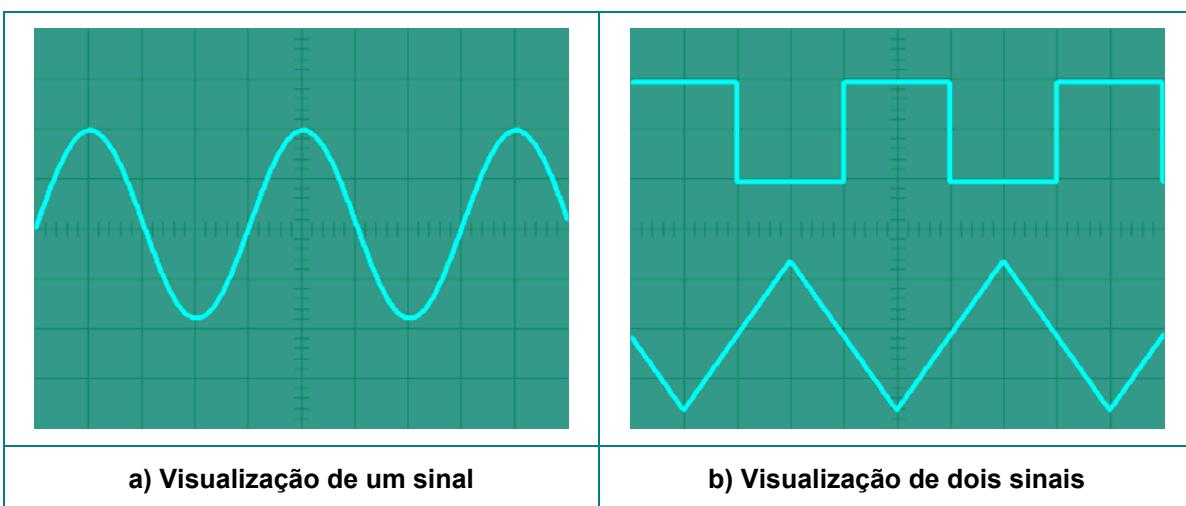


Figura 1: Ecrã de osciloscópio [13]

Uma representação gráfica deste tipo permitirá a análise de diversas características de um sinal, nomeadamente:

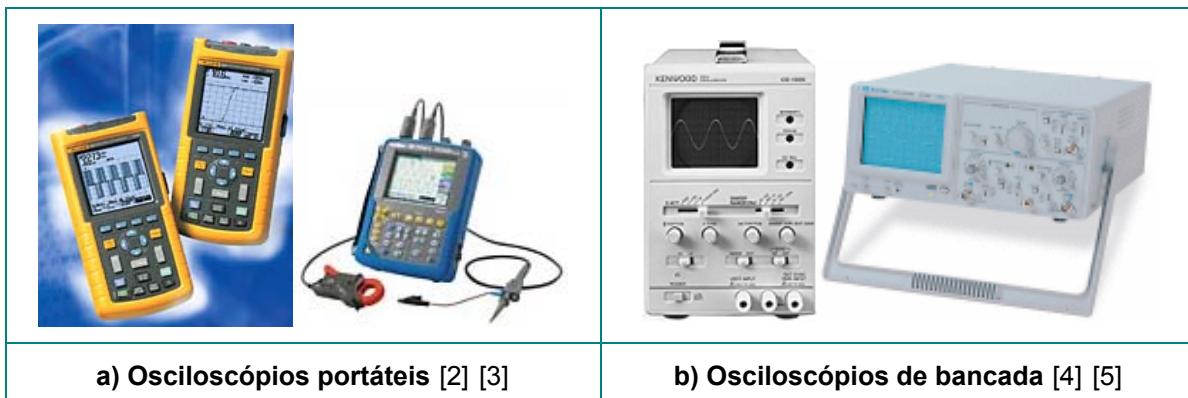
- Amplitude (de tensão): valores máximo (pico positivo), mínimo (pico negativo), pico-a-pico e eficaz, diferenciais de amplitude, componentes contínua e alternada.
- Tempo: período, frequência, diferenciais de tempo num sinal e entre dois sinais, atrasos, desfasamento entre dois sinais, tempos de subida.
- Existência de interferências (ruído) continuadas, perturbações transitórias.
- Comparação entre entrada e saída de sistemas, nomeadamente para analisar ganhos, desfasamentos, filtragens, rectificações, permitindo projectar e depurar os mesmos sistemas.

A utilização do modo 'XY' facilita alguns tipos de análises. Neste modo de funcionamento, o eixo dos XX deixa de representar o tempo, passando a ser estimulado por um sinal de entrada. Desta forma, a forma de onda visualizada no ecrã será a representação de um sinal de entrada em função de outro sinal de entrada. Tal como se verá na Secção 5.6, o modo XY é muito interessante para a medição de desfasamentos entre sinais sinusoidais.

Os osciloscópios de amostragem (conhecidos como “digitais”) automatizam uma série de medições e incorporam muitas funcionalidades adicionais aos osciloscópios analógicos, tal como veremos ao longo deste documento.

## 1.2. Aspecto exterior de um osciloscópio

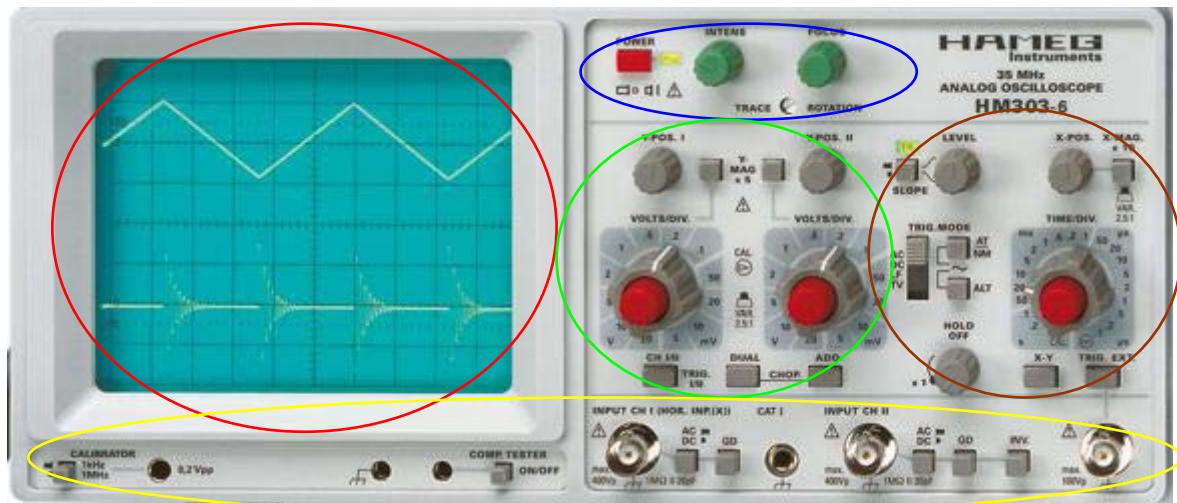
Quanto ao seu aspecto exterior, os osciloscópios podem dividir-se fundamentalmente em osciloscópios portáteis e de bancada (Figura 2).



**Figura 2: Exemplos de osciloscópios**

Começam também agora a vulgarizar-se os osciloscópios baseados em computadores pessoais (PCs), que não apresentam nenhum aspecto exterior característico: ou se baseiam em placas embebidas no próprio PC, ou existe um módulo exterior (“caixa preta” de aquisição de sinais) que interliga o circuito em teste com o PC (normalmente através de USB, Ethernet, RS-232 ou GPIB).

O painel frontal de um osciloscópio típico (Figura 3) engloba o ecrã (assinalado a **vermelho**) e um conjunto de comandos divididos em grupos, organizados segundo a sua funcionalidade. Existe um grupo de comandos para o controlo do eixo dos YY (amplitude do sinal, a **verde**), outro para o controlo do eixo dos XX (tempo, a **castanho**) e outro ainda para controlar os parâmetros do ecrã (indicados a **azul**). Existe também um conjunto de terminais de entrada e saída de sinais (**amarelo**).



**Figura 3: Painel frontal de um osciloscópio analógico típico [6]**

Estes grupos de comandos existem para permitir a visualização e análise de sinais de características diversas, nomeadamente com uma gama significativa de amplitudes e frequências.

### 1.3. Medição de grandezas não eléctricas e não periódicas?

O osciloscópio é utilizado em inúmeras aplicações, tão variadas como a reparação de electrodomésticos, a manutenção automóvel, a análise de vibrações ou a análise de redes de comunicação de dados. Por princípio, o osciloscópio é um instrumento de medição adequado para medir/analisar sinais periódicos. No entanto, os osciloscópios de amostragem permitem analisar sinais transitórios (não periódicos), tais como os apresentados na Figura 4.

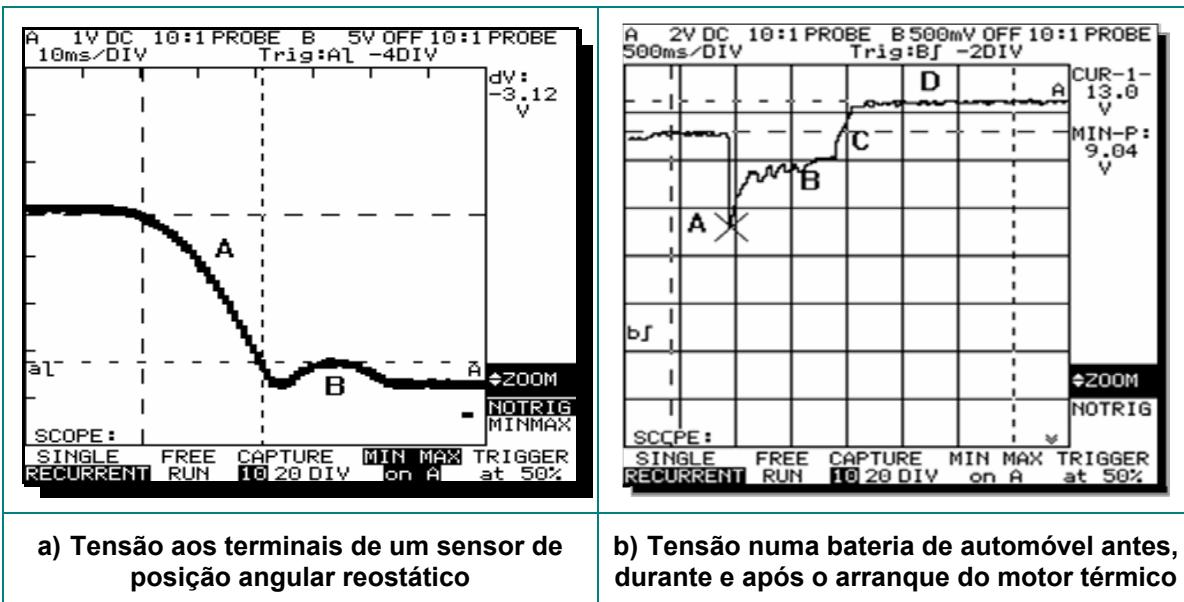


Figura 4: Exemplos de sinais não periódicos [7]

Outro aspecto a salientar é que o osciloscópio não se limita à medição de grandezas eléctricas. Com o transdutor apropriado, o osciloscópio poderá utilizar-se para visualizar e medir qualquer tipo de grandeza física. Um transdutor eléctrico é um dispositivo que transforma a variação de uma grandeza não eléctrica (e.g. pressão, humidade, luz) na variação de uma grandeza eléctrica (e.g. resistência, indutância, capacidade, força electromotriz). O Vocabulário Internacional de Metrologia [8] define genericamente transdutor como “dispositivo que faz corresponder, segundo uma lei determinada, uma grandeza de saída a uma grandeza de entrada”. Veja-se o exemplo da Figura 4a, onde um osciloscópio é utilizado para analisar o comportamento de um transdutor de posição angular do tipo reostático (resistência variável).

### 1.4. Significado de “análogo” e “digital”

É prática corrente distinguir os osciloscópios como “análogicos” e “digitais”. De forma a evitar ambiguidades na terminologia utilizada neste documento, é fundamental esclarecer alguns conceitos genéricos relacionados com os instrumentos de medição, conceitos estes que os leigos desconhecem e que raramente são claros mesmo para especialistas nas áreas de electrotecnia/electrónica. Neste contexto, é fundamental a consulta do Vocabulário Internacional de Metrologia [8], editado na língua portuguesa pelo Instituto Português da Qualidade.

Um *instrumento de medição* é um dispositivo destinado à execução da medição, isolado ou em conjunto com outros equipamentos suplementares. Se um

instrumento de medição envolve tecnologia eléctrica ou electrónica, ou seja, se inclui circuitos com componentes eléctricos (resistências, bobinas, condensadores, etc.) e/ou electrónicos (díodos, transístores, tirístores, etc.), ele é denominado de *instrumento de medição eléctrico/electrónico*.

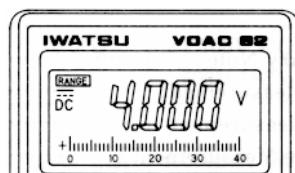
Quando se classifica um instrumento de medição como analógico ou digital deve ter-se em conta a forma de apresentação do sinal de saída ou da indicação e não o princípio de funcionamento do instrumento:

- Num *instrumento de medição analógico*, o sinal de saída ou indicação é uma função contínua do valor da mensuranda ou do sinal de entrada.
- Um *instrumento de medição digital* apresenta o sinal de saída ou a indicação sob a forma digital (numérica).

Consequentemente, é errado distinguir entre osciloscópios “analógicos” e “digitais”, pois todos os osciloscópios têm uma indicação analógica, ou seja, todos mostram a evolução do sinal de entrada ao longo do tempo, devendo por isso ser denominados de *instrumentos analógicos*. Os osciloscópios normalmente conhecidos como “digitais” devem ser referenciados como “osciloscópios de amostragem”. Estes complementam a indicação analógica com um conjunto de indicações “digitais” (e.g. período, frequência, componente contínua e alternada).

É portanto importante distinguir entre a indicação e o princípio de funcionamento dos instrumentos de medição. Note-se que existem instrumentos de medição digitais com princípio de funcionamento puramente mecânico, tal como um contador de água, onde existe uma indicação digital (a quantidade de metros cúbicos consumidos) e uma indicação analógica (o caudal de água). Da mesma forma, muitas vezes temos indicações analógicas em instrumentos de tecnologia digital, tal como gráficos de barras e diagramas sinópticos numa interface gráfica de um computador.

É também importante eliminar uma possível confusão com os conceitos de electrónica analógica e electrónica digital. O que distingue um circuito eléctrico de um circuito electrónico é que o segundo envolve a utilização de dispositivos baseados em semicondutores, tais como transístores, díodos e tirístores, além da eventual utilização de dispositivos eléctricos (resistências, condensadores, indutâncias, etc.).



**Figura 5: Multímetro com indicações analógica e digital [9]**

A electrónica analógica distingue-se da electrónica digital, pois num circuito digital a informação é em algum sítio convertida para digital (apenas dois níveis lógicos). Devemos então efectuar uma distinção clara entre o tipo de indicação (analogica ou digital) e o princípio de funcionamento analógico ou digital de um instrumento de medição eléctrico/electrónico. Por exemplo, um contador de energia eléctrica tradicional não contém nenhuma electrónica digital, no entanto a indicação (quantidade de kW.h) é digital. Analogamente, um multímetro “digital” (ou seja, com electrónica digital) poderá dar uma indicação analógica (veja-se o exemplo

da Figura 5, onde existe uma indicação analógica - uma barra no mostrador de cristais líquidos que aumenta ou diminui com o valor da grandeza medida).

Note-se que em determinados sistemas é importante ter indicações analógicas, porque a percepção da quantidade e da tendência crescente ou decrescente da grandeza mensuranda é muito mais rápida do que no caso das indicações digitais. Nomeadamente em “sistemas críticos”, onde a ocorrência de uma falha pode originar consequências catastróficas para pessoas, bens ou meio ambiente, a grande maioria dos instrumentos são analógicos. Por exemplo, num automóvel o velocímetro e o conta-rotações são sempre analógicos (salvo raras excepções), pois a maior preocupação do automobilista deve ser conduzir o automóvel em segurança, pelo que apenas lhe interessa ter uma ideia aproximada do valor da velocidade (se vai a mais ou menos de 90 km/h, por exemplo) e do regime de rotação do motor (se já atingiu “o vermelho”, por exemplo). Sendo instrumentos analógicos o condutor consegue ter essa percepção mais rapidamente de que se a indicação fosse digital.

### 1.5. Instrumentos “reais” e “virtuais”

Os instrumentos de medição em geral, e os osciloscópios em particular, podem classificar-se como “reais” e “virtuais”, de acordo com a distribuição espacial das suas componentes:

- Os *instrumentos de medição reais* são instrumentos “chave-na-mão”, incorporando num só equipamento todos os blocos da cadeia de instrumentação e controlo necessários ao seu funcionamento (medição de uma dada grandeza), desde a transdução até à indicação.
- Os *instrumentos de medição virtuais* englobam alguns ou todos os blocos da cadeia de instrumentação e controlo num computador. São também chamados de instrumentos baseados em computador.

Os osciloscópios “virtuais” ou baseados em computador começam a ter alguma aceitação no mercado, para alguns tipos de aplicação. Estes podem ter várias arquitecturas possíveis (Figura 6):

- Placa de aquisição de dados (I/O) interna (Figura 6a)

Os osciloscópios deste tipo baseiam-se normalmente numa placa específica para o efeito, mas para algumas aplicações menos exigentes pode utilizar-se a placa de som. Além de permitirem a entrada de sinais, por vezes disponibilizam também a geração de sinais.

- Módulo de aquisição de dados (I/O) externo (Figura 6b)

O computador comunica com um dispositivo de aquisição de dados externo, através de uma interface de comunicação (e.g. USB, RS-232, Paralelo). É frequente disponibilizarem a geração de sinais.

- Computador como interface de osciloscópio “real” (Figura 6c)

O computador comunica com um osciloscópio “real”, através de uma interface de comunicação (e.g. USB, RS-232, GPIB, Ethernet). O computador irá funcionar como uma interface de alto nível relativamente ao

osciloscópio “real”, apresentando um conjunto de funcionalidades reduzido (só um subconjunto das funcionalidades), idêntico ou acrescido (eventualmente adicionando outras potencialidades, tais como análise frequencial, cores, cursores e base de dados).

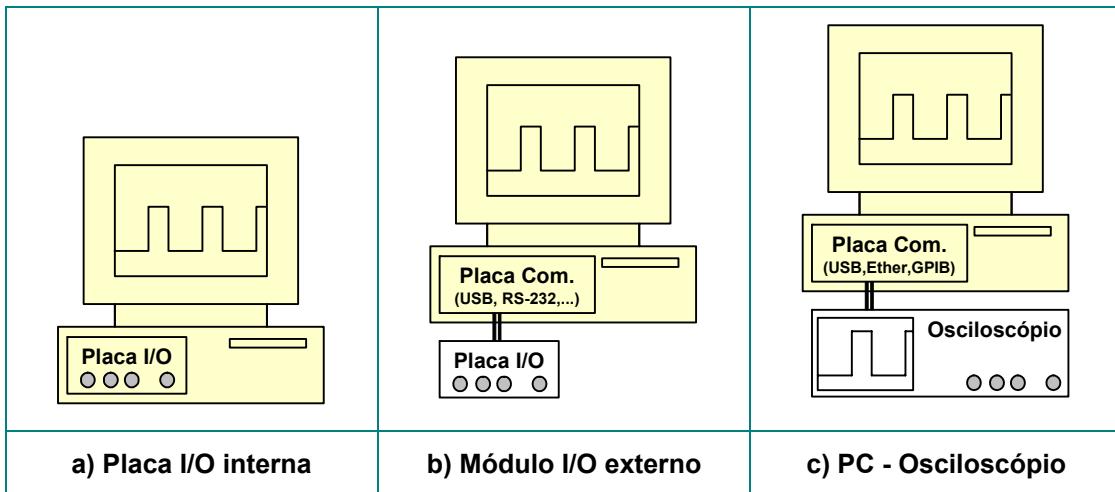


Figura 6: Arquitecturas de osciloscópios virtuais

Analisemos agora algumas vantagens e inconvenientes dos osciloscópios reais e virtuais quanto a algumas características importantes:

- Custo

Os custos de um osciloscópio virtual devem ser analisados e comparados com o “equivalente” real (se existir). Se em termos de manutenção não haverá diferenças significativas entre os dois tipos de osciloscópio, já em termos de custos de aquisição e eventuais custos de desenvolvimento o mesmo poderá não suceder. Em termos de custos de aquisição é preciso ter em conta que é necessário um computador, eventualmente com *hardware* específico (placa de aquisição de dados ou GPIB, por exemplo) e ferramentas de *software* (Visual Basic®, LabWindows®, etc.) se estiver previsto o desenvolvimento da aplicação de instrumentação virtual. Neste caso, é também necessário avaliar o esforço laboral inerentes ao desenvolvimento desta aplicação. Saliente-se que se se pretenderem algumas funcionalidades específicas (e.g. análise/processamento de dados ou interface com o utilizador) para um osciloscópio real, isso pode ter custos elevados ou ser mesmo impossível. Pelo contrário, isso poderá ser levado a cabo através da utilização de um computador (instrumento virtual).

- Flexibilidade (Capacidade de Alteração e Evolução)

Quem concebe um osciloscópio virtual pode adaptar as funcionalidades de análise/processamento de dados e de interface com o utilizador a cada aplicação e utilizador em concreto. É muito mais fácil alterar/evoluir *software* (instrumento virtual) do que *hardware* (instrumento real). A actualização/evolução de um osciloscópio virtual é potencialmente mais simples, tanto em termos da capacidade de análise/processamento de dados (por exemplo, adicionar análise espectral a um osciloscópio virtual), como em termos de tempo de execução (o *hardware* dos computadores evolui muito mais depressa do que o seu preço).

- Interface de Utilização

Um osciloscópio virtual pode ser personalizado de forma a ser utilizado em aplicações específicas. Por exemplo, os osciloscópios reais com muitas potencialidades são normalmente de utilização algo complexa para alguns tipos de utilizadores. Esses osciloscópios “complexos” podem ser “transformados” em instrumentos (virtuais) mais “amigáveis”, através de uma interface com o utilizador mais ergonómica (mais funcional e simples de utilizar, na língua de origem do utilizador, etc.).

- Ambiente de Utilização

Se um osciloscópio virtual for desenvolvido num sistema operativo conhecido, o utilizador adapta-se mais facilmente à aplicação que representa o instrumento virtual (funcionamento similar das janelas, das funções, dos menus, das caixas de diálogo, etc.). Quem concebe o osciloscópio virtual pode também utilizar vulgares ferramentas de desenvolvimento de aplicações, tais como o *Visual Basic®*, o *Visual C++®*, o *LabWindows®*, o *LabView®* ou o *Excel®*, para desenvolver módulos de software (principais ou adicionais).

- Armazenamento de Informação

Inerente à utilização de um computador está a possibilidade de armazenamento e posterior leitura de informação (sinais, parâmetros de configuração, etc.), possivelmente num formato comum, utilizando por exemplo um sistema de gestão de bases de dados. Os osciloscópios (reais) de amostragem modernos dispõem também de funcionalidades de armazenamento de informação, mas serão sempre mais limitadas do que as possíveis num computador e essas funcionalidades reflectem-se no seu custo de aquisição.

- Resposta temporal

A análise de certas grandezas que variam muito depressa, em tempo-real (a análise/processamento do sinal tem de ser feito à medida que o sinal acontece, não *a posteriori*), implica que a instrumentação utilizada tenha uma grande velocidade de aquisição, processamento e eventualmente até de visualização. Um instrumento virtual poderá não ter capacidade de desempenho suficiente para atingir esses objectivos (devido, por exemplo, aos atrasos nas comunicações entre instrumentos e computador). Os osciloscópios reais podem ter larguras de banda acima de 1 GHz, enquanto que os osciloscópios baseados em computador limitam-se a algumas centenas de MHz.



## 2. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO E CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

### 2.1. Osciloscópios analógicos e de amostragem

Os osciloscópios podem ser classificados de acordo com diversos parâmetros. No entanto, uma característica que permite distinguí-los logo à partida é a tecnologia utilizada: analógica ou digital. Os osciloscópios de tecnologia exclusivamente analógica (doravante designados por “osciloscópios analógicos”) funcionam aplicando (quase) directamente o sinal medido ao ecrã. Nos osciloscópios de tecnologia digital, são retiradas amostras do sinal original, amostras estas que são convertidas para um formato digital (binário) através da utilização de um conversor analógico/digital (ADC – *Analog to Digital Converter*). Esta informação digital é armazenada numa memória e seguidamente reconstruída e representada no ecrã (tal como num computador). Estes osciloscópios são designados neste documento como “osciloscópios de amostragem”.

Na língua inglesa, os osciloscópios analógicos são normalmente designados por ART (*Analog Real-Time*) e os osciloscópios de amostragem por DSO (*Digital Storage Oscilloscopes*). Existem ainda uns osciloscópios de amostragem com uma arquitectura ligeiramente modificada – os DPO (*Digital Phosphore Oscilloscopes*), que pela sua especificidade e pelo facto de ser exclusiva de um fabricante (Tektronix) não são abordados neste documento.

Antes de os osciloscópios de amostragem adquirirem as potencialidades actuais, os osciloscópios analógicos eram preferidos quando era necessário visualizar sinais com variações muito rápidas (altas frequências) em tempo-real (ao mesmo tempo que ocorrem). No entanto, actualmente o osciloscópio analógico está praticamente obsoleto, só se utilizando em situações em que o baixo custo é um requisito fundamental (e.g. para fins didácticos). Mesmo nestas situações, começam a aparecer no mercado osciloscópios de amostragem com muito mais funcionalidades que os analógicos, por preços cada vez mais próximos. Existem ainda alguns modelos que combinam as duas funcionalidades – visualização em modo analógico ou modo de amostragem (por vezes denominados de *combiscopes*).

Os osciloscópios de amostragem permitem o armazenamento e posterior visualização das formas de onda, nomeadamente de acontecimentos que ocorrem apenas uma vez (regimes transitórios). Eles permitem ainda processar a informação digital do sinal ou enviar esses dados para um computador para serem processados e/ou armazenados. Como processamento entende-se por exemplo uma filtragem do sinal ou uma análise espectral do sinal (no domínio das frequências).

Para facilitar a utilização do osciloscópio, nomeadamente o correcto manuseamento dos seus comandos, é necessário conhecer um pouco melhor o seu princípio de funcionamento. Tal como foi referido atrás, os osciloscópios analógicos funcionam de maneira diferente dos de amostragem. Contudo, alguns dos blocos internos são idênticos.

## 2.2. Princípio de funcionamento do osciloscópio analógico

A Figura 7 apresenta um diagrama de blocos onde são visíveis os principais blocos constituintes de um osciloscópio analógico: sistema vertical, sistema de visualização (tubo de raios catódicos – CRT), sistema horizontal (base de tempo) e sistema de sincronismo (trigger).

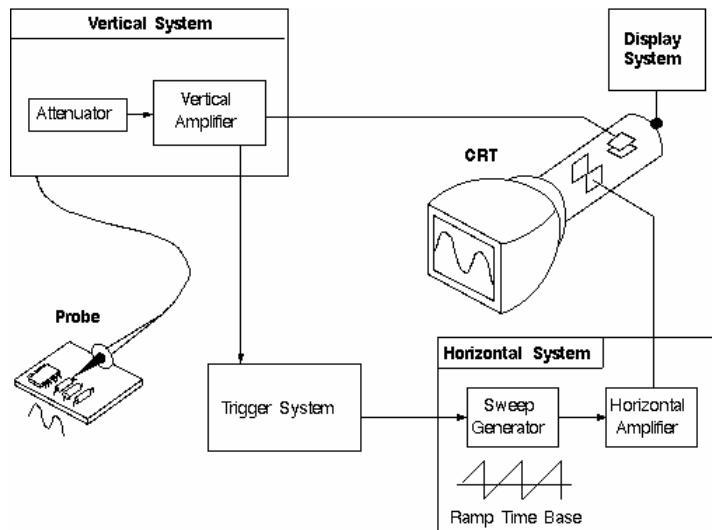


Figura 7: Diagrama de blocos de um osciloscópio “analógico” [10]

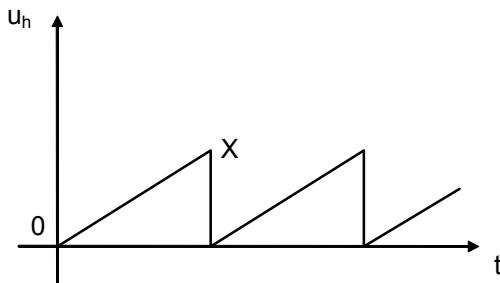
Dependendo de como o utilizador ajusta a atenuação/amplificação vertical (comando normalmente designado por ‘VOLTS/DIV’), o sinal original é atenuado ou amplificado. Seguidamente, o sinal é aplicado às placas horizontais (ou de deflexão vertical) do tubo de raios catódicos (CRT - Cathode Ray Tube), onde existe um cátodo que emite um feixe de electrões a alta velocidade em direcção ao ecrã. Este último tem uma camada de fósforo, material que quando atingido por electrões gera dois fenómenos: fluorescência e fosforescência. A fluorescência é a característica que o fósforo tem de se iluminar, quando atingido por electrões a alta velocidade. A fosforescência é a sua capacidade de manter essa luminosidade durante um certo tempo.

O campo eléctrico criado pelas duas placas horizontais provoca a deflexão vertical do feixe de electrões, para cima ou para baixo consoante a tensão aplicada a estas. Se a placa de baixo for ligada à massa, uma tensão positiva aplicada à outra placa leva a uma deflexão para cima. Uma tensão negativa faz o feixe deflectir-se para baixo.

Se apenas existissem as duas placas horizontais apenas era possível deslocar o feixe de electrões para cima e para baixo. Ora, para visualizarmos um sinal no domínio dos tempos, é necessário como que “estendê-lo” horizontalmente no ecrã, progressivamente e proporcionalmente ao tempo. Isto é conseguido recorrendo a duas placas deflectoras verticais, de modo a permitir o desvio horizontal do feixe da esquerda para a direita, como é habitual para a visualização de sinais no domínio dos tempos.

Para deslocar o feixe de electrões da esquerda para a direita de modo a simular o tempo, é necessário aplicar uma tensão em forma de rampa (Figura 8), que aumente progressivamente de 0 (que corresponda a ter o feixe no extremo

esquerdo do ecrã) até um determinado valor ( $X$ ) de tensão (feixe no extremo direito do ecrã).



**Figura 8: Tensão em forma de rampa (dente de serra)**

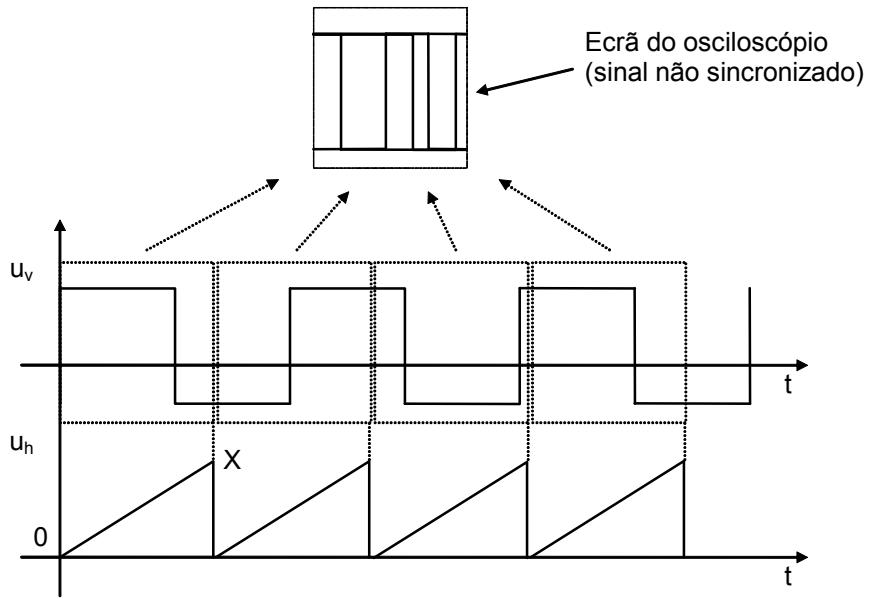
A maior ou menor inclinação desta rampa vai influenciar um menor ou maior tempo de “varrimento”, respectivamente. Entende-se varrimento (*sweep*) como a acção de deslocamento do feixe da esquerda para a direita do ecrã. O tempo de varrimento é portanto o tempo que o feixe demora a deslocar-se do extremo esquerdo até ao extremo direito do ecrã. O sistema que permite representar o tempo no osciloscópio designa-se normalmente de base de tempo e o comando que permite regular a velocidade de varrimento é normalmente denominado por ‘TIME/DIV’ (tempo por divisão).

Dado que a fosforescência do fósforo tem uma duração limitada, não basta desenhar uma vez o sinal, isto é, não basta fazer um varrimento apenas, pois os nossos olhos deixariam de visualizar qualquer sinal passado pouco tempo (décimos de segundo). Este facto impediria a análise dos sinais, tornando o osciloscópio num instrumento sem qualquer interesse (a menos que se fotografasse o ecrã, técnica que era utilizada para “registar” regimes transitórios nos osciloscópios analógicos, mas que deixou de se utilizar com o aparecimento dos osciloscópios de amostragem). O que se faz para evitar este fenómeno é repetir o desenho do sinal com varrimentos consecutivos. Por isso o sinal em forma de rampa se repete ao longo do tempo, resultando numa forma de onda denominada de dente de serra (Figura 8).

Obviamente que, e considerando apenas os osciloscópios analógicos, se os sinais a serem visualizados não forem periódicos, não é possível repetir a mesma imagem, não conseguindo uma visualização estabilizada do sinal. Mais ainda, mesmo para um sinal periódico, é necessário que em cada varrimento o feixe de electrões percorra exactamente o mesmo trajecto no ecrã, de modo a que se obtenha uma imagem estabilizada.

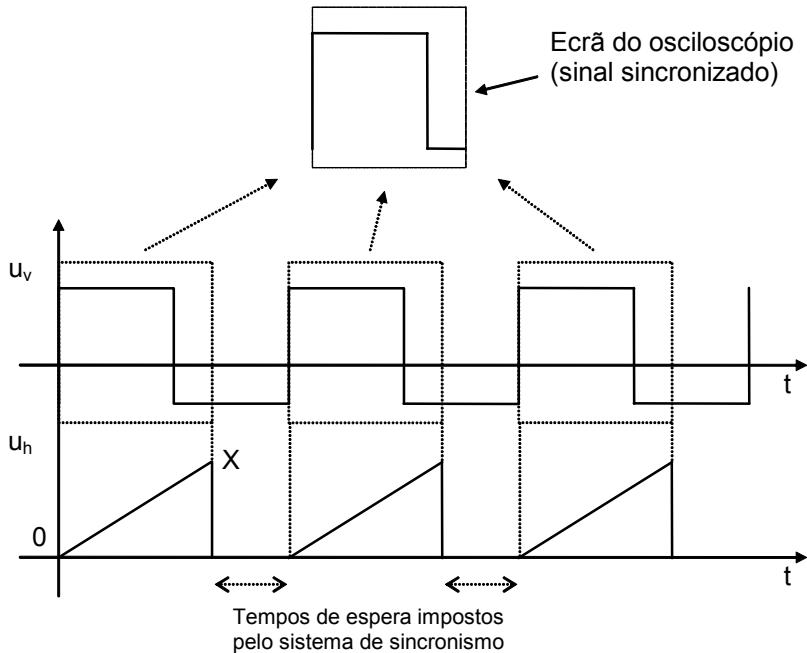
Veja-se o exemplo da Figura 9, onde pelo facto de os sinais aplicados ao eixo vertical ( $u_v$ ) e horizontal ( $u_h$ ) não estarem sincronizados, em cada varrimento o sinal vai ser desenhado em sítios diferentes, o que implica uma visualização não estabilizada do sinal.

Por esta razão, é necessário existir um sistema que faça com que os sinais de entrada sejam desenhados sempre nos mesmos pontos do ecrã. No fundo, um sistema que controle o início de cada rampa aplicada às placas verticais. Este sistema é normalmente designado como o sistema de sincronismo (*trigger*). Este sistema, após cada varrimento, compara o sinal aplicado ao sistema vertical ( $u_v$ ) com um valor de tensão (*trigger level*) e uma inclinação (*trigger slope*, positiva ou negativa), e faz disparar a rampa nos tempos adequados.



**Figura 9: Varrimentos consecutivos levam a visualização não sincronizada**

Considere-se o exemplo apresentado na Figura 10, uma evolução do exemplo apresentado na Figura 9, mas com o sistema de sincronismo em funcionamento. Este sistema vai impor tempos de espera a cada varrimento, de forma a que o sinal seja sempre desenhado em sobreposição, no ecrã.



**Figura 10: Sistema de sincronismo garante correcta visualização do sinal**

Para uma correcta visualização de um sinal periódico, o nível de *trigger* deverá estar compreendido entre os valores máximo e mínimo do sinal. O nível bem como a inclinação a escolher vão depender do tipo de sinal e das características em análise, mas normalmente são escolhidos adaptativamente, ou seja, o utilizador vai regulando o nível (e a inclinação) até obter no ecrã a imagem mais adequada para efectuar a sua análise.

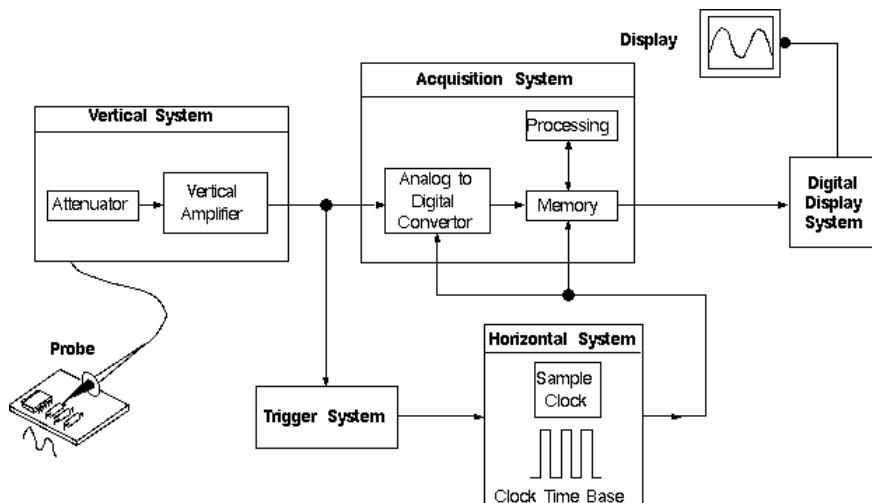
Em conclusão, para utilizar um osciloscópio analógico na visualização de um sinal, é essencialmente necessário proceder a três acções de comando:

- O ajuste da atenuação/amplificação do sinal. O comando de ‘VOLT/DIV’ permite regular a amplitude do sinal aplicado às placas horizontais (de deflexão vertical), dependendo da amplitude do sinal original.
- O ajuste da velocidade de varrimento. O comando ‘TIME/DIV’ permite ajustar o tempo por divisão representado horizontalmente no ecrã, dependendo da frequência do sinal original.
- O ajuste do nível e inclinação de disparo (*trigger*) da base de tempo. Os comandos do sistema de sincronismo permitem a estabilização de um sinal periódico ou a visualização de uma única transição (*single shot*).

Adicionalmente, o ajuste dos comandos de focagem e intensidade (eixo dos ZZ) permite a obtenção de uma imagem nítida e com a visibilidade pretendida.

### 2.3. Princípio de funcionamento do osciloscópio de amostragem

Alguns dos blocos que compõem os osciloscópios analógicos encontram-se também nos osciloscópios de amostragem. Contudo, estes últimos contêm sistemas adicionais para aquisição e processamento de dados (Figura 11) antes de efectuar a representação do sinal (ou sinais) no ecrã.



**Figura 11: Diagrama de blocos de um osciloscópio de amostragem [10]**

Tal como num osciloscópio analógico, quando se liga um osciloscópio de amostragem a um dado circuito, os comandos do sistema vertical permitem ajustar a amplitude da forma de onda.

Seguidamente, um conversor analógico/digital (*Analog to Digital Converter*, na Figura 11) recolhe um conjunto de amostras (*samples*) do sinal e converte os seus valores de tensão para uma palavra de código digital. O sistema horizontal possui um relógio que determina a frequência com que o conversor analógico/digital adquire e converte as amostras do sinal - a frequência de amostragem.

As amostras são armazenadas em memória como pontos constituintes da forma de onda do sinal. Uma amostra é constituída por vários dígitos binários (*bits* -

*binary digits*) e poderá ter um comprimento de 8 bits (correspondendo a  $2^8 = 256$  níveis diferentes de tensão) ou 10 bits (1024 níveis), por exemplo. O conjunto de amostras que representa uma forma de onda denomina-se de registo. O sistema de sincronismo e a base de tempo determinam o início e fim deste registo, resultando num dado comprimento do registo (*record length*). Depois deste registo ser armazenado em memória, é enviado para o ecrã.

Dependendo das capacidades do osciloscópio, poderá haver processamento adicional das amostras, levando a um melhoramento da imagem obtida no ecrã. O pré-disparo (*pretrigger*) poderá também estar disponível, permitindo a visualização de eventos antes do ponto de disparo.

De forma análoga aos osciloscópios analógicos, para efectuar a análise de um sinal é necessário ajustar adequadamente os comandos do sistema vertical, do sistema horizontal e do sistema de sincronismo.

## 2.4. Métodos de amostragem

O método de amostragem define como é que um osciloscópio de amostragem efectua a aquisição das amostras. Para sinais de variação lenta (de baixa frequência), não há dificuldade por parte do osciloscópio em adquirir a quantidade de amostras suficiente para construir uma imagem de qualidade. Contudo, para sinais de variação rápida (de alta frequência) e dependendo da frequência de amostragem máxima de cada osciloscópio, este poderá não adquirir o número suficiente de amostras. Podem então distinguir-se os seguintes métodos de amostragem:

- **Amostragem em tempo-real** (*real-time sampling*).

O osciloscópio adquire as amostras num único ciclo de aquisição e depois poderá utilizar interpolação para melhor construir a imagem. A interpolação é uma técnica de processamento que permite estimar a forma de onda a partir de alguns pontos (por aproximação polinomial). Este modo é o modo de funcionamento por defeito.

- **Amostragem em tempo-equivalente** (*equivalent-time sampling*).

O osciloscópio adquire amostras em vários ciclos de aquisição, construindo uma imagem do sinal ao longo do tempo (há medida que o sinal se vai repetindo). Este modo só pode ser utilizado para analisar sinais periódicos.

Estes métodos são sucintamente descritos seguidamente.

## Amostragem em tempo-real

Por defeito, os osciloscópios de amostragem utilizam a amostragem em tempo-real. Neste modo de amostragem, o osciloscópio adquire as amostras à medida que o sinal é recebido (Figura 12). Para sinais transitórios (não periódicos), é obrigatório utilizar este modo de amostragem.

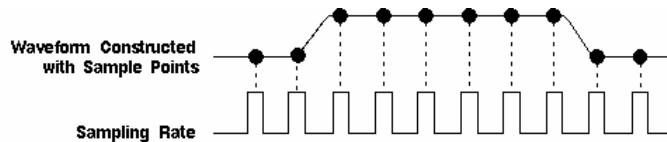


Figura 12: Amostragem em tempo-real [11]

A partir de uma determinada frequência do sinal em análise, o osciloscópio não consegue adquirir um número suficiente de amostras em cada ciclo de aquisição para que a forma de onda apareça “contínua”, recorrendo-se normalmente a interpolação para “interligar” essas amostras. A Figura 13 exemplifica a diferença entre uma forma de onda visualizada sem interpolação e com interpolação.

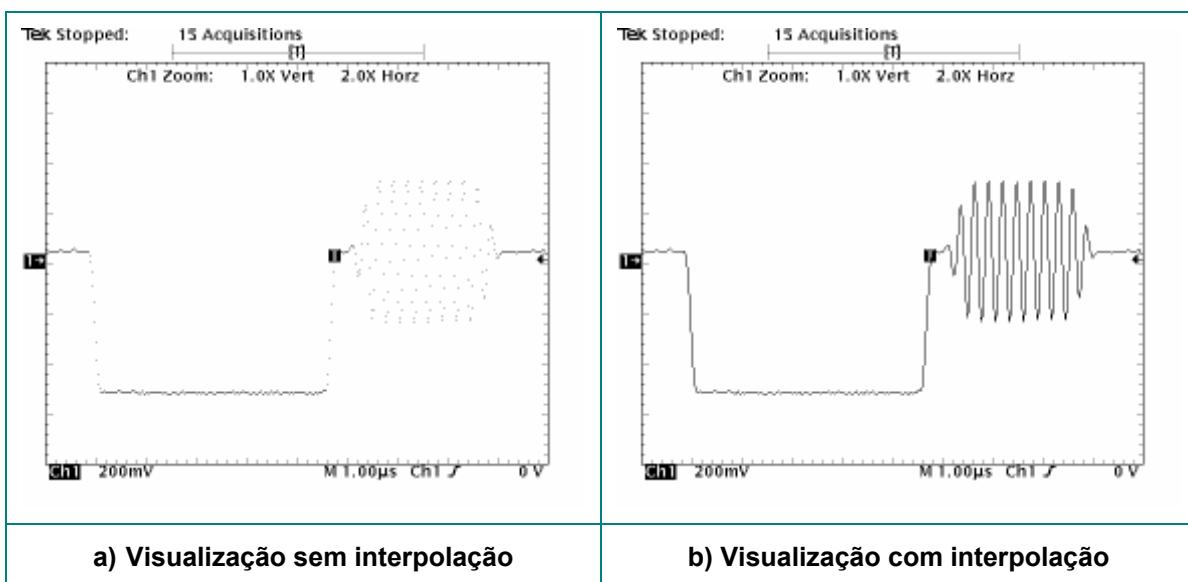
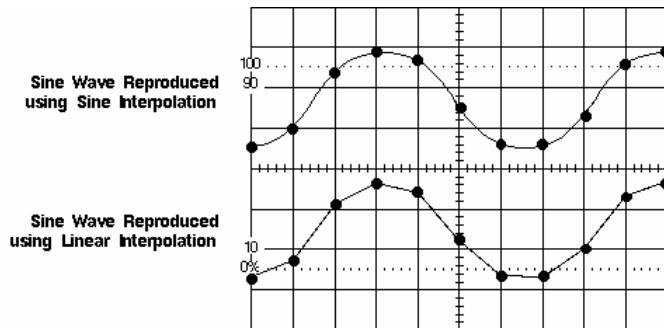


Figura 13: A interpolação no melhoramento da imagem visualizada [11]

A forma de interpolação mais simples e menos pesada computacionalmente é a interpolação linear. Esta simplesmente interliga os pontos através de linhas rectas. Este método funciona bem com impulsos e sinais digitais, mas pode levar a distorção em sinais sinusoidais. Note-se que a interpolação linear é um caso particular da interpolação polinomial. Ao aumentar o grau do polinómio, vai obter-se uma forma de onda mais aproximada da original, mas também vai aumentar o trabalho computacional (para o cálculo dos pontos intermédios).

A interpolação sinusoidal interliga os pontos de amostragem através de curvas (partes de sinusóides). Sendo ideal para a visualização de sinais sinusoidais, este método poderá produzir sobreamortecimento (*overshoot*) ou subamortecimento (*undershoot*) quando visualizamos impulsos. Este processo é, por exemplo, equivalente ao utilizado nos leitores de discos compactos. A Figura 14 dá um exemplo da aplicação destes dois tipos de interpolação.

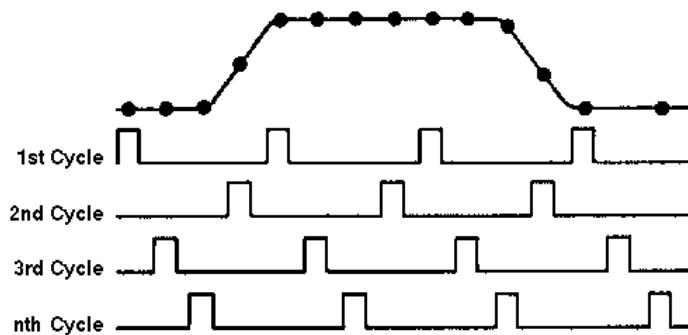


**Figura 14: Interpolações linear e sinusoidal [11]**

Com a interpolação sinusoidal, são calculados os pontos de modo a preencher o tempo entre as amostras reais. Utilizando este processo, um sinal que é amostrado apenas algumas vezes num ciclo de aquisição pode ser representado com qualidade.

### Amostragem em tempo-equivalente

Alguns osciloscópios de amostragem oferecem a possibilidade de utilizar a amostragem em tempo-equivalente, no caso de se estarem a analisar sinais com frequências superiores à largura de banda do osciloscópio. Este modo de amostragem constrói uma imagem de um sinal repetitivo capturando uma parcela da sua informação em cada ciclo de aquisição (Figura 15).



**Figura 15: Amostragem em tempo-equivalente [11]**

Como se pode observar, em cada ciclo de aquisição são guardadas algumas amostras do sinal. Ao fim de alguns ciclos de aquisição, o sinal pode ser completamente (re)construído e desenhado. As amostras podem ser recolhidas aleatoriamente (caso da Figura 15) ou sequencialmente.

## **2.5. Características mais relevantes**

É importante ter conhecimento das características mais relevantes de um osciloscópio e que por consequência devem ser analisadas aquando da sua aquisição. A escolha de cada uma das características deve tomar em conta a utilização (as necessidades das aplicações) e a relação custo/benefício. Consideram-se então as seguintes características como as mais importantes.

### **2.5.1. Características dos osciloscópios analógicos e de amostragem**

#### ***Largura de Banda (BandWidth)***

Esta é porventura a característica mais importante de um osciloscópio e aquela que mais influencia o seu preço. A especificação da largura de banda diz-nos qual a frequência máxima dos sinais que podemos analisar. A largura de banda poderá variar desde a ordem dos 20 a 30 Mhz (osciloscópios de baixa gama, com preços na ordem dos €500) até alguns Ghz (osciloscópios de alta gama, que poderão custar mais de €50000).

Por convenção, a largura de banda de um osciloscópio é a frequência em que a amplitude do sinal desenhado é reduzida para 70.7% da amplitude do sinal (sinusoidal) de entrada. Esta redução de 70.7% equivale a -3 dB, na escala logarítmica. Além de vir especificada no manual do aparelho e por ser uma característica muito importante, a largura de banda vem normalmente escrita no painel frontal do osciloscópio.

#### ***Número de Canais***

O número de canais de entrada define o número de formas de onda que podem ser visualizadas ao mesmo tempo no ecrã de um osciloscópio. A maior parte dos osciloscópios dispõe de dois canais de entrada, mas existem alguns osciloscópios que dispõem de quatro canais de entrada (e mesmo mais), o que permite, em determinadas situações, analisar mais facilmente um dado sistema.

#### ***Tempo de Subida (Rise Time)***

O tempo de subida é um outro modo de descrever a frequência útil de utilização de um osciloscópio. O valor desta grandeza é uma medida mais adequada de performance quando a utilização se refere à medição de impulsos e degraus. Um osciloscópio não consegue desenhar correctamente impulsos com tempos de subida inferiores ao tempo de subida (mínimo) especificado no manual do osciloscópio. Valores típicos rondam algumas dezenas de nanosegundos para osciloscópios de baixa gama até algumas centenas de picosegundos para osciloscópios de gama elevada.

#### ***Sensibilidade Vertical (Vertical Sensivity)***

A sensibilidade vertical caracteriza o poder de amplificação do amplificador vertical. Esta grandeza é normalmente expressa em mV/Div. A tensão mais pequena que um osciloscópio comum pode detectar é, tipicamente, 1-2 mV/DIV. Além de vir especificada no manual do aparelho, esta característica vem escrita no comando de amplificação vertical. É também comum os construtores

apresentarem nas especificações dos osciloscópios o valor máximo de Volt/DIV suportado, que normalmente anda na ordem dos 2-100 Volt/DIV. A utilização de pontas de prova atenuadoras ou amplificadoras alarga o leque de amplitudes dos sinais a analisar.

#### ***Exactidão do Sistema Vertical (Gain or Vertical Accuracy)***

O valor desta grandeza indica a exactidão do sistema vertical (ou dos sistemas verticais, no caso de osciloscópios de mais do que um canal) quando se efectuam medições de tensão. É normalmente expresso em termos percentuais, definindo uma incerteza relativa (típico: 1-3%) sobre o valor medido ou sobre o alcance.

#### ***Exactidão do Sistema Horizontal (Time Base or Horizontal Accuracy)***

O valor desta grandeza indica a exactidão do sistema horizontal quando se efectuam medições de tempo. É também expresso como uma incerteza relativa, em percentagem. Este valor é muito dependente da largura de banda (e da frequência de amostragem) do osciloscópio, pelo que osciloscópios de alta largura de banda poderão ter incertezas na ordem de 10 ppm (partes por milhão – 0,001%) e osciloscópios de baixa largura de banda terão incertezas na ordem dos 2-3%.

### **2.5.2. Características exclusivas dos osciloscópios de amostragem**

#### ***Frequência de Amostragem (Sample Rate)***

Nos osciloscópios de amostragem, a frequência de amostragem indica quantas amostras são adquiridas por segundo. A máxima frequência de amostragem de um osciloscópio é normalmente expressa em Mega/Giga amostras por segundo (MS/s ou GS/s). Quanto maior a frequência máxima de amostragem de um osciloscópio, maior a exactidão com que ele representa os detalhes de um sinal com variações rápidas. A frequência mínima de amostragem poderá também ser relevante na medição de sinais com variações muito lentas, durante longos períodos de tempo. Tipicamente, a frequência de amostragem muda quando se regula o comando de TIME/DIV, de modo a manter um número constante de pontos no registo do sinal.

Outro aspecto importante é que a frequência de amostragem vai impor um dado limite na frequência dos sinais em análise. O Teorema de Nyquist diz que para reconstruir correctamente um sinal, este deve ser amostrado a uma frequência pelo menos dupla da sua maior componente freqüencial. Contudo, este teorema assume um comprimento de registo infinito e um sinal puramente repetitivo. Dado que os osciloscópios têm um comprimento de registo limitado e mesmo os sinais periódicos apresentam sempre pequenas variações (e.g. ruído, picos), a amostragem a apenas uma frequência dupla da maior componente freqüencial de um sinal não é suficiente. Na prática, a frequência de amostragem deve ser pelo menos 5 vezes superior à maior componente freqüencial do sinal em análise.

A análise freqüencial (ou espectral) de sinais é um assunto complexo que não se enquadra no contexto deste documento. No entanto, deve salientar-se que qualquer sinal periódico (ou não periódico) pode ser obtido pelo somatório (ou integral) ponderado (amplitudes e fases distintas) de um conjunto de sinusóides (análise de Fourier), sendo que estas vão definir as componentes freqüenciais do

sinal (também denominados de harmónicos). Desta forma, um sinal não sinusoidal poderá ter componentes freqüenciais muito superiores à sua freqüência fundamental. Por exemplo, uma onda quadrada pura de 100 kHz é o somatório ponderado de um número infinito de sinusóides – 100 kHz, 300 kHz, 500 kHz, etc.

### ***Resolução Vertical ou do Conversor Analógico/Digital (Vertical or ADC Resolution)***

Este parâmetro dos osciloscópios de amostragem representa a resolução, em *bits*, do conversor A/D (e portanto do próprio osciloscópio digital), definindo a qualidade com que os sinais (analógicos) são convertidos para valores digitais. O valor desta grandeza influencia a exactidão na medição de tensão. Valores típicos rondam os 8-11 bits (256-2048 níveis distintos de tensão).

### ***Comprimento do Registo (Record Length)***

O comprimento do registo de um osciloscópio de amostragem indica quantas amostras do sinal são armazenadas pelo osciloscópio para uma dada imagem. O comprimento máximo do registo depende da memória do osciloscópio. Dado que o osciloscópio apenas consegue armazenar um número finito de amostras, tem de haver um compromisso entre detalhe e comprimento do registo. Podem, por exemplo, escolher-se mais amostras durante um pequeno período de tempo (a memória enche-se rapidamente) ou menos amostras durante mais tempo. Alguns osciloscópios permitem a evolução da memória de modo a aumentar o comprimento do registo, em aplicações em que isso se mostre necessário. Valores típicos andam na ordem de alguns kBytes, para osciloscópios de baixa gama até algumas dezenas de MBytes para osciloscópios de gama alta.

### ***Ecrã***

O avanço tecnológico no domínio dos ecrãs dos osciloscópios de amostragem traz esta característica à consideração aquando da sua aquisição. A dimensão do ecrã (normalmente definida em milímetros ou polegadas), a sua resolução (definida em *pixels*) e o suporte de uma ou mais cores poderão influenciar muito a facilidade e a qualidade da análise de sinais. Note-se que um osciloscópio com um ecrã de grande dimensão, com boa resolução e contraste e com a possibilidade de atribuir uma cor diferente a cada um dos sinais em análise (nomeadamente nos osciloscópios de 4 canais) permite muito mais facilmente a análise de sinais. Ecrãs policromáticos de 10,4 polegadas (cerca de 25 cm) de diagonal e resolução de 800x600 pixels são um exemplo. Refira-se que algumas das marcas adoptam ecrãs com capacidade táctil (*touch-screen*), no sentido de facilitar a interface com o utilizador.

### ***Coneectividade***

A capacidade de comunicação dos osciloscópios de amostragem foi sem dúvida uma das razões para estes serem preferidos aos analógicos. As interfaces de comunicação mais comuns são: RS-232 (comunicação série), USB (*Universal Serial Bus*), GPIB (*General Purpose Interface Bus*, IEEE-488) e Ethernet (100 Mbit/s e 1 Gbit/s). Estas poderão ser disponibilizadas de série ou aparecer como módulos adicionais, exigindo a sua aquisição separadamente.



### 3. INTERLIGAÇÃO ENTRE O OSCILOSCÓPIO E OS CIRCUITOS EM ANÁLISE

#### 3.1. Conceitos introdutórios

A interligação entre qualquer instrumento de medição e o sistema sob medição é fundamental e desempenha um papel preponderante na qualidade da medição. Para garantir a medição mais exacta possível, devem evitarse os erros grosseiros e minimizar os erros sistemáticos. O efeito de carga é um exemplo de um erro sistemático e representa a alteração que um instrumento de medição introduz no sistema sob medição, resultando que o valor da grandeza medido não corresponde ao “original”, i.e. sem a influência do instrumento de medição. O facto de qualquer osciloscópio ter uma impedância interna não infinita vai provocar que, quando se liga (em paralelo) a um dado bipolo de um circuito, vá alterar esse mesmo circuito. Este efeito de carga provoca que o sinal medido pelo osciloscópio não seja igual ao sinal original que se pretende medir.

É neste contexto que os circuitos que interligam o osciloscópio e os circuitos sob análise – normalmente designados de pontas de prova – são de extrema importância, pois podem reduzir o efeito de carga do osciloscópio (ou aumentá-lo, em caso de mau dimensionamento ou má utilização). Este assunto é abordado na Secção 3.3.

Para uma utilização adequada dos instrumentos de medição, mais particularmente do osciloscópio, é também fundamental que se tenha uma noção clara do que é a massa de um equipamento e do que representa a ligação ou não ligação da massa à Terra. Entende-se por *massa* de um equipamento como qualquer elemento metálico susceptível de ser tocado. Esta está em regra isolada dos condutores activos (fase/neutro em instalações de corrente alternada, positivo/negativo em instalações de corrente contínua), mas pode ficar accidentalmente em tensão. A Terra representa a massa condutora de referência (da Terra), cujo potencial eléctrico é, em qualquer ponto, convencionalmente, igual a zero.

No caso concreto do osciloscópio, são importantes as seguintes considerações:

- A massa do osciloscópio é a carcaça ou parte da carcaça do aparelho que é normalmente ligada a um terceiro terminal na ficha de alimentação de corrente alternada (fase, neutro e massa). Se a tomada de alimentação tiver ligação de Terra, a massa do osciloscópio fica ligada à Terra. Se o osciloscópio tiver mais do que um canal, todos os canais partilham a mesma massa.
- Existem osciloscópios com classe dupla de isolamento cuja massa não é susceptível de ser tocada (não está ligada à carcaça), não disponibilizando a sua ligação à Terra (a ficha de alimentação apenas tem dois terminais). A massa destes osciloscópios fica portanto com um potencial “flutuante”. Existem ainda osciloscópios com massas independentes para cada canal. Isto significa que é possível ligar as massas de diferentes canais a potenciais eléctricos diferentes. Muitas vezes estes osciloscópios têm baterias que permitem a sua utilização sem estarem ligados à rede de energia, facilitando por isso a sua mobilidade.

- Uma ponta de prova tem (normalmente) uma ligação de sinal e uma ligação de massa. No caso de osciloscópios com mais do que um canal e com a massa partilhada, não vale a pena ligar mais do que uma ponta de prova à massa do circuito.

A Secção 3.2. endereça alguns aspectos importantes sobre a temática das ligações de massa e Terra.

### 3.2. Sobre ligações de massa e Terra

#### **Porquê ligar a massa do osciloscópio à Terra?**

Por regra e nos osciloscópios que o permitem, a massa do osciloscópio deve ser ligada à Terra, como medida de segurança. Se a massa de um osciloscópio não estiver ligada à Terra e qualquer elemento dessa massa ficar accidentalmente em tensão, o utilizador poderá sofrer um choque eléctrico. Por outro lado, se a massa estiver ligada à Terra, a corrente é veiculada directamente para a Terra, em vez de percorrer o corpo do utilizador (até à Terra). Mais ainda, se a instalação eléctrica a que o osciloscópio está ligado dispuser de um relé diferencial de protecção, qualquer contacto acidental à massa provoca o disparo do respectivo disjuntor (e consequentemente a abertura do circuito), protegendo os utilizadores de possíveis choques eléctricos.

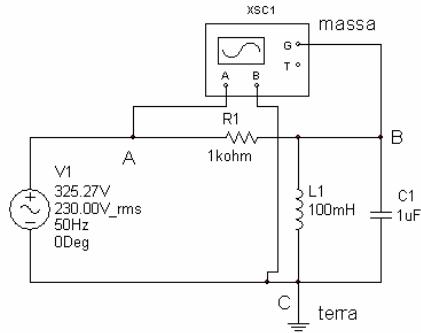
Com os osciloscópios de classe dupla de isolamento esta questão não se coloca, pois a ligação da massa (dos canais) à Terra não se efectua aquando da ligação da ficha de alimentação do osciloscópio à tomada de alimentação.

#### **Porquê não ligar a massa do osciloscópio à Terra?**

Dado que tensão eléctrica significa diferença de potencial entre dois pontos de um circuito eléctrico, para efectuar uma medição de tensão, é necessário que o osciloscópio tenha “acesso” a dois potenciais eléctricos. Um dos potenciais é obtido pelo terminal de sinal da ponta de prova (*retractable hook tip*, na Figura 20). O outro é obtido através do terminal de massa da ponta de prova (*alligator clip ground lead*, na Figura 20).

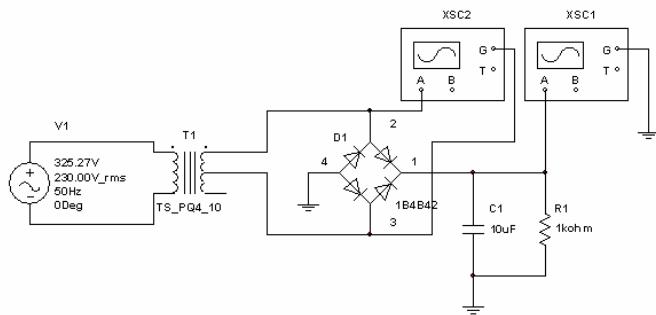
Devem ter-se em conta, no entanto, algumas excepções em que a massa de um osciloscópio deve ser desligada da Terra. Este procedimento é necessário quando queremos efectuar a medição de uma diferença de potencial entre dois pontos de um circuito em que nenhum deles é a massa.

Veja-se o exemplo prático do circuito apresentado na Figura 16. Imaginemos que se pretende analisar e comparar a tensão aos terminais da resistência –  $U_{AB}$  – e a tensão aos terminais do paralelo indutância/capacitância –  $U_{BC}$ . Como para medir  $U_{AB}$  é necessário colocar a massa do osciloscópio no ponto B, e tendo em consideração que o ponto B não é a Terra (ponto C), então forçosamente a massa do osciloscópio não pode estar ligada à Terra. A medição da tensão  $U_{BC}$  é feita ao contrário, ou seja, é medida a tensão inversa ( $U_{CB}$ ). No entanto, a maior parte dos osciloscópios permite inverter a polaridade das entradas (pelo menos de um dos canais), pelo que essa funcionalidade permitiria obter o sinal pretendido ( $U_{BC}$ ).



**Figura 16: Situação em que a massa dos osciloscópio não é ligada à Terra [12]**

Existem ainda situações em que são necessárias massas independentes para cada canal, caso contrário é necessário utilizar dois osciloscópios. Considere-se o exemplo apresentado na Figura 17, onde se pretende analisar e comparar a tensão (alternada) à saída do transformador –  $U_{23}$  – com a tensão (rectificada) à saída da ponte de diodos -  $U_{14}$ . Como nenhum dos pontos é comum, tem forçosamente de se utilizar um osciloscópio com massas independentes. No caso de não se dispor de tal equipamento, é necessário efectuar as medições separadamente ou recorrer a dois osciloscópios (é o caso do exemplo apresentado Figura 17).



**Figura 17: Situação requerendo massas independentes para cada canal [12]**

Outro aspecto importante a considerar é que nos casos em que a massa do circuito a testar está ligada à Terra, se utilizarmos um osciloscópio cuja massa está também ligada à Terra, não podemos ligar a massa do osciloscópio a outro ponto do circuito que não a sua massa, sob perigo de estarmos a efectuar um curto-circuito. Nestas situações, deve isolar-se a massa do osciloscópio da Terra (ou a massa do circuito da Terra), de modo a que a sua massa fique com um potencial flutuante. Deste modo, com uma das duas massas (ou do osciloscópio ou do circuito) isolada da Terra já podemos ligar o terminal de massa da ponta de prova a um ponto de potencial não nulo.

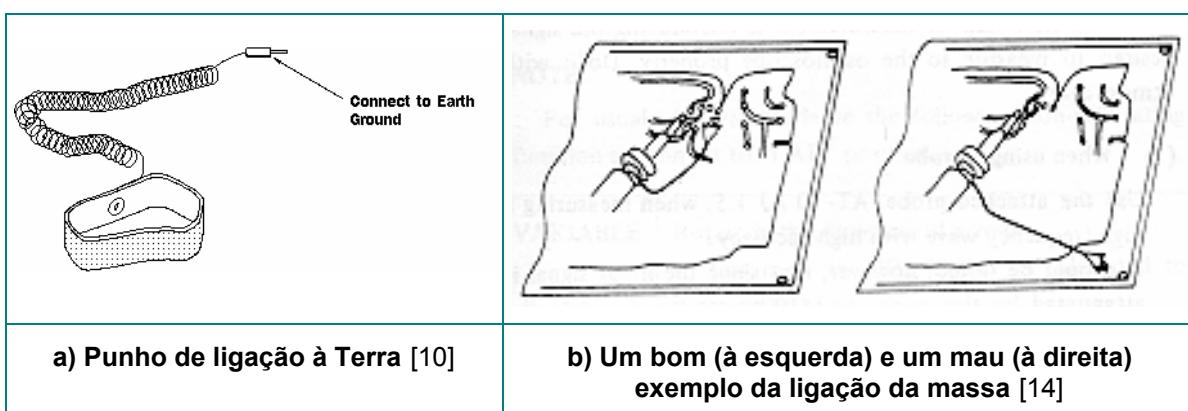
É muito importante ter em consideração que quando se isola a massa de um osciloscópio da Terra e a ligamos a um potencial não nulo, também a sua carcaça irá assumir esse potencial existindo o risco de choque eléctrico, devendo portanto ser tomados todos os cuidados.

Resumindo, os osciloscópios de classe dupla de isolamento com massas independentes para cada canal de entrada garantem uma total flexibilidade nos sinais a analisar e também o isolamento eléctrico entre o utilizador e o

osciloscópio. Dado que estes osciloscópios não são muito comuns, devemos pelo menos considerar a hipótese de ter um osciloscópio de classe dupla de isolamento com uma única massa (comum a todos os canais de entrada) flutuante. Este é o caso de todos os osciloscópios de mão (“hand-held”) analisados na Secção 6.

### Caso de circuitos especiais

No caso de se estar a trabalhar com circuitos integrados ou circuitos impressos, é conveniente ligarmos o nosso corpo à Terra. Este tipo de circuitos electrónicos têm condutores (pistas) extremamente estreitos e sensíveis que podem ser danificados por electricidade estática, simplesmente por andar ao longo de uma carpeta ou por tirar uma camisola e tocar no circuito em questão. Para resolver o problema atrás referido, é comum utilizar um punho de ligação à Terra que descarrega a electricidade estática para a Terra (Figura 18a).



**Figura 18: Ligação do corpo à Terra (a) e ligações de massa em circuitos impressos (b)**

No caso de estarmos a analisar sinais com variações muito rápidas (impulsos, degraus ou sinais de frequências elevadas) em circuitos impressos, devemos colocar o terminal de massa da ponta de prova o mais próximo possível do ponto a medir (Figura 18b). Quanto maior for o comprimento do fio (pista) condutor de massa, maior a distorção da forma de onda visualizada.

### 3.3. Pontas de prova

Tal como foi já referido no início desta secção, a ponta de prova (*probe*, em Inglês) é um elemento fundamental na medição de sinais com o osciloscópio, pois é o elemento de interligação entre este e os circuitos sob análise. É importante perceber que uma ponta de prova de um osciloscópio não é apenas um cabo com uma ponta especial. Na verdade, uma ponta de prova tem de ser cuidadosamente projectada e concebida para um dado osciloscópio e eventualmente até para cada aplicação. Uma ponta de prova também deve ser imune a interferências electromagnéticas (EMI), tanto de alta frequência como da rede eléctrica (50 Hz), no fundo evitando que funcione como uma antena.

Uma ponta de prova (conjuntamente com o osciloscópio) não deverá influenciar significativamente o circuito sob medição, i.e. deverá ter o menor efeito de carga possível. Contudo, nenhum instrumento de medição se pode comportar como um observador invisível. Tal como foi já referido, esta interferência (indesejável) do conjunto osciloscópio e ponta de prova nos circuitos é chamada de efeito de

carga. Para minimizar este efeito, devem utilizar-se pontas de prova passivas de tensão com atenuação e proceder-se à compensação das pontas de prova, antes do processo de medição, ou então pontas de prova activas, como brevemente explicado a seguir.

### Tipos de pontas de prova

A maior parte dos osciloscópios trazem como acessório, por defeito, duas pontas de prova passivas (de tensão) com atenuação de 10 vezes (10X). Estas são adequadas a aplicações genéricas de teste e diagnóstico. Para medições mais específicas existem outros tipos de pontas de prova, nomeadamente as pontas de provas activas (de tensão) e as pontas de prova de corrente, também denominadas de pinças amperimétricas.

As pontas de prova mais comuns podem então classificar-se da seguinte forma:

Tensão	Passivas	tipo divisor de impedância com atenuação (por vezes regulável); mais usuais: 1X – dezenas de mV até dezenas de V 10X – centenas de mV até centenas de V alta tensão: 100X, 1000X
	Activas	com pré-amplificação do sinal de entrada; maior impedância de entrada implica menor efeito de carga, sem implicar atenuação; permitem maior comprimento do cabo; gama de tensões admissível 0,5 V - 10 V
Corrente	Passivas	tipo transformador de intensidade; apenas para correntes alternadas; correntes de alguns A até alguns kA largura de banda 1 Hz – 1 GHz
	Activas	usam sensor de Efeito Hall; para qualquer tipo de forma de onda; correntes de alguns A até alguns kA largura de banda 0 Hz – 100 MHz

**Figura 19: Tipos de pontas de prova mais comuns**

É feita a seguir uma breve descrição dos tipos de pontas de prova mais comuns, dando maior ênfase às pontas de prova passivas de tensão, dado que, sendo as mais versáteis e económicas, são portanto as mais utilizadas.

## Pontas de prova de tensão

A maior parte das pontas de prova passivas (Figura 20) têm um factor de atenuação, isto é, atenuam o sinal de entrada de 10X (lê-se dez vezes) ou 100X. Por convenção, os factores de atenuação têm o X depois do factor (tal como as pontas atenuadoras de 10X). Opostamente, factores de amplificação têm o X primeiro (tal como no caso de um comando de amplificação vertical de X5).

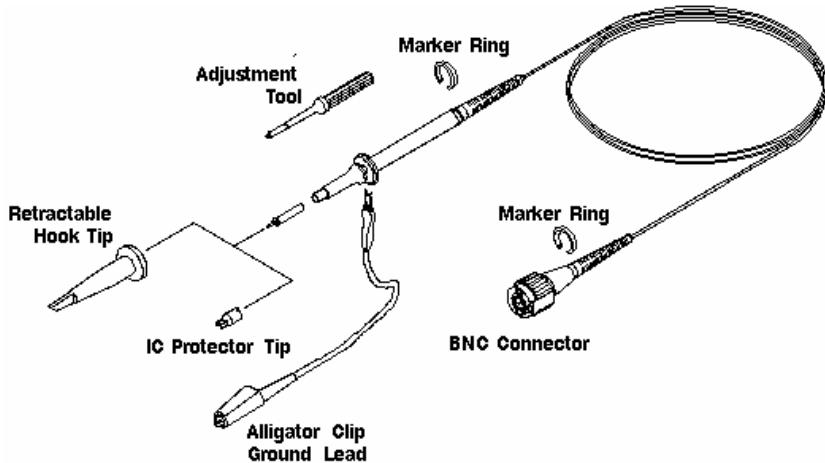


Figura 20: Ponta de prova passiva e seus acessórios [10]

A ponta de prova que normalmente vem como acessório de um osciloscópio é a atenuadora de 10X. Esta é muito versátil pois serve para um grande número de aplicações e reduz o efeito de carga nos circuitos. Dado que o efeito de carga se torna mais pronunciado quanto maior for a frequência dos sinais a analisar, aconselha-se a utilização destas pontas de prova para frequências superiores a 5 KHz. Embora estas pontas contribuam para uma maior exactidão nas medições, os sinais são atenuados de 10X, o que para sinais de amplitude muito pequena (< 10 mV) pode ser inadequado. Por isso, algumas pontas de prova vêm com um comutador que permite escolher entre dois valores de atenuação, normalmente 10X e 1X. É fundamental confirmar a posição deste comutador antes de efectuar qualquer medição, de modo a não cometer erros grosseiros.

Grande parte dos osciloscópios de amostragem detecta automaticamente ou pelo menos permite definir (através da escolha do factor de atenuação num dado menu) a atenuação da ponta de prova, ajustando automaticamente as indicações no seu ecrã. Quando a atenuação é de 100X ou 1000X, diz-se que a ponta de prova é de alta tensão, pois permite analisar tensões acima de 1 kV.

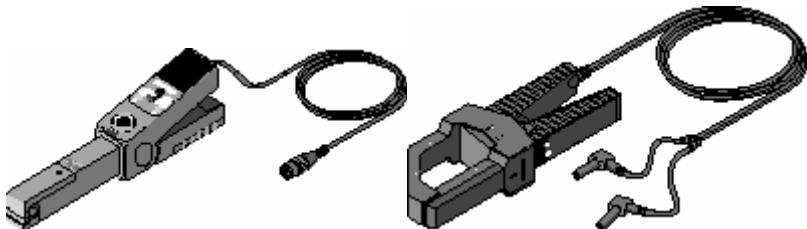
As pontas de prova activas de tensão efectuam uma amplificação do sinal original antes de este entrar no osciloscópio. Este efeito de amplificação pode ser aproveitado nomeadamente para aumentar o comprimento do cabo (coaxial) entre o terminal (e.g. gancho) da ponta e o osciloscópio (dado que a amplificação o permite). Mais importante ainda, dado que a impedância de entrada destas pontas de prova é extremamente elevada (tanto em termos de resistência como de reactância capacitiva), permitem reduzir significativamente o efeito de carga nos circuitos em análise (e sem introduzir atenuação, como é o caso das pontas passivas).

Obviamente não são só aspectos positivos face às pontas passivas. As pontas de prova activas de tensão requerem uma fonte de alimentação. Adicionalmente,

apresentam uma gama muito restrita de tensões de entrada, sendo valores típicos entre os 0,5 V e os 10 V. Tensões superiores poderão danificar a ponta de prova.

### Pontas de prova de corrente

As pontas de prova de corrente (ou pinças amperimétricas) permitem analisar correntes eléctricas. Estas estão disponíveis para a medição tanto de correntes contínuas e alternadas, bem como outros tipos de formas de onda de corrente. Estas pontas de prova (Figura 21) têm um dispositivo (pinça) que abraça o condutor cuja corrente se pretende analisar. Dado que nada é inserido no circuito (nem em série, nem em paralelo), as pontas de corrente têm um efeito de carga praticamente nulo.



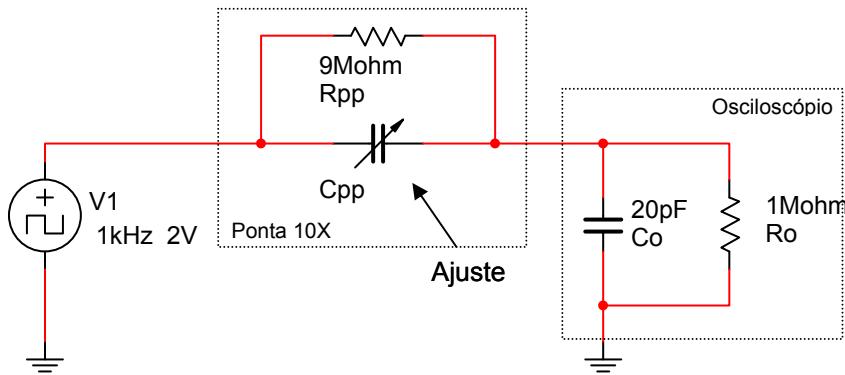
**Figura 21: Pontas de prova de corrente [15]**

Quanto ao princípio de funcionamento, podem distinguir-se as pontas de corrente passivas e activas. As pontas de corrente passivas apenas medem corrente alternada. Estas funcionam segundo o princípio do “transformador de intensidade”: o primário é constituído pelo próprio condutor cuja corrente está em análise e o secundário é um transformador (embebido na pinça) que transforma a variação do campo electromagnético gerado pela corrente no condutor numa f.e.m., que é transmitida ao sistema vertical do osciloscópio. A gama de frequências habitual vai desde alguns hertz até 1 gigahertz.

Existem no entanto pontas de prova que permitem adicionalmente medir correntes contínuas e outras formas de corrente não sinusoidais – as pontas de corrente activas. Estas baseiam o seu funcionamento num dispositivo de *Efeito Hall* que mede a intensidade do campo magnético gerado pelo condutor (ver ‘Apêndice A – Princípio do Efeito Hall’).

### 3.4. Compensação do circuito de atenuação

Antes de utilizar uma ponta de prova atenuadora temos de a “adaptar” às características do osciloscópio a que a estamos a ligar. Isto faz-se ajustando o valor de um condensador variável existente na ponta de prova ( $C_{pp}$ , na Figura 22) de modo a que o conjunto osciloscópio e ponta de prova provoquem o menor efeito de carga nos circuitos a que vão estar ligados. Chama-se a este processo a compensação do circuito atenuador (ou compensação da ponta de prova).



**Figura 22: Esquema eléctrico de ponta 10X e osciloscópio típicos (massa não representada)**

Como se pode ver na Figura 22, no caso de um osciloscópio não podemos falar apenas de uma resistência interna. Devemos ter em conta uma capacidade ligada em paralelo com uma resistência, falando-se portanto de uma impedância interna. Tal como já foi referido a impedância de entrada de um osciloscópio deve ser o mais elevada possível, sendo valores típicos de  $1\text{ M}\Omega$  para a resistência e de 10 a  $80\text{ pF}$  para a capacidade.

Dado que a impedância interna do osciloscópio é fixa (não se altera) e que pretendemos ter sempre o mesmo factor de atenuação, independentemente do valor da frequência, teremos de recorrer a uma ponta de prova do tipo RC, isto é, uma resistência em paralelo com um condensador variável (Figura 22). A variação da capacidade deste condensador permite fazer a compensação do circuito de atenuação, tal como vamos ver a seguir.

Se considerarmos  $R_{pp}$  e  $C_{pp}$  como a resistência e a capacidade da ponta de prova, e  $R_o$  e  $C_o$  como a resistência e a capacidade do osciloscópio e  $U_{in}$  e  $U_o$ , respectivamente a tensão de entrada e a tensão no osciloscópio, pode provar-se (ver ‘Apêndice B – Compensação do Circuito de Atenuação: prova’) que se:

$$R_o \cdot C_o = R_{pp} \cdot C_{pp}$$

então

$$U_o = U_{in} \cdot \frac{R_o}{R_{pp} + R_o}$$

Ou seja, a atenuação obtida é constante e independente da frequência do sinal de entrada.

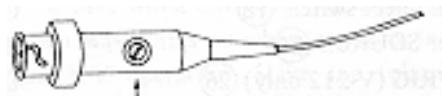
No caso do osciloscópio ter uma resistência interna de  $1 \text{ M}\Omega$ , para obtermos uma atenuação de  $10X$ , teremos de ter a ponta de prova com uma resistência de  $9 \text{ M}\Omega$ , tal como podemos ver a seguir:

$$\frac{U_o}{U_{in}} = \frac{R_o}{R_{pp} + R_o} \wedge R_o = 1 \text{ M}\Omega \wedge R_{pp} = 9 \text{ M}\Omega \Rightarrow \frac{U_o}{U_{in}} = \frac{1}{9+1} = \frac{1}{10}$$

Para auxiliar este procedimento de ajuste, os osciloscópios dispõem normalmente de um sinal de referência na forma de onda quadrada, que está disponível no painel frontal (*CAL .5 V* do osciloscópio representado na Figura 26). O osciloscópio poderá disponibilizar um ou mais sinais de calibração – ondas quadradas, sendo valores comuns  $0,2 - 2 \text{ V}$  de tensão pico-a-pico e  $1-1000 \text{ kHz}$  de frequência.

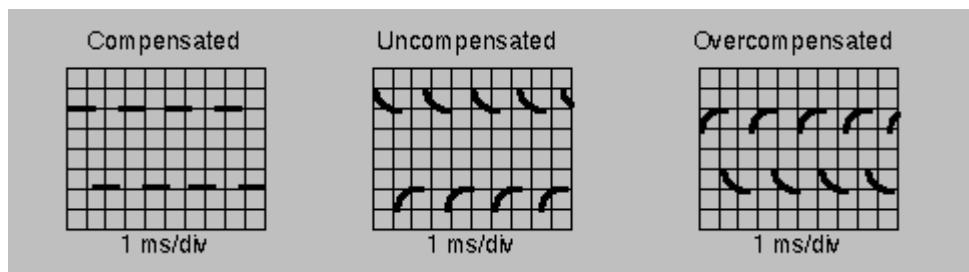
A sequência de operações para compensar o circuito de atenuação é a seguinte:

1. Ligar o conector da ponta de prova à entrada do canal (1 ou 2);
2. Ligar a ponta de prova ao terminal de calibração (*CAL*, normalmente). Não é necessário ligar a massa da ponta de prova à massa, pois isso já é feito internamente.
3. Analisar o sinal visualizado.
4. Ajustar a capacidade do condensador variável da ponta de prova (Figura 23), por intermédio de uma chave de ajuste, de modo a que os cantos da onda quadrada formem ângulos rectos.



**Figura 23: Parafuso de ajuste para compensação de uma ponta de prova [14]**

Na Figura 24 pode ver-se, de cima para baixo, o resultado de uma compensação correcta, de uma subcompensação (capacidade demasiado pequena) e de uma sobrecompensação (capacidade demasiado grande).



**Figura 24: Efeitos da boa ou má compensação de uma ponta de prova [16]**

A chave de ajuste (*Adjustment Tool*, na Figura 20) é normalmente fornecida com a ponta de prova e é construída em material plástico, de forma a evitar a introdução de perturbações electromagnéticas no circuito.



## 4. COMANDOS FUNDAMENTAIS

### 4.1. Considerações iniciais

Esta secção descreve os comandos fundamentais dos osciloscópios analógicos e de amostragem. Note-se que os osciloscópios de amostragem normalmente apresentam um conjunto mais alargado de comandos e funcionalidades. Estes não são endereçados tendo em consideração:

- o objectivo introdutório deste documento, salientando apenas os comandos e funcionalidades encontrados na generalidade dos osciloscópios, no sentido de ajudar o leitor a iniciar-se na sua utilização;
- que estes comandos e funcionalidades dependem muito de marca para marca e de modelo para modelo;
- que a grande facilidade de utilização da maior parte dos osciloscópios de amostragem, apoiada muitas vezes por sistemas de ajuda interactiva (*online help*), torna relativamente simples a aprendizagem do seu funcionamento “à medida que se vão utilizando”.

A Figura 25 apresenta os blocos de comandos do osciloscópio HITACHI V-312 ([14]) cujo painel frontal se apresenta na Figura 26. Esta secção utiliza este osciloscópio como exemplo por ser representativo de um osciloscópio analógico clássico e também por pertencer ao acervo de equipamento de alguns laboratórios do ISEP.

<b>Comandos do Ecrã</b>	<b>Comandos do Sistema Horizontal (base de tempo)</b>
POWER Interruptor de ligar/desligar	TIME/DIV Ajuste discreto (e calibrado) da velocidade de varrimento
INTENSITY Intensidade do traço	SWP VAR Ajuste contínuo (descalibrado) da velocidade de varrimento
FOCUS Focagem do feixe	POSITION (rodar botão) Posicionamento horizontal do sinal
TRACE ROTATION Rotação do traço	PULL X10 MAG (puxar botão) Magnificação horizontal de 10 vezes (X10)
<b>Comandos/entradas do sistema vertical (CH1 e CH2)</b>	
INPUT Terminal de ligação do sinal	<b>Comandos/entradas do sistema de sincronismo (trigger)</b>
AC/GND/DC Acoplamento de entrada	TRIG IN Terminal de ligação de uma fonte de sincronismo externa
VOLTS/DIV (botão exterior) Ganho vertical (ajuste discreto)	SOURCE Fonte do sistema de sincronismo (INT, LINE, EXT)
VOLTS/DIV (botão interior) Ganho vertical (ajuste contínuo) e amplificação de 5 vezes (X5)	INT TRIG Fonte de sincronismo interna (CH1, CH2, VERT MODE)
POSITION (PULL INVERT) Posicionamento vertical (inversão da polaridade – só CH2)	MODE Modo do sistema de sincronismo (AUTO, NORM, TV-V, TV-H)
MODE Modo de visualização (CH1, CH2, ALT, CHOP, ADD)	LEVEL (rodar botão) nível de trigger
	PULL (-) SLOPE (puxar botão) inclinação de trigger

Figura 25: Blocos de comandos do osciloscópio HITACHI V-312 [14]



**Figura 26: Osciloscópio analógico clássico [14]**

Seguidamente apresenta-se uma descrição mais detalhada deste comando.

## 4.2. Comandos do ecrã

Embora os comandos do ecrã variem um pouco dos osciloscópios analógicos para os de amostragem, alguns deles são comuns, nomeadamente:

### Comando de Intensidade (*INTENSITY*)

Este comando permite ajustar a intensidade (brilho) do traço. É natural que à medida que se aumenta a velocidade de varrimento, haja necessidade de aumentar a intensidade do traço (maior velocidade implica menor persistência do feixe de electrões).

### Comando de Focagem (*FOCUS*)

O comando de focagem permite focar o feixe de electrões, de forma a que no momento em que este atinge o ecrã se obtenha um ponto tão pequeno quanto possível. Assim, por acção do varrimento, obtém-se um traço fino, permitindo uma maior exactidão nas medições (de tensão e temporais). Os osciloscópios de amostragem que não têm ecrãs baseados em CRT não dispõem deste comando.

### Comando de Rotação do Traço (*TRACE ROTATION*)

O comando de rotação do traço serve para alinhar o traço com o eixo horizontal do ecrã. A variação do campo magnético (terrestre ou de outra fonte) existente no local onde se opera o osciloscópio pode influenciar o alinhamento do traço (apesar dos CRTs terem uma blindagem contra interferências electromagnéticas). Os osciloscópios de amostragem que não têm ecrãs baseados em CRT não dispõem deste comando.

### Outros comandos

Outros comandos poderão permitir o ajuste da intensidade da grelha (divisões) ou da intensidade luminosa do ecrã, ou ainda possibilitar o controlo de informação possível de visualizar no ecrã (menus, valores de amplificação vertical, base de tempo, acoplamento, período, valor de pico, etc.). Estes últimos comandos são mais comuns nos osciloscópios de amostragem, embora também se encontrem, de forma limitada, em alguns osciloscópios analógicos de custo mais elevado.

## 4.3. Comandos do Sistema Vertical

Primariamente, os comandos do sistema vertical servem para ajustar a forma de onda verticalmente. Adicionalmente, existem ainda outros comandos para escolher o acoplamento do sinal ou outro tipo de condicionamento de sinal.

### Comando de Posição (*POSITION*)

O comando de posição vertical permite deslocar a forma de onda para cima e para baixo, de modo a posicioná-la exactamente no sítio desejado do ecrã.

Um exemplo do interesse deste comando é a visualização de sinais com componente contínua, onde é útil compensar a existência desta componente com o posicionamento da forma de onda mais para cima (se a componente contínua for negativa), ou mais para baixo (se a componente contínua for positiva).

Outro exemplo da utilidade deste comando é quando pretendemos medir amplitudes de tensão ou de tempo com uma maior exactidão. Por exemplo, para melhor medir a tensão pico-a-pico de uma onda, podemos posicionar um dos picos em cima de uma divisão da graduação da escala vertical, e fazer a medição com maior facilidade, reduzindo o risco de cometer erros grosseiros.

Quando pretendemos visualizar dois sinais simultaneamente no ecrã, é também útil regular o posicionamento vertical de ambos os canais, de modo que haja ou não sobreposição das formas de onda, dependendo do que necessitarmos.

### **Comando de Amplificação Vertical (*VOLTS/DIV*)**

O comando de amplificação vertical controla um factor de escala. Por exemplo, se escolhermos a amplificação de 5 Volt/Div e assumindo um ecrã com 8 divisões verticais, então cada uma das oito divisões (verticais) representa 5 V e na totalidade do ecrã podemos ter 40 Volt. Se a escolha é de 0.5 Volt/Div, o ecrã pode mostrar 4 V de baixo até cima. O valor máximo de tensão que se pode visualizar no ecrã é igual ao maior valor de Volt/Div a multiplicar pelo número de divisões verticais. Nos osciloscópios que não detectam automaticamente nem permitem definir *a priori* a atenuação da ponta de prova, esta deve ter-se em consideração para os cálculos das amplitudes de tensão.

É comum haver um outro comando para o ajuste contínuo do ganho (escolhendo *VAR ON* e ajustando em *VOLTS/DIV*). Este comando é utilizado na medição do tempo de subida (*rise time*) de impulsos ou ondas quadradas, processo que é explicado mais à frente.

### **Comando de Acoplamento de Entrada (*AC/GND/DC*)**

Como acoplamento entende-se o método utilizado para ligar um sinal eléctrico entre dois circuitos. Neste caso particular, o acoplamento de entrada é o método de ligação entre o circuito sob análise e o osciloscópio. O acoplamento pode ser:

- DC (*Direct Current*)

O sinal é mostrado como existe na realidade (não é alterado).

- AC (*Alternated Current*)

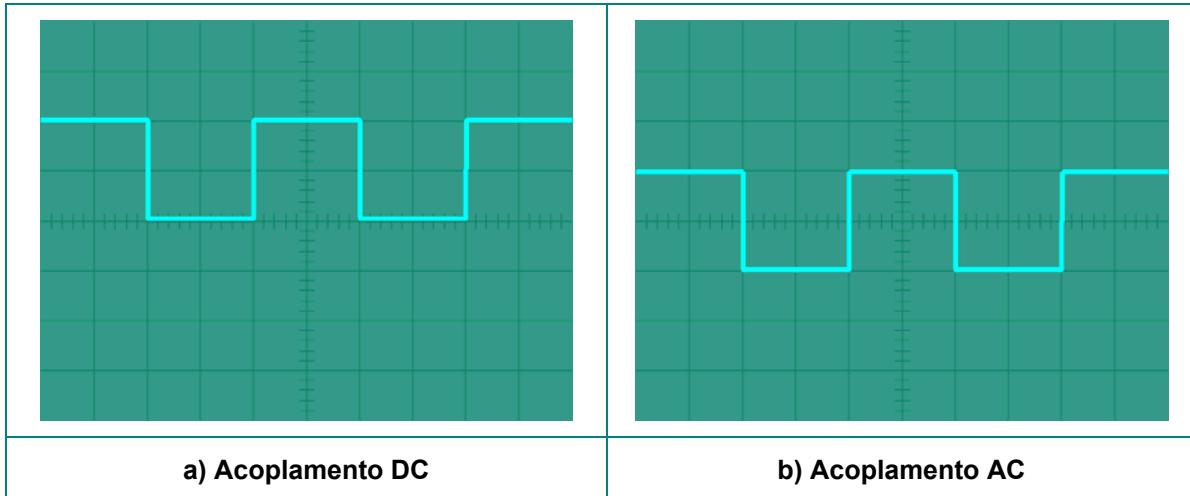
É filtrada a componente contínua do sinal, através de um condensador colocado em série (o sinal aparece “centrado” em zero Volt, isto é, com igual área positiva e negativa – média nula).

- GND (*Ground*)

O sinal de entrada é desligado do sistema vertical, ficando a entrada do canal ligada à massa do osciloscópio. Desta forma é possível colocar o traço (horizontal) na posição (vertical) que se deseja.

Da experiência do autor, é muito frequente haver confusão acerca das funcionalidades destes comandos, pelos acrónimos escolhidos não serem os mais felizes pois coincidem com os acrónimos utilizados para corrente contínua e alternada. Para uma melhor clarificação consideremos o exemplo seguinte. Assumamos que se aplica uma onda quadrada de 2 V de amplitude pico-a-pico, com 2 V de componente contínua e 4 ms de período a um osciloscópio. Considerando que o GND (0 V) está posicionado no eixo horizontal, que o ganho

vertical é de 1 V/Div e que a velocidade de varrimento é 1 ms/Div, a Figura 27 exemplifica a diferença entre a escolha de acoplamento DC (Figura 27a) e AC (Figura 27b).



**Figura 27: Visualização de um sinal com componente contínua para acoplamentos de entrada DC (a) e AC (b) [13]**

Na prática, é possível “sentir” a carga do condensador no acoplamento AC da seguinte forma. Se tivermos um sinal de entrada do tipo do apresentado na Figura 27 e passarmos de acoplamento DC para AC, verificamos que é possível visualizar a forma de onda a descer, até se estabilizar centrando-se em torno do eixo horizontal. Isto deve-se ao facto de o condensador ter uma capacidade não desprezável, demorando portanto um certo tempo (meio segundo é um valor normal) a carregar-se totalmente (com a componente contínua do sinal).

### Comando de Inversão do Sinal (**PULL INVERT**)

A maior parte dos osciloscópios têm uma função que permite a inversão de um ou todos os sinais de entrada. Esta funcionalidade tem interesse, por exemplo, quando fazemos análise a dois canais e somos obrigados a adquirir o simétrico de um dos sinais, por imposição do ponto de massa ser comum (ver exemplo relativo ao circuito apresentado na Figura 16). Nesse caso, é necessário “voltar” a inverter o sinal invertido para que ele adquira a sua forma original. Este tema vai ser desenvolvido na análise a dois canais, mais à frente.

Este comando também é útil quando se pretende subtrair dois sinais. Neste caso, adiciona-se um sinal com o simétrico do segundo. Um exemplo do interesse desta função (de subtração) é poder visualizar a componente contínua de um sinal, se introduzirmos o mesmo sinal nos dois canais, mas com acoplamento DC num e acoplamento AC noutro, invertendo o último e somando (função **ADD**), explorado a seguir.

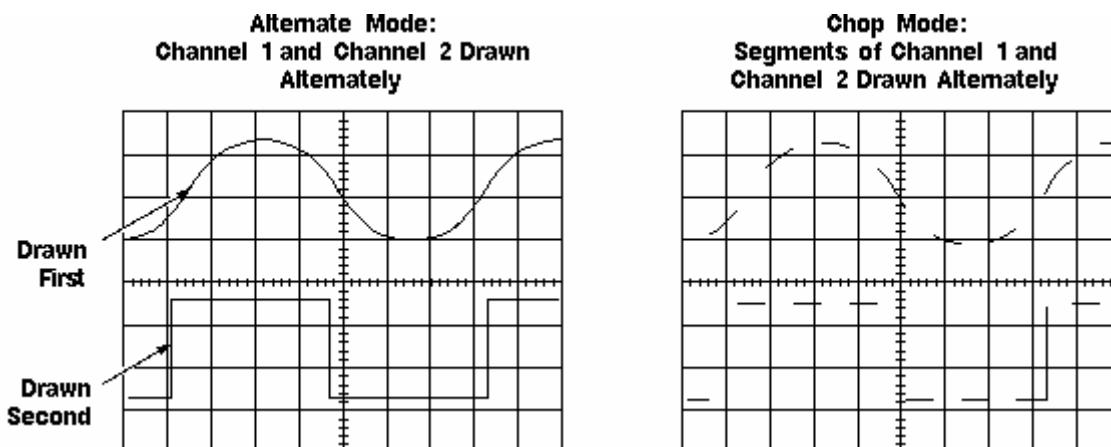
### Comando de Modo de Visualização (**CH1/CH2/ALT/CHOP/ADD**)

Este comando permite seleccionar a visualização de apenas o canal 1 (**CH1**), apenas o canal 2 (**CH2**), os dois canais simultaneamente (**ALT/CHOP**) e a soma das duas entradas (**ADD**).

São frequentes as situações em que necessitamos de visualizar dois sinais simultaneamente (ou mais, se o osciloscópio o permitir), de modo a os podermos analisar e comparar entre si (e.g. entrada e saída de um andar amplificador).

No caso dos osciloscópios cujo ecrã se baseia num CRT, não haverá dois feixes de electrões a fazer o varrimento do ecrã. Por isso tem de haver um mecanismo que “iluda” a visão do utilizador, desenhando os dois sinais alternadamente, mas evitando que o utilizador se aperceba disso. Nos osciloscópios analógicos, a visualização simultânea de múltiplos canais é então feita através de um de dois modos: alternado (*alternated*) ou segmentado (*chopped*). Nos osciloscópios cujo ecrã não se baseia num CRT, não faz sentido falar em modos de visualização, pois a imagem é desenhada a partir de uma memória gráfica. A Figura 28 ilustra a diferença entre os modos alternado e segmentado.

O modo normal de visualização de dois canais é o alternado. Neste modo, cada sinal é desenhado alternadamente, isto é, num varrimento desenha-se o sinal aplicado ao canal 1 e no varrimento seguinte desenha-se o sinal aplicado ao canal 2, e assim consecutivamente. Este é o melhor modo de visualização para sinais com frequência acima de cerca de 100 Hz, isto é quando a velocidade de varrimento escolhida é igual a 2 ms/Div ou superior (i.e. 1 ms/Div, 0,5 ms/Div, 0,2 ms/Div,...).



**Figura 28: Modos de visualização alternado e segmentado [10]**

No modo alternado, para sinais de variação mais lenta (< 100 Hz), a velocidade de varrimento também terá de ser inferior (para poder visualizar pelo menos um período do sinal) e consequentemente os nossos olhos começam a aperceber-se duma cintilação das duas formas de onda. Se os sinais forem mesmo muito lentos (< 5 Hz), é possível detectar-se a sequência de varrimento do modo alternado, isto é, detecta-se que o osciloscópio desenha primeiro um sinal e depois outro. Este facto, acrescido de que a fosforescência do fósforo é limitada, torna este modo de visualização inadequado para sinais de baixa frequência. Justifica-se então a escolha do modo segmentado (*chopped*).

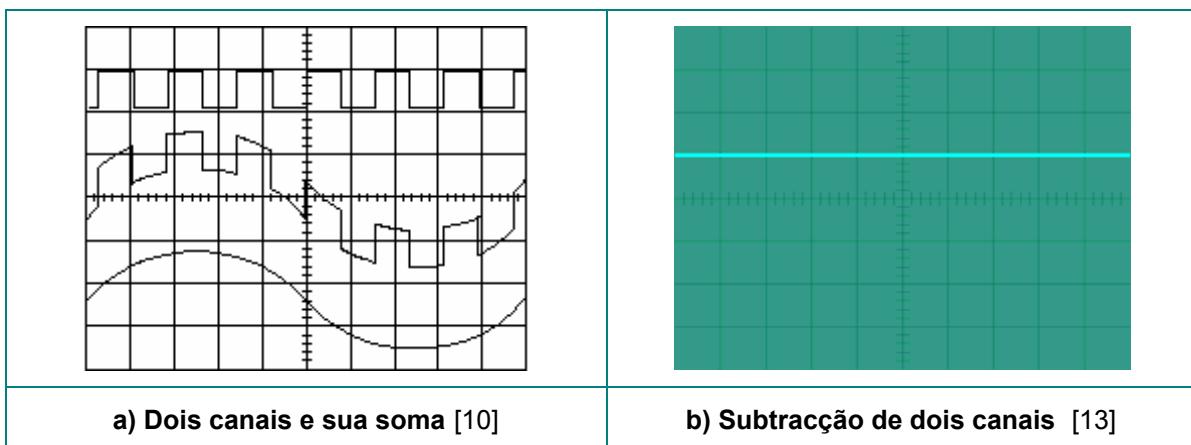
No modo segmentado (*chopped*), o osciloscópio desenha os dois canais aos bocadinhos, isto é, desenha um bocadinho do canal 1, um bocadinho do canal 2, um bocadinho do canal 1, etc. Claro que esta comutação entre os dois canais é feita suficientemente depressa (250 Khz é a frequência de comutação para o osciloscópio apresentado na Figura 26) para não ser detectável pelo utilizador.

A Figura 28, tendo objectivos didácticos, apresenta uma aplicação infeliz do modo segmentado, dado que os sinais visualizados têm uma frequência apenas (cerca de) oito vezes inferior à frequência de comutação do modo segmentado (repare-se que para um período de um sinal corresponde a cerca de oito períodos de comutação). Note-se que muitas vezes é útil visualizar os sinais em ambos os modos para poder escolher o mais adequado.

### Comando de Adição de Sinais (**ADD**)

Mesmo os osciloscópios analógicos mais baratos têm a possibilidade de adicionar (matematicamente) os dois canais. Enquanto que os osciloscópios analógicos somam os sinais através de um amplificador operacional, os osciloscópios digitais fazem-no através da soma de valores binários (por microprocessador, ou outro processo digital).

Um exemplo da soma de dois canais pode ser visualizado na Figura 29a.



**Figura 29:** Exemplo da soma de dois canais (a) e da visualização da componente contínua do sinal apresentado na Figura 27 (b)

Tal como foi já referido atrás, a subtracção de duas formas de onda é também possível somando um canal com o simétrico do outro canal, usando a função de inversão (*PULL INVERT*). Esta funcionalidade é exemplificada na visualização da componente contínua do sinal apresentado na Figura 27. Ligando ambos os canais ao mesmo sinal (onda quadrada com componente contínua), pondo o canal 1 em acoplamento DC (Figura 27a), pondo o canal 2 em acoplamento AC (Figura 27b), invertendo o canal 2 e somando ambos os canais obtém-se a forma de onda apresentada na Figura 29b – a componente contínua do sinal original.

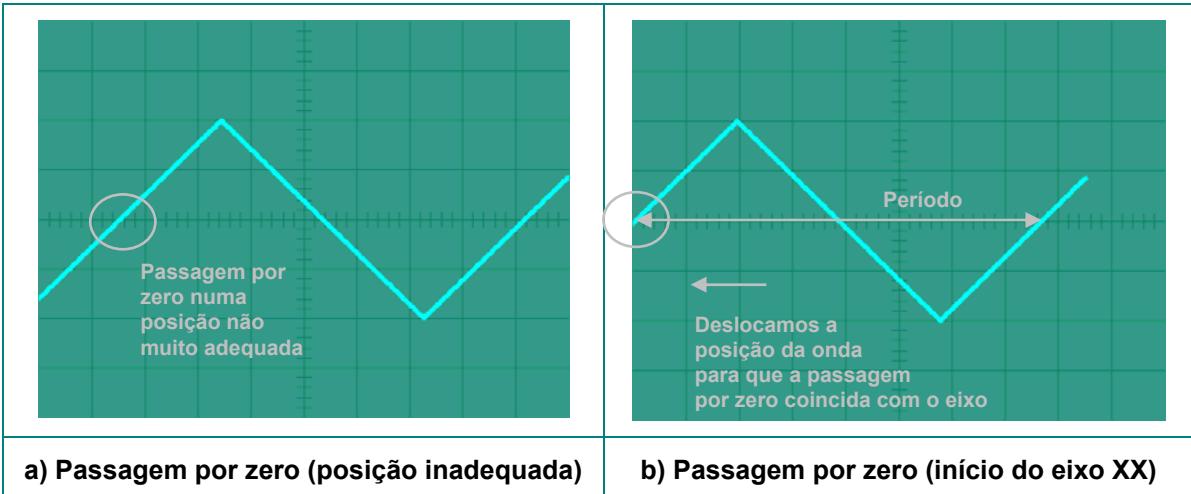
### 4.4. Comandos do Sistema Horizontal

Fundamentalmente, os comandos do sistema horizontal (ou da base de tempo) permitem variar a velocidade de varrimento do traço, de forma a que se consigam analisar sinais com uma gama alargada de frequências e movimentar a forma de onda na horizontal, para uma melhor análise.

### Comando de Posicionamento (**POSITION**)

O comando de posicionamento horizontal permite deslocar a forma de onda para a esquerda ou para a direita. Este procedimento é útil, por exemplo quando pretendemos efectuar a medição do período de um sinal. Neste caso, consegue

medir-se mais facilmente o período do sinal se o deslocarmos na horizontal, de modo a que um ponto de referência da forma de onda (passagem por zero, por exemplo) coincida com uma das divisões do osciloscópio.

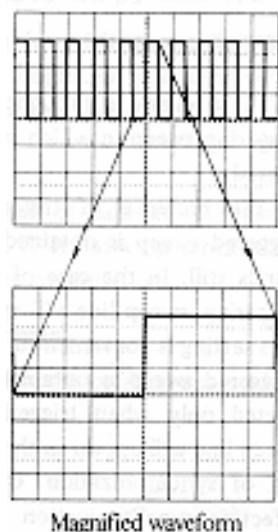


**Figura 30: Posicionamento horizontal para efectuar medição do período de um sinal [13]**

Outro exemplo é quando pretendemos fazer “zoom” de uma parte do sinal. Esta “magnificação” temporal do sinal é conseguida através do comando *PULL X10 MAG* (explicado a seguir), que necessita que a parte a magnificar esteja centrada no ecrã. Para centrar a forma de onda é necessário recorrer ao comando *POSITION*.

#### Comando de Magnificação Horizontal (*PULL X10 MAG*)

Tal como se pode ver na Figura 31, este comando permite fazer uma magnificação (zoom) temporal da forma de onda. Esta funcionalidade pode ser útil quando queremos visualizar certa parte de uma forma de onda com maior pormenor.



**Figura 31: Magnificação horizontal [14]**

Tendo em conta que, normalmente, a magnificação é de 10 vezes e existem 10 divisões horizontais, implica que o que antes estava desenhado apenas numa

divisão (horizontal) passa a estar desenhado em 10 divisões. A parte da forma de onda a ser magnificada deverá ser posicionada no centro (horizontal) do ecrã, com um intervalo de meia divisão para a esquerda e para a direita (Figura 31). Note-se que o facto de haver uma magnificação temporal de 10 vezes significa que a velocidade de varrimento é dez vezes superior.

### Comando de Velocidade de Varrimento (*TIME/DIV*)

A regulação deste comando permite variar a velocidade com que as formas de onda são desenhadas. Sinais de maior frequência deverão ser desenhados depressa ( $\mu\text{s}-\text{ns}$ ) enquanto que sinais de variação lenta devem ser desenhados mais devagar ( $\text{ms-s}$ ). Por exemplo, se a escolha for de 1 ms/Div, cada divisão horizontal representa 1 ms e o ecrã todo (10 divisões) representa 10 ms. No caso de estarmos a analisar a tensão da rede eléctrica nacional (50 Hz) e sendo o seu período de 20 ms, apenas veríamos metade do período. Para podermos visualizar um período completo do sinal, teríamos de tornar o varrimento mais lento, isto é, passar para 2 ms/Div.

Nos osciloscópios analógicos, este comando (ou um botão à parte) permite ainda colocar o osciloscópio no modo XY, em que a forma desenhada no ecrã é o sinal ligado ao canal 1 em função não do tempo, mas do sinal ligado ao canal 2. Uma aplicação deste modo de funcionamento é a medição de desfasamentos entre sinais e será explicada mais tarde, nas técnicas de medição.

Existe também um outro comando associado que permite variar a velocidade de varrimento, de um modo contínuo - *SWP VAR*. Esta acção tem interesse quando queremos medir fase ou desfasamento, tal como é explicado em ‘5.6. Medição de desfasamento’. É importante notar que esta opção não deve ser activada quando pretendemos efectuar medições de tempo, sob pena de cometer erros grosseiros.

## 4.5. Comandos do Sistema de Sincronismo

Tal como foi já referido na Secção 2, o sistema de sincronismo permite obter uma imagem estabilizada de sinais periódicos e, nos osciloscópios de amostragem, visualizar correctamente sinais transitórios. Se o varrimento não fosse disparado pelo sistema de sincronismo, em cada varrimento o sinal começaria a ser desenhado num sítio diferente, levando a uma imagem instável.

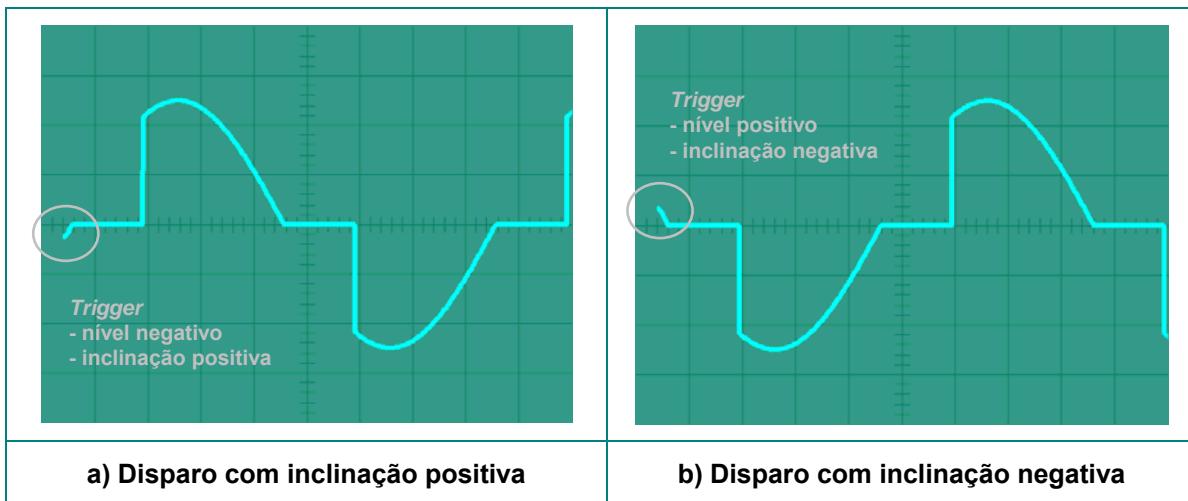
### Comandos do Nível (*Level*) e da Inclinação (*Slope*) do Disparo (*Trigger*)

Estes dois comandos são, de algum modo, indissociáveis, dado que a conjugação dos seus valores vai definir o momento do disparo do varrimento (o momento em que se começa a desenhar a forma de onda).

O circuito de disparo (*trigger*) age como um comparador. O utilizador define o nível e a inclinação da tensão de uma das entradas do comparador. Na outra entrada do comparador está o sinal de entrada (a ser comparado). Quando o sinal de entrada verifica as condições predefinidas (nível e inclinação de tensão), o osciloscópio dispara o varrimento.

A inclinação do disparo define se o disparo se faz na subida (inclinação positiva) ou na descida (inclinação negativa) do sinal de entrada. O nível de disparo determina em que nível de tensão do sinal de entrada é que se dá o disparo.

A Figura 32 mostra como o nível e a inclinação do disparo alteram o modo como uma forma de onda é visualizada.



**Figura 32:** Sinal visualizado com nível de *trigger* negativo e inclinação positiva (a) e nível de *trigger* positivo e inclinação negativa (b) [13]

Os comandos de nível e inclinação de *trigger* encontram-se sempre tanto nos osciloscópios analógicos como nos osciloscópios de amostragem. No entanto, o facto de os osciloscópios de amostragem permitirem a visualização de amostras do sinal antes do momento do disparo torna a visualização dos sinais muito mais flexível.

### Comando da Fonte de Disparo (*Trigger Source*)

Na maior parte das aplicações, o próprio sinal que pretendemos visualizar é utilizado para o comparador do sistema de sincronismo. No entanto, existem situações (e.g. sinais com ruído, com formas complexas ou digitais) em que pode ser vantajoso ou mesmo necessário utilizar uma fonte externa de *trigger*, i.e. em que não é o sinal de entrada que é comparado com o nível e inclinação de *trigger*, mas outro sinal. É comum encontrar as seguintes alternativas para a fonte do sistema de sincronismo:

- Interna, escolhendo-se um dos sinais aplicados aos canais de entrada. Este é o caso mais comum.
- O sinal da rede eléctrica de alimentação (50 Hz).
- Uma fonte externa.

No osciloscópio representado na Figura 26, o comando ‘*SOURCE*’ permite escolher como fonte de disparo um sinal interno (*INT*), a rede alimentação (*LINE*) ou um sinal externo (*EXT*) aplicado à entrada externa de *trigger* (*TRIG IN*).

A fonte interna pode ser definida através do comando ‘*INT TRIG*’, podendo ser o canal 1 (*CH1*), o canal 2 (*CH2*) ou os dois canais alternadamente (*VERT MODE*).

O modo vertical utiliza-se no caso de pretendermos visualizar simultaneamente dois sinais de frequências diferentes. De facto, no caso de sinais com frequências diferentes (e não múltiplas), se a fonte de disparo for o canal 1, aparece a forma de onda do canal 1 estabilizada (sincronizada) e a forma de onda do canal 2 não estabilizada (não sincronizada). De modo inverso, se passar a ser o sinal aplicado

ao canal 2 a fonte de disparo, passamos a ter o canal 2 estabilizado e o canal 1 desestabilizado.

No caso do modo vertical, o circuito de disparo (nível e inclinação) é comparado alternadamente com o canal 1 e com o canal 2, consoante se vai desenhar a forma de onda do canal 1 ou canal 2, respectivamente. Deste modo é possível estabilizar a imagem dos dois sinais no ecrã, mas deve ter-se em atenção que a referência temporal não é a mesma para as duas formas de onda.

### **Comando do Modo de Disparo (*Trigger Mode*)**

Os dois principais modos de disparo são o automático (*AUTO*) e o manual (*NORM*), sendo o primeiro o mais utilizado.

No modo automático, o osciloscópio executa o varrimento, mesmo sem haver o ponto de disparo. Neste caso particular, os varrimentos são feitos uns a seguir aos outros, sem qualquer controlo (imagem instável).

No modo manual, o osciloscópio apenas efectua o varrimento se o sinal fonte de disparo atingir o ponto de disparo (o nível e inclinação de disparo especificados). De outra forma, no caso de um osciloscópio analógico, nada é desenhado ou, no caso de um osciloscópio de amostragem, é mantida a imagem da última forma de onda a ser adquirida. O modo manual pode confundir um pouco, dado que nada é desenhado se o nível e a inclinação de disparo não estiverem adequadamente ajustados. Este modo poderá ser útil quando se pretendem sincronizar sinais de baixas frequências (inferiores a 25 Hz) ou com formatos complexos.

Os osciloscópios de amostragem incluem ainda outros modos de disparo, que poderão ser de grande utilidade, nomeadamente o modo de varrimento único (conhecido como *Single Sweep*), interessante para analisar regimes transitórios.

Os modos *TV-H* e *TV-V* servem para analisar sinais de vídeo, nomeadamente de uma trama (ou sinal horizontal) e de um quadro (ou sinal vertical), respectivamente. O disparo de sinais de vídeo é exemplificado em ‘Apêndice C – Análise de Sinais de Vídeo’.

### **Comando do Acoplamento de Disparo (*Trigger Coupling*)**

O ajuste do nível de disparo para um sinal com grande componente contínua poderá ser problemático, dado que o sinal poderá estar fora do alcance dos níveis máximo e mínimo do comparador. Para solucionar este problema, alguns osciloscópios (não é o caso do osciloscópio representado na Figura 26) possibilitam a filtragem do sinal que vai ser comparado com o nível de disparo. Aparece portanto um comando de acoplamento de disparo.

Este comando, além do acoplamento *DC* e *AC*, análogos aos já referidos para o sistema vertical, poderá ainda dispor de outros modos de acoplamento, tais como a rejeição (filtragem) de ruído de baixas ou altas frequências.

É óbvio o interesse destes tipos de acoplamento para o sistema de sincronismo, em determinadas situações. Note-se não é possível sincronizar um sinal que esteja afectado de ruído de alta frequência sem utilizar acoplamento especial. Repare-se que, havendo ruído (aleatório) de alta frequência, é impossível disparar o varrimento sempre nos mesmos pontos, dado que o sinal tem flutuações

aleatórias. Neste caso poderá recorrer-se à rejeição de ruído de altas frequências (sendo aconselhável consultar o manual do osciloscópio).

### Comando do Tempo de Espera de Disparo (*Trigger Holdoff*)

Por vezes, é extremamente difícil conseguir que o osciloscópio dispare um sinal no instante correcto. Alguns osciloscópios analógicos e quase todos os osciloscópios de amostragem têm características especiais para facilitar esta tarefa. Uma das funcionalidades mais interessantes é o tempo de espera do disparo, que é um período de tempo ajustável durante o qual o osciloscópio não pode disparar. Esta característica é útil quando pretendemos analisar formas de onda complexas, de modo a que o osciloscópio apenas dispara no primeiro ponto de disparo após o tempo de espera.

A Figura 33 mostra um exemplo da utilidade do tempo de espera de disparo para a visualização adequada de um sinal.

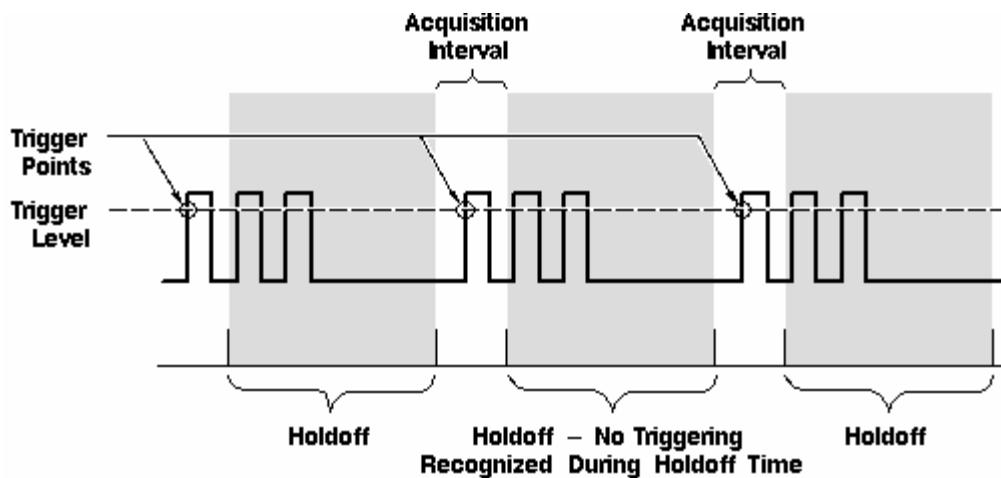


Figura 33: Exemplo do interesse do tempo de espera de disparo (*trigger holdoff*)

Saliente-se que, mesmo para os osciloscópios analógicos sem esta opção (o ajuste do tempo de espera) existe um tempo mínimo de espera que corresponde à duração do sinal em dente de serra. Isto significa que durante o tempo enquanto o qual o osciloscópio efectua o varrimento e se prepara para um novo varrimento o sistema de sincronismo está desabilitado.

Acrescente-se ainda que alguns osciloscópios de amostragem têm funcionalidades do sistema de sincronismo extremamente avançadas, podendo definir-se “padrões” para o comparador, nomeadamente o disparo quando se verificam determinadas transições do sinal ou o disparo quando se verifica uma dada sequência lógica de bits (para analisar sinais digitais).

## 5. TÉCNICAS DE MEDIÇÃO

O objectivo desta secção é dar uma noção de algumas técnicas de medição, utilizando o osciloscópio. Os dois tipos mais básicos de medição são a medição de tensão e a medição de tempo. Todos os outros tipos de medição se baseiam numa destas duas técnicas fundamentais.

Discutem-se aqui métodos para fazer medições através da visualização do ecrã do osciloscópio. No entanto, existem já muitos osciloscópios que efectuam certas medições automaticamente. Se bem que esta automação das medições apareça “naturalmente” nos osciloscópios de amostragem, devido à facilidade do processamento de informação digital (por software apropriado), também existem osciloscópios analógicos que efectuam algumas medições automaticamente. De qualquer forma, mesmo no caso de osciloscópios com estas características, é fundamental que o utilizador seja capaz de analisar visualmente os sinais, de modo a entender e verificar as suas medições automáticas.

### 5.1. O ecrã

Olhando para o ecrã de um osciloscópio analógico, tal como o apresentado na Figura 34a, podemos constatar que nele existe marcada uma grelha. Cada linha horizontal e vertical demarca uma divisão grande. Na generalidade dos casos, existem 10 divisões horizontais e 8 divisões verticais. As indicações nos comandos do osciloscópio - VOLTS/DIV e TIME/DIV - referem-se sempre às divisões grandes. No entanto, nas divisões vertical e horizontal que dividem a meio o ecrã (eixos XX e YY), existem subdivisões marcadas. Estas, normalmente 5 por cada divisão, permitem fazer medições mais exactas, através da deslocação horizontal e vertical das formas de onda (ajustando os comandos POSITION dos sistemas horizontal e vertical). É então necessário proceder à contagem do número de divisões (e subdivisões) para efectuar medições de amplitude de tensão e de tempo (exemplificado na Figura 34a).

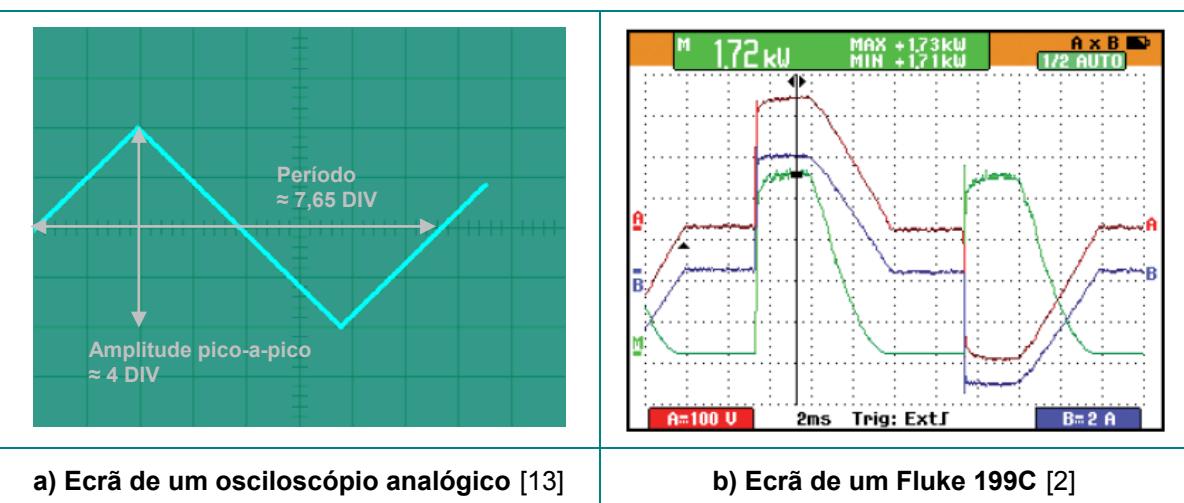


Figura 34: Exemplo do ecrã e graduações de um osciloscópio analógico (a) e de um osciloscópio de amostragem (b)

Os osciloscópios de amostragem poderão ter ecrãs ligeiramente diferentes (mesmo os que se baseiam em CRT), tanto no que respeita ao número de divisões horizontais e verticais, como relativamente às subdivisões, que poderão

não estar marcadas nos eixos do ecrã, podendo aparecer como parte de uma grelha (ver Figura 34b). Estes osciloscópios mostram no ecrã vários tipos de informações, que se podem dividir em dois tipos:

- Informações relativas ao estado dos comandos do osciloscópio (e.g. ganho vertical, velocidade de varrimento, nível e inclinação de *trigger*)
- Indicações sobre grandezas características do sinal sob análise (e.g. valor eficaz, valor pico-a-pico, período, frequência, *duty-cycle*).

No caso particular do osciloscópio da Figura 34b, está a efectuar-se uma medição/análise de potência eléctrica. O canal A está a medir a tensão e o canal B está a medir a corrente num dado receptor. O osciloscópio encarrega-se de efectuar o cálculo da potência e indicar o seu valor no ecrã.

## 5.2. Ajuste inicial dos comandos

Como regra de utilização de um osciloscópio, sempre que este se liga é necessário proceder a um ajuste inicial dos comandos para conseguir obter uma primeira visualização do sinal. Deve portanto olhar-se para o painel frontal e tentar caracterizar os vários blocos fundamentais já referidos atrás: sistema vertical, sistema horizontal e sistema de sincronismo. O osciloscópio poderá ter outros blocos, dependendo do tipo (análogo ou de amostragem) e do modelo.

O primeiro passo para a visualização de um sinal eléctrico no osciloscópio é ligar a ponta de prova a um terminal de entrada do sistema vertical. A maior parte dos osciloscópios tem dois canais de entrada, podendo visualizar-se cada um (isoladamente ou simultaneamente) no ecrã. Os osciloscópios de múltiplos canais facilitam a comparação de formas de onda.

Os osciloscópios de amostragem têm um botão de ‘AutoSet’ (ou ‘Preset’) em que é efectuado um ajuste automático dos comandos para se visualizar um sinal. Se o osciloscópio de que dispomos não tem esta característica, é necessário, antes de qualquer medição, ajustar esses comandos para posições “de referência”. Um possível algoritmo para a inicialização dos comandos de um osciloscópio, tendo como referência o osciloscópio da Figura 26, é o seguinte:

```
' Pré-ajuste dos comandos do ecrã
POWER = ON
INTENSITY = Meio da escala
FOCUS = Meio da escala

'Pré-ajuste dos comandos do sistema horizontal
TIME/DIV = Meio da escala
SWP/VAR = Desligado      ' Posição de "calibrado"
POSITION = Meio da escala

'Pré-ajuste dos comandos do sistema vertical
MODE = CH1      ' Modo de visualização
AC-GND-DC = GND    ' Para ajustar a posição do traço
POSITION = Meio do ecrã
AC-GND-DC = DC    ' Para visualizar o sinal sem filtragem da componente DC
VAR/PULL x5 GAIN = Desligado    ' Posição de "calibrado"
VOLTS/DIV = Meio da escala
```

```

`Pré-ajuste dos comandos do sistema de sincronismo
  MODE   = AUTO
  SOURCE = INT
  LEVEL  = Meio da escala
  INT TRIG = CH1

```

Estas são indicações genéricas para o ajuste inicial do osciloscópio. Quando não nos sentimos seguros quanto à forma de proceder, devemos recorrer ao manual de utilização do aparelho. Este tem sempre uma explicação do funcionamento dos seus comandos bem como costuma ter uma descrição do ajuste inicial desses comandos, de modo a conseguir obter uma primeira visualização de um sinal.

### 5.3. Medição de tensão

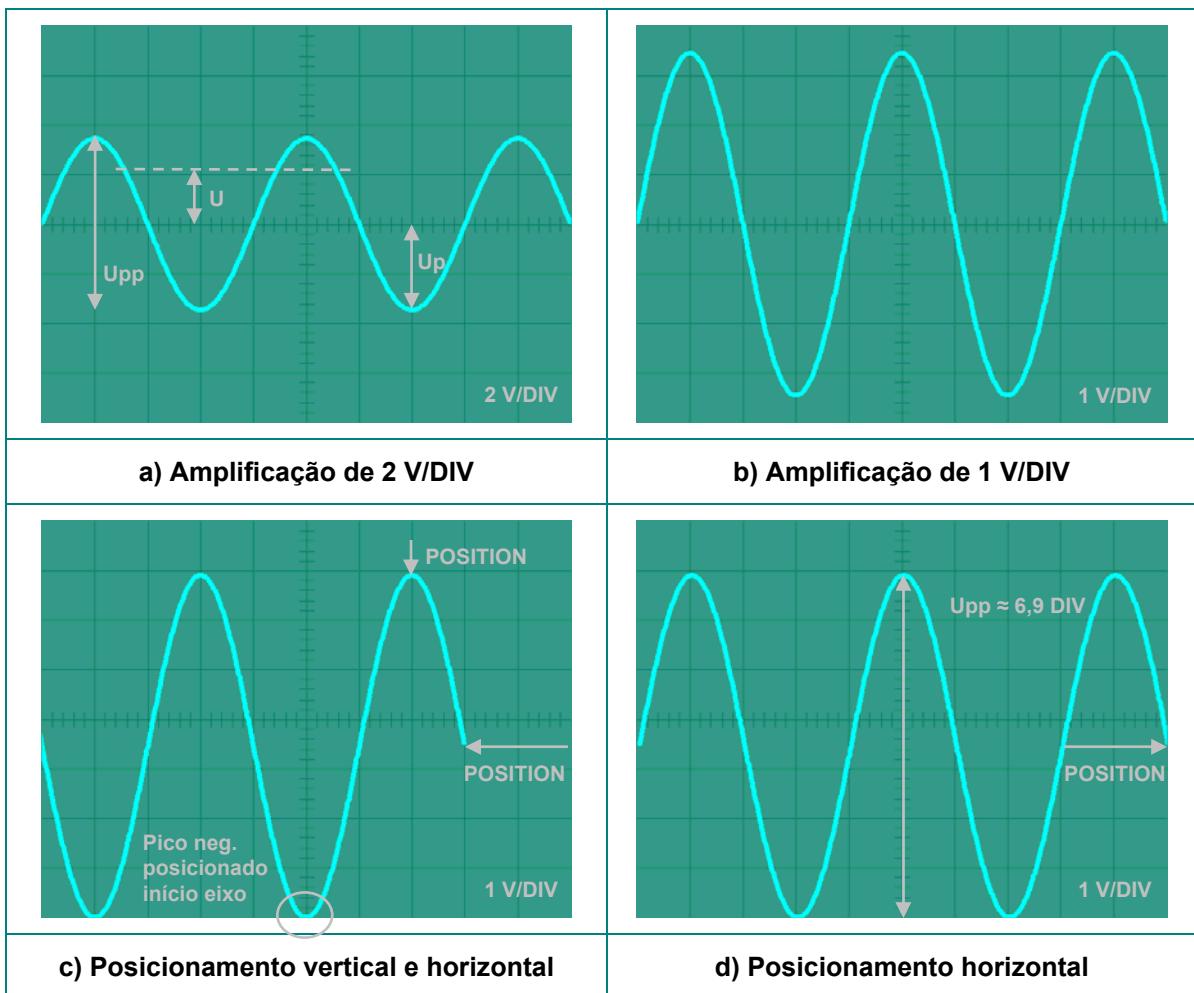
O osciloscópio é, primariamente, um instrumento para a medição e análise de tensão. Uma vez medida a tensão, pode efectuar-se a medição indirecta de outras grandezas. Por exemplo, através da Lei de Ohm pode obter-se o valor da corrente à custa da tensão e da resistência. De igual modo, pode obter-se a potência consumida por um dado dispositivo a partir da tensão e da corrente ( $P = U \cdot I$ ).

Para sinais alternados, é comum identificarem-se três características de tensão:

- Tensão de pico (*Peak Voltage*), normalmente simbolizada por ' $U_p$ '.
- Tensão pico-a-pico (*Peak-to-Peak Voltage*), denominada de ' $U_{pp}$ '.
- Tensão eficaz (*Root Mean Square (RMS) Voltage*), designada simplesmente por 'U'.

A Figura 35a exemplifica os três tipos de tensão para o caso particular de uma onda alternada sinusoidal. Neste caso, a tensão eficaz é  $\sqrt{2}$  vezes menor do que a tensão de pico.

A medição de tensão é feita contando o número de divisões (e de subdivisões) na graduação vertical do osciloscópio. Vejamos como exemplo a medição da tensão pico-a-pico do sinal apresentado na Figura 35a. Primeiro, deve ajustar-se o comando de amplificação vertical do sinal de modo a que a forma de onda cubra a maior área de ecrã possível, pois quanto maior área coberta, maior a exactidão da medição. É o procedimento seguido na passagem da Figura 35a para a Figura 35b (2V/DIV para 1 V/DIV). Seguidamente, a medição deve efectuar-se utilizando como referência a divisão central, que está dividida em subdivisões, movimentando a forma de onda na horizontal e na vertical (utilizando os comandos de '*POSITION*'), colocando o pico inferior no início da graduação (Figura 35c). Finalmente, movimenta-se o pico superior horizontalmente, de forma que este vá coincidir com o eixo vertical (pois este tem subdivisões) e efectua-se a medição do número de divisões.



**Figura 35: Procedimento para a correcta medição de uma amplitude de tensão [13]**

Supondo que não há atenuação da ponta de prova, o valor pico-a-pico da onda sinusoidal é:

$$U_{pp} \approx 6,9 \text{ Div} \times 1 \text{ Volt/Div} = 6,9 \text{ V}$$

Considerando a utilização de uma ponta de prova atenuadora 10X, seria:

$$U_{pp} \approx 6,9 \text{ Div} \times 1 \text{ Volt/Div} \times 10 = 69 \text{ V}$$

É extremamente importante ter os seguintes cuidados na medição de tensão com o osciloscópio, para evitar erros grosseiros:

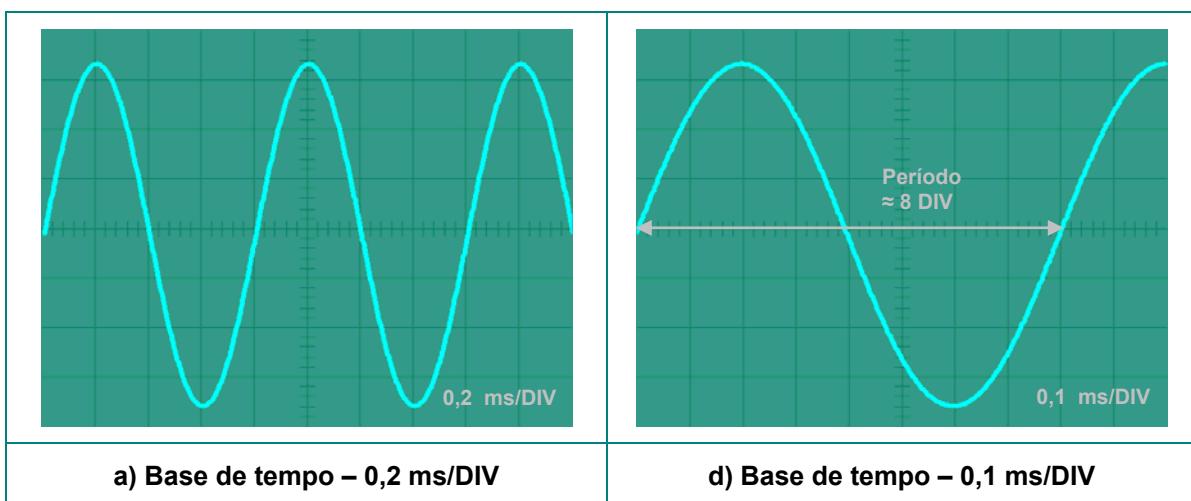
1. Considerar a atenuação da ponta de prova na medição de tensão.
2. Antes de se efectuar qualquer medição no eixo vertical é verificar se o comando de amplificação está “calibrado”.
3. Devemos ter muito cuidado com a ligação do terminal de massa da ponta de prova aos circuitos a testar. Este terminal está ligado à massa do osciloscópio que, por sua vez, está ligada à Terra. Só podemos ligar o terminal de massa a pontos que, ou têm um potencial de 0 V, ou têm um potencial flutuante, que pode ser fixado ao potencial da Terra pelo próprio osciloscópio. Podemos ultrapassar este problema isolando o terminal de massa da ficha de alimentação do osciloscópio da tomada da rede de alimentação (com um papel, por exemplo, ou ligando o osciloscópio a uma tomada sem ligação de Terra – com as devidas precauções).

Adicionalmente ao que foi já referido sobre informação disponível no ecrã na Secção 5.1, todos os osciloscópios de amostragem disponibilizam automaticamente diversas características de tensão dos sinais, nomeadamente as tensões pico-a-pico, pico inferior, pico superior, valor eficaz, componente contínua e componente alternada. Existem ainda muitos osciloscópios de amostragem que disponibilizam cursores no ecrã que permitem automatizar a medição de tensão e de tempo, sem ter de contar o número de divisões. Este cursores são representados por duas linhas horizontais para a medição de tensão e por duas linhas verticais para a medição de tempo, que podemos deslocar no ecrã.

#### 5.4. Medição de período e frequência

As medições temporais são efectuadas utilizando a escala horizontal do osciloscópio. A medição do período de um sinal, da largura de um impulso ou dos instantes de vários impulsos são exemplos de medição de tempo. A frequência de um sinal é o inverso do seu período, portanto, medindo o período, pode calcular-se (indirectamente) a frequência.

Tal como o caso da medição de tensão, a medição de tempo é mais exacta se ajustarmos a velocidade de varrimento de maneira a que a parte do sinal a medir cubra a maior área possível do ecrã (e.g. da Figura 36a para a Figura 36b aumentou-se a velocidade de varrimento para o dobro). Adicionalmente, a utilização do eixo horizontal (contendo divisões pequenas) permite aumentar a exactidão das medições de tempo.



**Figura 36: Procedimento para a correcta medição de uma amplitude de tempo [13]**

Para medirmos um determinado intervalo de tempo, devemos contar o número de divisões dessa parte do sinal na escala horizontal do osciloscópio. Tomando como exemplo a forma de onda visualizada na Figura 36b, considerando que a velocidade de varrimento é de 1 ms/Div. O valor do período ( $T$ ) do sinal é  $T \approx 8 \text{ Div} \times 0,1 \text{ ms/Div} = 0,8 \text{ ms}$ .

De modo análogo à medição de tensão, antes de se efectuar qualquer medição no eixo horizontal, é muito importante verificar se o comando de velocidade de varrimento está “calibrado”.

## 5.5. Medição de tempo de subida

Em algumas aplicações, é necessário analisar impulsos de tensão (Figura 37). A sua forma pode determinar o bom ou mau funcionamento de um circuito ou pode permitir extraír determinadas características de um circuito (a resposta a um impulso ou a um degrau permite determinar a função de transferência de um circuito).

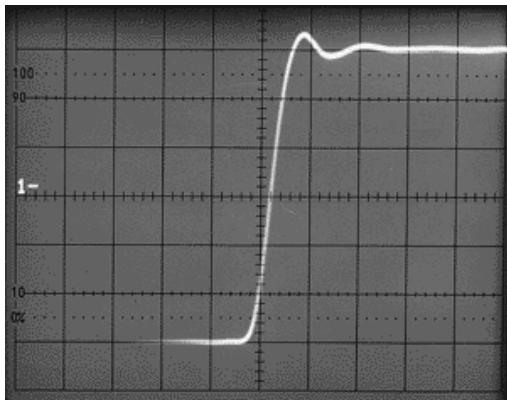


Figura 37: Exemplo da medição do tempo de subida de um impulso [17]

Uma das características mais importantes de um impulso de tensão é o seu tempo de subida. Este representa o tempo que um impulso demora desde um nível baixo até um nível alto de tensão. Por convenção, o tempo de subida é medido entre 10% e 90% da amplitude total do sinal. Isto evita que se tomem em conta quaisquer irregularidades nos pontos transitórios do impulso. Alguns osciloscópios dispõem de linhas horizontais tracejadas para marcar estas percentagens (não é o caso do osciloscópio da Figura 26).

Existem diversos comandos do osciloscópio que permitem uma melhor medição do tempo de subida, nomeadamente:

- Comando de ajuste contínuo do ganho (VAR em VOLTS/DIV). Por variação contínua do ganho, podemos colocar os limites superior e inferior do impulso dentro das linhas de 0% e 100%. Depois, é só medir o intervalo de tempo que vai desde a intersecção do impulso com a linha de 10% e a intersecção do impulso com a linha de 90%.
- No caso de haver apenas um impulso (não ser um trem de impulsos), é necessário recorrer ao modo de varrimento único (*single-shot*), apenas disponível nos osciloscópios de amostragem.

## 5.6. Medição de desfasamento

Só faz sentido falar-se de desfasamento entre sinais da mesma frequência (mas não necessariamente da mesma amplitude nem do mesmo formato), isto é, o desfasamento entre dois sinais sinusoidais, o desfasamento entre dois impulsos, etc. O desfasamento de dois sinais é o tempo que demora um dos sinais a “repetir” o outro.

No caso de osciloscópios cujo sistema vertical tem dois canais, a medição do desfasamento entre dois sinais resume-se à medição de um intervalo de tempo, o que já foi explicado. Note-se no entanto que na medição de desfasamentos nunca

se poderá utilizar o modo vertical (*VERT MODE*) para o sistema de sincronismo. Tal como foi já dito, dado que neste modo cada sinal serve de referência para o sistema de *trigger* no “seu” varrimento, os dois sinais poderão não aparecer no ecrã com o desfasamento real. Deve portanto utilizar-se apenas um sinal como fonte de disparo (ou o canal 1, ou o canal 2). Note-se que, dado que na medição de desfasamentos os sinais são da mesma frequência, não é necessário utilizar o modo vertical.

No caso de sinais sinusoidais, este “atraso” temporal ‘ $\Delta t$ ’ pode ser convertido num ângulo ‘ $\varphi$ ’ pela expressão  $\varphi = \omega \cdot \Delta t$ , em que ‘ $\omega$ ’ é a velocidade angular, que pode ser calculada por  $\omega = 2\pi f$  (‘ $f$ ’ é a frequência do sinal sinusoidal).

Uma maneira “inteligente” de medir directamente (em graus) o desfasamento de sinais sinusoidais é descalibrar a velocidade de varrimento (comando *SWP VAR*, no osciloscópio da Figura 26) de modo que um período do sinal coincida exactamente com as dez divisões horizontais. Deste modo, dez divisões correspondem a  $360^\circ$ , pelo que cada divisão corresponde a  $36^\circ$ . Cada subdivisão vale portanto  $36/5 = 7,2^\circ$ . Podemos, do mesmo modo, colocar apenas meio período dos sinais ( $180^\circ$ , o que corresponde a  $18^\circ$  por divisão e  $3,6^\circ$  por subdivisão), podendo melhorar a exactidão da medição de fase ou desfasamento. Tendo as duas formas de onda centradas no eixo horizontal é então possível medir directamente o desfasamento entre os dois sinais (sinusoidais).

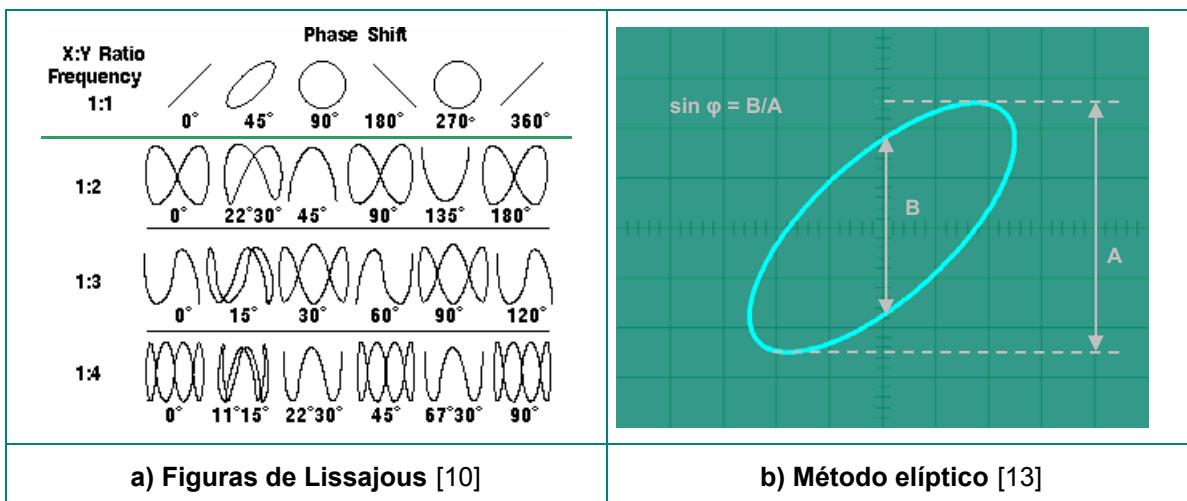
No caso de osciloscópios apenas com um canal, os métodos atrás referidos não se podem aplicar. De facto, se apenas se pode visualizar um sinal de cada vez, não é possível medir a diferença temporal entre dois sinais. No entanto, existe um outro método para medir desfasamentos, mas apenas para sinais sinusoidais. Trata-se do método elíptico, que se pode aplicar recorrendo ao modo XY do osciloscópio.

No modo XY, o osciloscópio deixa de aplicar o sinal em forma de dente de serra às placas verticais (e deixa de utilizar o sistema de sincronismo). Em vez disso, é aplicado às placas verticais o sinal que está no canal 2 do osciloscópio. No caso do osciloscópio da Figura 26, este modo pode ser escolhido no comando *TIME/DIV*, posição X-Y.

Chama-se método elíptico a este método de medir desfasamento, porque o desenho visualizado no ecrã tem um formato elíptico, que varia dependendo do valor do desfasamento (Figura 38a, em cima). Através da forma da elipse, é possível determinar o desfasamento entre as duas sinusóides.

No método da elipse, o ângulo de desfasamento pode ser calculado recorrendo à medição de duas amplitudes (Figura 38b): A – distância entre os valores mínimo e máximo da elipse; B – distância entre as intersecções inferior e superior da elipse com o eixo dos YY. O ângulo de desfasamento entre os dois sinais pode ser determinado a partir da expressão ‘ $\varphi = \arcsin(B/A)$ ’. Pode ser encontrada em ‘

Apêndice D – Método Elíptico para Medição de Desfasamento' a dedução desta fórmula.



**Figura 38: Modo XY na medição de desfasamentos**

Deve ter-se em conta, como consideração prática para este método, que é extremamente importante colocar o feixe de electrões bem no centro do ecrã (em modo XY), de modo a que a medição dos valores de 'A' e 'B' seja correctamente efectuada. Isto faz-se colocando o acoplamento dos dois canais em GND (o desenho resume-se a um ponto no ecrã) e usando os comandos de posicionamento vertical (canal 1) e horizontal (base de tempo).

Mesmo para osciloscópios de dois canais (onde se podem medir desfasamentos no domínio dos tempos), o método elíptico tem a vantagem de permitir calcular directamente o ângulo de desfasamento, para sinais sinusoidais.

Para sinusóides de frequências múltiplas, aparecem as chamadas *Figuras de Lissajous* (Figura 38a). Através da forma de cada *Figura de Lissajous*, é possível determinar a razão de frequência (2:1, 3:1, 1:5, etc.) entre as duas sinusóides. Repare-se que o número de máximos no eixo dos XX a dividir pelo número de máximos no eixo dos YY dá a relação de frequência entre o sinal aplicado ao eixo dos YY e o sinal aplicado ao eixo dos XX.

O modo XY de funcionamento pode ainda ser utilizado em outras aplicações onde seja importante visualizar o gráfico de uma grandeza em função de outra. O caso do traçado do ciclo histerético de um material ferromagnético é um exemplo de outra aplicação do modo XY.

## 5.7. Sincronização de formas de onda complexas

Determinados sinais têm formas de onda que poderão exigir um ajuste mais cuidado do sistema de sincronismo. É disso um exemplo claro a forma de onda da Figura 39a.

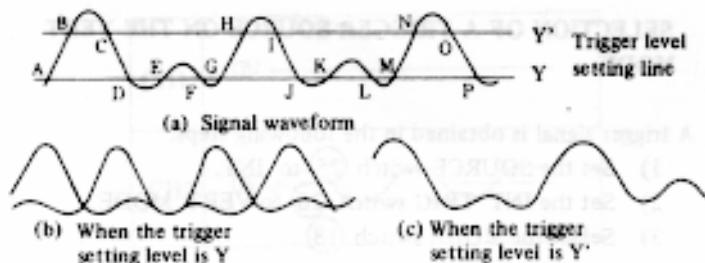


Figura 39: Sincronização de formas de onda complexas [14]

Se o nível de disparo não for adequadamente ajustado, não irá haver estabilização da forma de onda desenhada no ecrã. No caso de o nível de disparo escolhido ser  $Y$ , haverá dois momentos de disparo em cada período do sinal (duas igualdades no comparador do sistema de sincronismo), nomeadamente 'A' e 'E', para o primeiro período apresentado. Isto leva a que o varrimento não se faça sempre nos mesmos instantes do sinal, levando a uma perda de sincronismo (Figura 39b). No entanto, se subirmos o nível de disparo para o nível  $Y'$ , haverá um único momento de disparo em cada período (B ou C, para o primeiro período), conseguindo-se assim obter uma forma de onda estabilizada (Figura 39c, onde a inclinação de *trigger* é positiva).



## 6. ESTADO DA TECNOLOGIA

### 6.1. Tipos de osciloscópios actuais e emergentes

Tal como já foi referido logo na secção introdutória, são diversos os tipos de osciloscópios existentes na actualidade. Neste contexto, os osciloscópios analógicos têm vindo a cair em desuso, dado o aparecimento de alguns osciloscópios de amostragem (“reais” e “virtuais”) com muito mais potencialidades e custos aproximados.

Os osciloscópios analógicos utilizam-se sobretudo quando existem fortes restrições orçamentais, nomeadamente a nível de instituições (e.g. de ensino) que têm que dotar os seus laboratórios com uma grande quantidade de equipamentos. Note-se porém que a aquisição de competências na utilização de um osciloscópio analógico habilita uma apreensão rápida das funcionalidades adicionais de um osciloscópio de amostragem. Podemos mesmo considerar que a função ‘auto-set’ dos osciloscópios de amostragem torna a sua utilização mais simples do que a de um osciloscópio analógico, independentemente de todas as funções e potencialidades adicionais que possamos encontrar.

Alguns fabricantes destacam por estabelecerem os referenciais do estado da arte nestas tecnologias, disponibilizando osciloscópios de amostragem “topo de gama”. São os casos da Tektronix, Lecroy e Agilent (antiga Hewlett Packard). Dado que a concorrência a nível de osciloscópios de baixa gama é muito forte, estes fabricantes apostam em modelos para aplicações especiais, tais como análise de barramentos de comunicação em computadores e análise da integridade dos sinais em redes de comunicação. Disponibilizam por isso larguras de banda extremamente elevadas, adequadas para analisar sinais de altas frequências tais como os existentes numa rede Gigabit Ethernet.

Um mercado em franca expansão é o dos osciloscópios “virtuais” (baseados em computador), existindo um número crescente de modelos e fabricantes, tanto de módulos de I/O externos como de placas de I/O internas. Existem também algumas soluções (não comerciais) de osciloscópios baseados na placa de som dos PCs, mas que apresentam fortes limitações.

Existem também alguns simuladores de osciloscópio disponíveis. Os simuladores de osciloscópio representam virtualmente um osciloscópio no PC, normalmente incluindo um gerador de sinais (também virtual) para servir de fonte de sinal. Os simuladores de osciloscópio são normalmente utilizados para fins comerciais (demonstrações) e/ou para fins de aprendizagem.

No resto desta secção apresentam-se e compararam-se as características principais de alguns tipos de osciloscópios, nomeadamente de baixo custo, topo de gama e baseados em computador. Note-se que as características foram obtidas a partir dos sítios WWW indicados para cada equipamento e os preços foram obtidos a partir de informações disponíveis em sítios WWW de empresas fornecedoras destes equipamentos e em alguns casos particulares pelos próprios fabricantes ou por orçamento personalizado. São por isso aproximados e meramente indicativos, no sentido de proporcionar uma ordem de grandeza para poder efectuar a comparação entre equipamentos.

Note-se que as largura de banda de alguns osciloscópios de amostragem anunciadas pelos fabricantes não parecem realistas, dado que as frequências de amostragem não são suficientemente elevadas para isso ser verdade. Tal como foi já referido na Secção 2.5.2, a frequência de amostragem deve ser pelo menos 5 vezes superior à maior componente frequencial do sinal em análise.

## 6.2. Osciloscópios de baixo custo

### Osciloscópios analógicos (de bancada)

Existe uma quantidade significativa de fabricantes que disponibilizam modelos de osciloscópios analógicos de baixo custo, dando-se como exemplos os apresentados na tabela seguinte (larguras de banda abaixo de 35 MHz).

	BK Precision <b>2120B</b>	Kenwood <b>CS-4125A</b>	Instek <b>GOS-620</b>	Hameg <b>HM303-6</b>
<b>Tipo</b>	Analógico	Analógico	Analógico	Analógico
<b>Largura Banda</b>	30 MHz	20 MHz	30 MHz	35 MHz
<b>Nº de canais</b>	2	2	2	2
<b>Sensibilidade Vertical</b>	5 mV – 5 V/Div	1 mV – 5 V/Div	5 mV – 5 V/Div	1 mV – 20 V/Div
<b>Incerteza Vertical</b>	3%	3%	3%	3%
<b>Incerteza Horiz.</b>	3%	3%	3%	3%
<b>Referência</b>	<a href="http://www.bkprecision.com">www.bkprecision.com</a>	<a href="http://www.kenwoodtmi.co.jp">www.kenwoodtmi.co.jp</a>	<a href="http://www.instek.com">www.instek.com</a>	<a href="http://www.hameg.com">www.hameg.com</a>
<b>Preço Aprox.</b>	€400	€550	€360	€750

### Osciloscópios de amostragem de bancada

Os mesmos fabricantes disponibilizam também osciloscópios de amostragem oferecendo também um modo de operação analógico (conhecidos como *combiscopes*), a preços relativamente acessíveis, tendo em consideração a largura de banda:

	BK Precision <b>2522B</b>	Kenwood <b>DCS-7020</b>	Instek <b>GRS-6032A</b>	Hameg <b>HM507</b>
<b>Tipo</b>	Amostragem (com modo analógico)	Amostragem (com modo analógico)	Amostragem (com modo analógico)	Amostragem (com modo analógico)
<b>Largura Banda</b>	20 MHz (anal. e ETS)	50 MHz	30 MHz	50 MHz
<b>Nº de canais</b>	2	2	2	2
<b>Frequência de Amostragem</b>	10 MS/s por canal	20 MS/s por canal	100 MS/s por canal	100 MS/s por canal
<b>Comprimento Registo</b>	2048 x 8 bits/canal	2048 x 8 bits/canal	2048 x 8 bits/canal	2048 x 8 bits/canal
<b>Sensibild. Vert.</b>	5 mV – 5 V/Div	1 mV – 5 V/Div	1 mV – 20 V/Div	1 mV – 20 V/Div
<b>Incerteza Vert.</b>	3%	3%	3%	3%
<b>Incerteza Horiz.</b>	3%	3%	3%	3%
<b>Referência</b>	<a href="http://www.bkprecision.com">www.bkprecision.com</a>	<a href="http://www.kenwoodtmi.co.jp">www.kenwoodtmi.co.jp</a>	<a href="http://www.instek.com">www.instek.com</a>	<a href="http://www.hameg.com">www.hameg.com</a>
<b>Preço Aprox.</b>	€1200	€2300	€1200	€1700

## Osciloscópios de amostragem “de mão” (“*hand-held*”)

Os osciloscópios “de mão” (“*hand-held*”) são cada vez mais utilizados, pois são muito adequados para operações de manutenção sem grandes exigências em termos de largura de banda. A tabela seguinte apresenta as características mais relevantes de alguns modelos representativos deste tipo de osciloscópios:

	Fluke ScopeMeter 123	Metrix Scopix OX 7042	Protek S2405	Velleman APS230
<b>Tipo</b>	Amostragem	Amostragem	Amostragem	Amostragem
<b>Largura Banda</b>	20 MHz	40 MHz	5 MHz	30 MHz
<b>Nº de canais</b>	2	2	2	2
<b>Frequência de Amostragem</b>	1,25 GS/s por canal	1 GS/s por canal	25 MS/s por canal	240 MS/s por canal
<b>Comprimento Registo</b>	512 x 8 bits/canal	2500 x 12 bits/canal	256 x 8 bits/canal	256 x 8 bits/canal
<b>Sensibilidade Vertical</b>	5 mV a 500 V/Div	2,5 mV a 200 V/Div	50 mV a 500 V/Div	1 mV a 20 V/Div
<b>Incerteza Vertical</b>	2% RDG + 5% alcance/Div	Não especificado	3%	2,5%
<b>Incerteza Horizontal</b>	0,1% RDG + 1 pixel	Não especificado	0,01%	Não especificado
<b>Ecrã</b>	LCD, P/B, 72x72 mm, 240x240 pixels	LCD, P/B, 115 x 86 mm 320 x 240 pixels	LCD, P/B, 132 x 128 pixels	LCD, P/B, 192 x 128 pixels
<b>Peso</b>	1,2 kg	1,9 kg	900 g	850 g
<b>Referência</b>	<a href="http://www.fluke.pt">www.fluke.pt</a>	<a href="http://www.metrix.fr">www.metrix.fr</a>	<a href="http://www.protektest.com">www.protektest.com</a>	<a href="http://www.aps230.com">www.aps230.com</a>
<b>Preço Aprox.</b>	€1200	€1600	€400	€600

### 6.3. Osciloscópios topo de gama

Existem alguns fabricantes que se destacam por estabelecerem os referenciais do estado da arte nestas tecnologias, disponibilizando osciloscópios “topo de gama”, nomeadamente:

- Tektronix (<http://www.tek.com>), com larguras de banda até 15 GHz
- Lecroy (<http://www.lecroy.com>), com larguras de banda até 6 GHz
- Agilent (<http://www.agilent.com>), com larguras de banda até 13 GHz

Note-se que, pelo menos do conhecimento do autor, estes são os únicos fabricantes que disponibilizam osciloscópios com larguras de banda acima de 500 MHz.

Existem ainda alguns fabricantes de osciloscópios especializados em determinados tipos de aplicação, citando como exemplos a Yokogawa e a WaveCrest. A Yokogawa (<http://www.yokogawa.com>) disponibiliza osciloscópios com larguras de banda até 1,5 GHz e funcionalidades específicas para a análise para redes de comunicação CAN, I2C e FlexRay. A WaveCrest (<http://www.wavecrest.com>) disponibiliza equipamentos com larguras de banda até 13 GHz, especializados para a análise temporal de redes de comunicação tipo Gigabit Ethernet e ATM.

Para a tabela comparativa, optou-se por modelos de cada uma das marcas “de referência”, tendo em consideração uma largura de banda de 6 GHz:

	Tektronix TDS6604B	Lecroy WaveMaster 8620A	Agilent 80604B
<b>Tipo</b>	Amostragem	Amostragem	Amostragem
<b>Largura Banda</b>	6 GHz	6 GHz	6 GHz
<b>Nº de canais</b>	4	4	4
<b>Frequência de Amostragem</b>	20 GS/s 2 TS/s (ETS) por canal	20 GS/s por canal	40 GS/s (2 canais) 20 GS/s (4 canais)
<b>Comprimento Registo</b>	2(-32) M (4 canais) x 8 (11) bits/canal	2(-48) M (4 canais) x 8 (11) bits/canal	0,5(-32) M (4 canais) x 8 (12) bits/canal
<b>Sensibilidade Vertical</b>	10 mV a 1 V/Div	2 mV a 1 V/Div	1 mV a 1 V/Div
<b>Incerteza Vert.</b>	2.5% (alcance)	1,5% (alcance)	2% (alcance)
<b>Incerteza Horiz.</b>	2 ppm	1 ppm	1 ppm
<b>Ecrã</b>	LCD, C, 264 mm diag., 1024x768 pixels	LCD, C, 264 mm diag., 800x600 pixels	LCD, C, 213 mm diag., 1024x768 pixels
<b>Conectividade</b>	USB 2.0 (5X), Série, Paralelo, 1000BaseT, GPIB, tecl./rato, SVGA	USB 2.0 (4X), Paralelo, 100BaseT, GPIB (opcional), SVGA	USB 2.0 (5X), Série, Paralelo, 1000BaseT, GPIB, tecl./rato, XGA
<b>Referência</b>	<a href="http://www.tek.com">www.tek.com</a>	<a href="http://www.lecroy.com">www.lecroy.com</a>	<a href="http://www.agilent.com">www.agilent.com</a>
<b>Preço Aprox.</b>	€83000	€83000	€78000

## 6.4. Osciloscópios baseados em computador

O mercado dos osciloscópios “virtuais” (baseados em computador) está em franca expansão, existindo um número crescente de modelos e fabricantes.

### Osciloscópios “virtuais” com módulos de I/O externos

Os modelos de osciloscópios baseados em computador com módulo de I/O externo, baseiam-se normalmente em interfaces série (RS-232), paralelo (DB-25) e USB, sendo a última a mais utilizada actualmente. A tabela seguinte compara alguns modelos representativos, tendo como referência uma largura de banda de 50-100 MHz:

	PicoScope 3205	Amplicon Handyscope HS3	BitScope BS310U	Link Instruments DSO-2102S
<b>Tipo</b>	Amostragem, virtual - módulo externo	Amostragem, virtual - módulo externo	Amostragem, virtual - módulo externo	Amostragem, virtual - módulo externo
<b>Largura Banda</b>	100 MHz	50 MHz	100 MHz *	60 MHz
<b>Nº de canais</b>	2	2	2	2
<b>Frequência de Amostragem</b>	100 MS/s por canal	100 MS/s por canal	40 MS/s por canal	100 MS/s por canal
<b>Comprimento Registo</b>	256 k x 8 bits/canal	128 k x 8 bits/canal **	32 k x 8 bits/canal	32 k x 8 bits/canal
<b>Gama Vertical</b>	100 mV a 20 V	200 mV a 80 V	262 mV a 5,52 V	200 mV a 20 V
<b>Incerteza Vert.</b>	3%	0,2% RDG + 1 DGT	Não especificado	2%
<b>Incerteza Hor.</b>	0,01%	Não especificado	Não especificado	0,01%
<b>Ligação ao PC</b>	USB 2.0	USB 2.0	USB 2.0	USB 2.0
<b>Gerador Sinais</b>	Sim	Sim	Sim	Não
<b>Referência</b>	<a href="http://www.picotech.com">www.picotech.com</a>	<a href="http://www.amplicon.co.uk">www.amplicon.co.uk</a>	<a href="http://www.bitscope.com">www.bitscope.com</a>	<a href="http://www.linkinstruments.com">www.linkinstruments.com</a>
<b>Preço Aprox.</b>	€860	€1500	€400	€900

\* Este é um caso paradigmático de um osciloscópio com especificações “contraditórias” quanto à largura de banda vs. frequência de amostragem. O fabricante publicita uma largura de banda de 100 MHz, mas o osciloscópio tem uma frequência de amostragem de apenas 40 MS/s.

\*\* A máxima resolução vertical depende da frequência de amostragem: (8 bit @ 100 MHz, 12 bit @ 50 MHz, 14 bit @ 3,125 MHz, 16 bit @ 195 kHz).

## Osciloscópios “virtuais” com placas de I/O internas

Os osciloscópios “virtuais” baseados em placas de I/O internas recorrem normalmente a placas PCI ou ISA. Apresentam-se na tabela seguinte modelos de osciloscópios baseados em placas PCI, com larguras de banda similares:

	NI PCI-5112	PC-Instruments PCI-431	AlazarTech ATS850	Amplicon TP801
<b>Tipo</b>	Amostragem, virtual – placa PCI	Amostragem, virtual – placa PCI	Amostragem, virtual – placa PCI	Amostragem, virtual – placa PCI
<b>Largura Banda</b>	100 MHz	100 MHz	25 MHz	50 MHz
<b>Nº de canais</b>	2	2	2	2
<b>Frequência de Amostragem</b>	100 MS/s (2,5 GS/s ETS)	12,5 MS/s (200 GS/s ETS)	50 MS/s	100 MS/s
<b>Comprimento Registo</b>	16(-32) M x 8 bits/canal	1001 x 8 bits/canal	256 k (16M) x 8 bits/canal	64 k x 8 bits/canal
<b>Sensibilidade Vertical</b>	25 mV a 25 V	10 mV a 1 V/Div	20 mV a 20 V	100 mV a 80 V
<b>Incerteza Vert.</b>	2,5% alcance	1%	2% alcance	Não especificado
<b>Incerteza Hori.</b>	50 ppm	0,01%	100 ppm	Não especificado
<b>Gerador de Sinais</b>	Não	Não	Não	Sim
<b>Referência</b>	<a href="http://www.ni.com/digitizers">www.ni.com/digitizers</a>	<a href="http://www.pcinstruments.com">www.pcinstruments.com</a>	<a href="http://www.alazartech.com">www.alazartech.com</a>	<a href="http://www.amplicon.co.uk">www.amplicon.co.uk</a>
<b>Preço Aprox.</b>	€2500	€2900	€900	€1160

## Osciloscópios “virtuais” baseados em placas de som

Existem também algumas soluções (não comerciais) de osciloscópios baseados na placa de som dos PCs. A ideia dos osciloscópios baseados na placa de som é poder generalizar/banalizar a aprendizagem/utilização deste equipamento, sem custos ou hardware adicional. Estas ferramentas permitem a qualquer pessoa aprender/experimentar/utilizar as funcionalidades de um osciloscópio (e gerador de sinais) num PC vulgar. Da pesquisa efectuada e da experiência adquirida, os seguintes exemplos salientam-se pela sua qualidade:

- Soundcard Oscilloscope  
[http://www.zeitnitz.de/Christian/Scope/Scope\\_en.html](http://www.zeitnitz.de/Christian/Scope/Scope_en.html)
- Sound Card Instrument (custo simbólico de  $\approx$  €50)  
<http://www.virtins.com>

No entanto, é necessário tomar em consideração que este tipo de “osciloscópios” têm grandes limitações, nomeadamente a nível:

- da amplitude de tensões admissíveis à entrada (até alguns Volt);
- da largura de banda (de algumas dezenas de Hertz a cerca de 20 kHz)
- do efeito de carga que poderão introduzir nos circuitos sob teste (devido à baixa impedância de entrada)

## 6.5. Simuladores de osciloscópios

Os simuladores de osciloscópio representam virtualmente um osciloscópio no PC, normalmente incluindo um gerador de sinais (também virtual) para servir de fonte de sinal. Os simuladores de osciloscópio são normalmente utilizados para fins comerciais e/ou para fins de aprendizagem.

Por vezes os fabricantes de osciloscópios disponibilizam versões de demonstração (simuladores) dos seus osciloscópios para publicitar e demonstrar as suas funcionalidades. São exemplos os seguintes:

- Fluke123 e Fluke 199C Virtual Demo (<http://www.fluke.pt>)
- Pico Scope Demo (<http://www.picotech.com>)

Existem também alguns esforços académicos no sentido de disponibilizar simuladores de osciloscópio para aprendizagem, mas normalmente as funcionalidades são muito limitadas. Da pesquisa efectuada, além do simulador referenciado em [13] (e que serviu para gerar muitas figuras deste documento), o único simulador de osciloscópio que apresenta um mínimo de qualidade é o que pode ser encontrado em <http://www.virtual-oscilloscope.com>. Mesmo assim, apenas permite utilizar 4 sinais de entrada predefinidos e o sistema de *trigger* tem alguns problemas.



## REFERÊNCIAS

- [1] Mário Ferreira Alves, “ABC do Osciloscópio”, sebenta publicada na editorial do Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2<sup>a</sup> Edição, Março de 1998.
- [2] <http://www.fluke.pt>
- [3] <http://www.chauvin-arnoux.com>
- [4] <http://www.kenwoodtmi.co.jp>
- [5] <http://www.insteck.com>
- [6] <http://www.hameg.com>
- [7] Fluke, “*Fluke 97 Automotive Scopemeter*”, apresentação “auto/training” em PowerPoint.
- [8] Instituto Português da Qualidade, “Vocabulário Internacional de Metrologia - Termos Fundamentais e Gerais”, 2<sup>a</sup> Edição, ISBN 972-763-000-6, Junho de 1996.
- [9] <http://www.iti.iwatsu.co.jp>
- [10] Tektronix, “*XYZs of Oscilloscopes*”, versão de 1995, actualmente numa nova edição disponível em <http://www.tek.com>
- [11] Tektronix, “*Real-Time Versus Equivalent-Time Sampling*”, nota de aplicação disponível em <http://www.tek.com>
- [12] Imagens obtidas a partir da ferramenta de projecto/simulação de circuitos eléctricos e electrónicos “*MultiSim 2001 Education*”, <http://www.electronicsworkbench.com>
- [13] Imagens obtidas a partir de uma ferramenta de simulação de osciloscópio desenvolvida pelo aluno de Pedro Luis de Sousa Salgueiro, no âmbito do seu projecto de 5º ano da Licenciatura em Engenharia Electrotécnica – Electrónica e Computadores, v1.9, Setembro de 2005. Note-se que as imagens foram obtidas efectuando a desfocagem do feixe de forma a proporcionar uma melhor visibilidade do traço no documento impresso.
- [14] Hitachi Densi Ltd., “*Model V-212/211 Oscilloscope Operation Manual*”.
- [15] Fluke, <http://www.fluke.com/autotools/currentprobes.htm>, 1997.
- [16] Tektronix, [http://www.tek.com/Measurement/App\\_Notes/ProbeTutorial](http://www.tek.com/Measurement/App_Notes/ProbeTutorial), 1995.
- [17] Fluke, <http://www.fluke.com/applications/cal-app4.htm>, 1997.
- [18] Toyota Motor Corporation - Overseas Service Division, “*Electronics Master - Hi-Tech Training Instructions*”, Toyota Service Training 1993.



## APÊNDICES

### Apêndice A – Princípio do *Efeito Hall*

O *Efeito Hall* é utilizado para medir a intensidade de um campo magnético.

Se um semicondutor percorrido por uma corrente for colocado no seio de um campo magnético e orientado de tal forma que esse campo magnético seja perpendicular à direcção dessa corrente, irá ser produzida uma f.e.m. na direcção perpendicular às direcções do campo e da corrente (Figura 40).

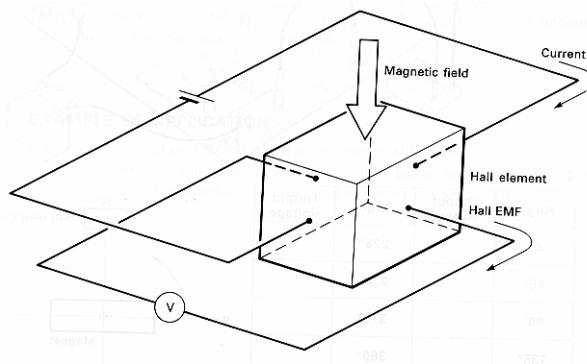


Figura 40: Princípio do Efeito Hall [18]

Os sensores de *Efeito Hall* são utilizados em diversas aplicações em que é necessário medir ou detectar a presença de um campo magnético. As pontas de corrente activas (pinças ampermétricas) são um exemplo de uma aplicação em que os sensores de *Efeito Hall* são utilizados para medir a intensidade de um campo magnético. Em aplicações em que é necessário detectar uma posição angular de um eixo/veio, pode utilizar-se um sensor de Efeito de Hall (fixo) e um íman permanente (em rotação). Quando o íman passa em frente do sensor, este detecta o campo magnético gerado criando um impulso de tensão.

## Apêndice B – Compensação do Circuito de Atenuação: prova

Relativamente à compensação do circuito de atenuação apresentado na Figura 22, queremos provar que:

$$R_o \cdot C_o = R_{pp} \cdot C_{pp} \Rightarrow U_o = U_{in} \cdot \frac{R_o}{R_{pp} + R_o}$$

Substituindo as impedâncias do osciloscópio ( $Z_o$ ) e da ponta de prova ( $Z_{pp}$ ) pelos seus valores na fórmula do divisor de tensão e desenvolvendo, chega-se à conclusão que a relação entre a tensão de entrada e a tensão de saída só depende das resistências do osciloscópio ( $R_o$ ) e da ponta de prova ( $R_{pp}$ ):

$$\begin{aligned} U_o &= U_{in} \cdot \frac{Z_o}{Z_{pp} + Z_o} \wedge Z_o = \frac{R_o \cdot \frac{1}{\omega \cdot C_o}}{R_o + \frac{1}{\omega \cdot C_o}} \wedge Z_{pp} = \frac{R_{pp} \cdot \frac{1}{\omega \cdot C_{pp}}}{R_{pp} + \frac{1}{\omega \cdot C_{pp}}} \Rightarrow \\ U_o &= U_{in} \cdot \frac{\frac{R_o}{\omega \cdot C_o}}{\frac{1}{R_o + \frac{1}{\omega \cdot C_o}}} = U_{in} \cdot \frac{\frac{R_o}{\omega \cdot C_o}}{\frac{R_o + \frac{1}{\omega \cdot C_{pp}}}{R_{pp} + \frac{1}{\omega \cdot C_{pp}}}} \Leftrightarrow \\ U_o &= U_{in} \cdot \frac{\frac{R_o}{\omega \cdot C_o}}{\frac{\frac{R_o}{\omega \cdot C_{pp}} + \frac{1}{R_o + \frac{1}{\omega \cdot C_o}}}{R_{pp} + \frac{1}{\omega \cdot C_{pp}}}} = U_{in} \cdot \frac{\frac{R_o}{\omega \cdot C_o}}{\frac{R_o + \frac{1}{\omega \cdot C_{pp}}}{R_{pp} + \frac{1}{\omega \cdot C_{pp}}} \cdot \frac{R_{pp}}{\omega \cdot C_{pp}} + \frac{R_o}{\omega \cdot C_o}} \\ U_o &= U_{in} \cdot \frac{\frac{R_o}{\omega \cdot C_o}}{\frac{\frac{R_o \cdot \omega \cdot C_o + 1}{R_{pp} \cdot \omega \cdot C_{pp} + 1} \cdot \frac{R_{pp}}{\omega \cdot C_{pp}} + R_o}{R_{pp} + \frac{1}{\omega \cdot C_{pp}}}} = U_{in} \cdot \frac{\frac{R_o}{\omega \cdot C_o}}{\left( \frac{R_o \cdot \omega \cdot C_o + 1}{R_{pp} \cdot \omega \cdot C_{pp} + 1} \right) \cdot R_{pp} + R_o} \\ \frac{R_o \cdot \omega \cdot C_o + 1}{R_{pp} \cdot \omega \cdot C_{pp} + 1} = 1 &\Rightarrow R_o \cdot \omega \cdot C_o + 1 = R_{pp} \cdot \omega \cdot C_{pp} + 1 \Leftrightarrow R_o \cdot C_o = R_{pp} \cdot C_{pp} \end{aligned}$$

Isto significa que garantimos que a atenuação é constante e independente da frequência.

## Apêndice C – Análise de Sinais de Vídeo

A maior parte dos osciloscópios permite a análise de sinais de vídeo, através de dois modos do sistema de sincronismo - 'TV-V' e 'TV-H' (e.g. osciloscópio da Figura 26). O modo 'TV-V' utiliza-se quando se pretende visualizar no ecrã um quadro do sinal de vídeo. Quando se pretende visualizar apenas uma linha, utiliza-se o modo 'TV-H'.

Um quadro comprehende um determinado número de linhas. No sistema de televisão utilizado em Portugal (PAL), cada imagem obtida no televisor é constituída por dois quadros. Num quadro, desenham-se as linhas ímpares, no outro, as linhas pares, de modo a reduzir a cintilação do ecrã (desenham-se 50 quadros por segundo, o que corresponde a 25 imagens por segundo).

Pode visualizar-se na Figura 41 que existem determinadas "marcas" no sinal de vídeo que "ensinam" ao televisor quando é que deve começar a desenhar uma nova linha (*horizontal sync pulse*), ou quando é que deve retornar o canto superior esquerdo do ecrã para desenhar um novo quadro (*vertical blanking*).

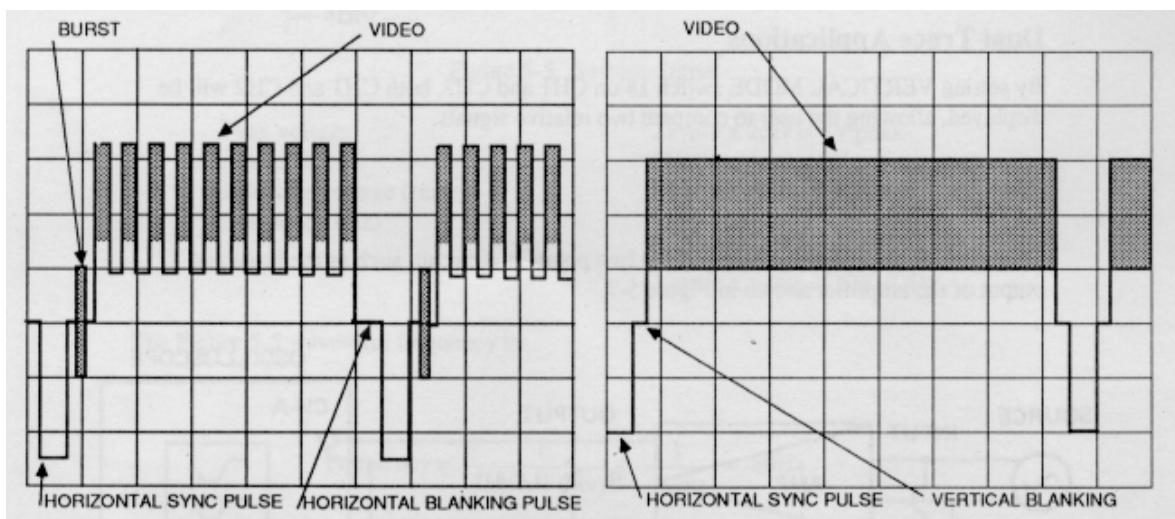


Figura 41: Visualização de sinais de vídeo (linha e quadro) [14]

## Apêndice D – Método Elíptico para Medição de Desfasamento: prova

Para esta dedução, devem ter-se em conta os valores ‘A’ e ‘B’ definidos na Figura 38b. Considerando as seguintes expressões matemáticas para duas ondas alternadas sinusoidais desfasadas de um ângulo  $\varphi$ :

$$u_x(t) = A_x \cdot \sin(\omega t)$$

$$u_y(t) = A_y \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

em que  $u_x(t)$  e  $u_y(t)$  são os sinais de tensão aplicados ao eixo dos XX e ao eixo dos YY, respectivamente, podemos dizer que:

$$\frac{A}{2} = A_y$$

$$\frac{B}{2} = u_y(t) \Big|_{u_x(t)=0} = A_y \cdot \sin(\omega t + \varphi) \Big|_{u_x(t)=0}$$

Repare-se que ‘B’ é a amplitude vertical quando não há tensão aplicada no eixo dos XX. Mas

$$u_x(t) = 0 \Rightarrow A_x \cdot \sin(\omega t) = 0 \Rightarrow \omega t = k \cdot \pi, k=0, 1, \dots$$

e

$$K = 0 \Rightarrow \omega t = 0$$

resultando em que

$$\frac{B}{2} = u_y(t) \Big|_{u_x(t)=0} = u_y(t) \Big|_{\omega t=0} = A_y \cdot \sin(\omega t + \varphi) \Big|_{\omega t=0} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \frac{B}{2} = A_y \cdot \sin(\varphi)$$

Podemos então concluir que

$$\frac{B}{A} = \frac{A_y \cdot \sin(\varphi)}{A_y} = \sin(\varphi)$$