



**ESCOLA POLITÉCNICA DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**
Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos
PSI - EPUSP

PSI 3031/3032 - LABORATÓRIO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS

versão 2018

Elisabete Galeazzo e Leopoldo Yoshioka

**Leitura complementar sobre osciloscópio digital:
funcionalidades e características**

1. INTRODUÇÃO

O osciloscópio é uma ferramenta essencial para o estudante de Engenharia Elétrica e de Computação. Será um instrumento que o acompanhará nas suas atividades práticas e validação de projetos de hardware. Realiza medidas de tensão, tempo e frequência. Permite “ver” o que está acontecendo no circuito elétrico. Pode-se observar forma de onda dos sinais elétricos a partir da qual é possível avaliar o comportamento de um circuito, de um equipamento ou de um sistema eletrônico.

Trata-se um instrumento digital. Ou seja, os sinais são amostrados e convertidos em números binários e processados computacionalmente. Um microprocessador controla o equipamento e provê uma interface de operação e visualização para o usuário do equipamento. O osciloscópio digital pode ser considerado como sendo um sistema de aquisição e processamento de dados. Dado o elevado grau de processamento do sinal nestes osciloscópios, é importante entender claramente a sua operação para poder interpretar corretamente as informações de medições apresentadas em formas gráficas, numéricas e textuais. É preciso também ter consciência das limitações do aparelho.

A seguir apresentaremos uma breve descrição sobre a operação do Osciloscópio.

2 Painel Frontal:

A Figura 11 a seguir mostra o painel frontal do osciloscópio com a indicação dos principais elementos.

Ver o manual do fabricante “Agilent DSOX 2002A Osciloscópio Digital Guia de Usuário” que se encontra na pasta “Manuais” do PSI 3212 no e-disciplinas para obter informações específicas sobre este instrumento.

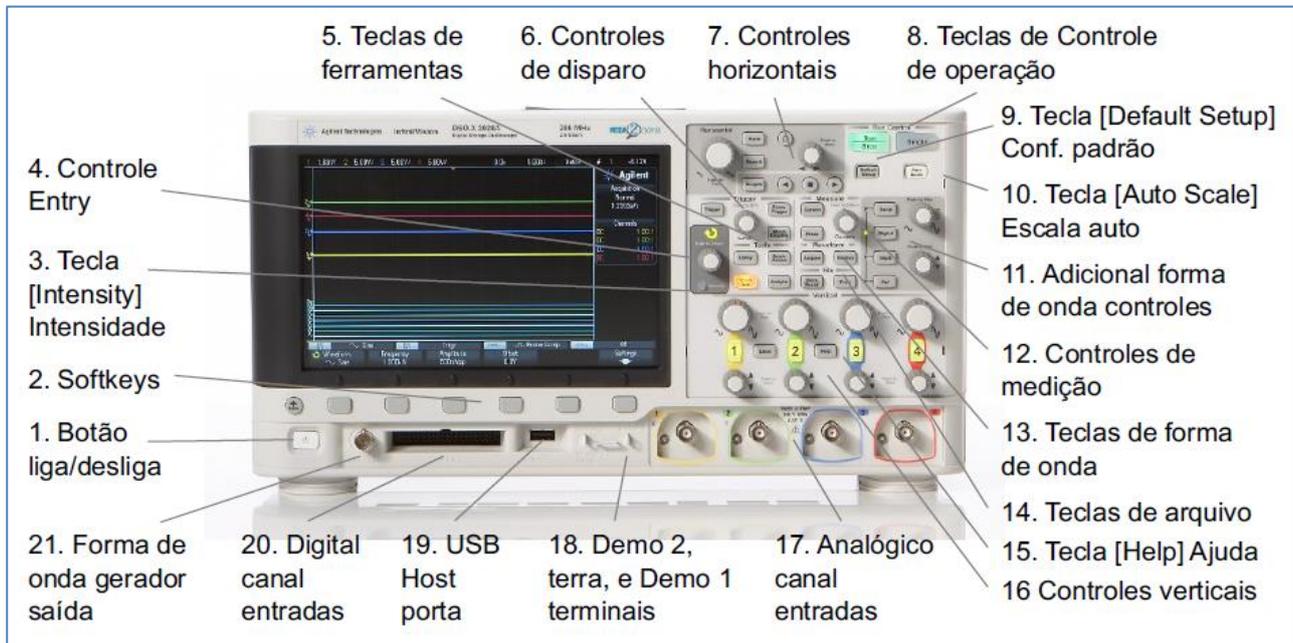


Figura 11: Painel frontal do Osciloscópio com a indicação dos elementos.

3 Funcionalidades do Osciloscópio

A **Tabela 1** a seguir apresenta uma descrição sucinta das funcionalidades dos elementos indicados na **Figura 11**.

TABELA 1 - Funcionalidade das Teclas e Botões do painel frontal do osciloscópio.

#	Tecla/Botão	Descrição da Operação
1	[Liga/Desliga]	Pressione uma vez para ligar; pressione outra vez para desligar.
2	[Softkeys]	As funções dessas teclas mudam com base nos menus mostrados nos visores logo acima das respectivas teclas. A tecla Voltar/Subir [Back] à esquerda permite subir na hierarquia de menus da softkey. No topo da hierarquia, a tecla Voltar/Subir desliga os menus, e em seu lugar são exibidas informações do osciloscópio.
3	[Intensity]	Pressione essa tecla para que ela acenda. Com a tecla acesa, gire o controle [Entry] para ajustar a intensidade da forma de onda, permitindo destacar detalhes do sinal, de forma semelhante a um osciloscópio analógico.
4	[Controle] (“Entry”)	Este botão é usado para selecionar itens de menus, associado aos [Softkeys], permitindo alterar as opções ou os valores. Observe que o símbolo de seta encurvada  acima do botão [Controle] acende

		<p>sempre que o controle estiver ativo, permitindo seleção de uma opção ou valor.</p> <p>Observe também que quando o símbolo  aparece associado a uma Softkey, é possível usar o [Controle] para seleção de valores.</p> <p>Geralmente basta girar o botão [Controle] para fazer a seleção. Existem situações em que se deve pressionar o botão de [Controle] para ativar ou desativar uma seleção. Repare também que ao pressionar o botão [Controle] os menus popup desaparecem.</p>
5	[Ferramentas] ("Tools")	<p>[Utility] – permite definir as configurações de E/S do osciloscópio, usar o gerenciador de arquivos, definir preferências, acessar o menu de serviços ou escolher outras opções.</p> <p>[Quick Action] – permite executar as seguintes ações rápidas: mostrar um instantâneo de todas as medições, imprimir, salvar, recuperar, congelar visor entre outras.</p> <p>[Analyse] – permite acessar recursos de análise como teste de máscara, definir limites de medição, ou configurar e exibir disparo automático de Vídeo.</p> <p>[Wave Gen] – permite acessar as funções de gerador de forma de onda (senoidal, quadrada, triangular, pulsada e ruído).</p>
6	[Disparo] ("Trigger")	Estes controles determinam como o osciloscópio será disparado para capturar os dados (borda, largura de pulso, padrão e vídeo).
7	[Controles horizontais]	<p>Os controles horizontais consistem de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Controle de escala horizontal – permite ajustar a velocidade de varredura (tempo/div). • Controle de posição horizontal – permite deslocar a forma de onda horizontalmente. A forma de onda pode ser vista antes do disparo (girar o controle no sentido horário) ou após o disparo (girar o controle no sentido antihorário). • [Horiz] – abre o menu Horizontal, onde pode-se selecionar os modos XY e Livre, ativar ou desativar o zoom, ativar ou desativar o ajuste fino de tempo/div horizontal e selecionar o ponto de referência de tempo de disparo. • [Zoom] – divide a tela em duas seções, Normal e Zoom. • [Search] – permite percorrer a onda a fim de localizar eventos de interesse. • [Navigate] – permite navegar pelos dados capturados (tempo), eventos de pesquisa ou aquisições memória segmentada.
8	Controle de Operação ("Run Control")	<p>Quando a tecla [Run/Stop] estiver verde, o osciloscópio está em operação, ou seja, estará adquirindo dados desde que as condições de disparo estejam satisfeitas. Para interromper a aquisição de dados pressione [Run/Stop] (a tecla ficará vermelha). Nessa condição a aquisição de dados estará parada. Para reiniciar a aquisição de dados, pressione [Run/Stop] novamente.</p> <p>[Single] – permite capturar e exibir uma aquisição única (o osciloscópio poderá estar em operação ou parado. A tecla [Single] ficará com a cor amarela até que o osciloscópio seja disparado.</p>
9	[Default Setup]	<p>Permite restaurar as configurações padrão do osciloscópio:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Horizontal: modo normal, escala 100 μs/div, retardo de 0 s, referência de

		<p>tempo central.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vertical: canal 1 ativado, escala 5V/div, acoplamento CC, posição de 0V no centro. • Disparo "Trigger": disparo de borda, modo de disparo automático, nível de 0V, fonte canal 1, acoplamento CC, transição positiva, tempo de espera de 40 ns.
10	[Auto Scale]	O osciloscópio, automaticamente, detectará os canais com a presença de sinais e os colocará na tela com as escalas vertical e horizontal ajustados de forma a prover a melhor visualização dos sinais. Ao iniciar uma nova medição recomenda-se sempre começar por essa função.
11	Controles adicionais de forma de onda	<ul style="list-style-type: none"> • [Math] Matemática – permite que se façam operações matemáticas (soma, subtração, multiplicação e FFT) com os sinais medidos pelo equipamento. • [Ref] – permite acesso a funções de formas de onda de referência (formas de onda gravadas que podem ser exibidas e comparadas com os sinais de interesse). Obs. as formas de ondas de referências podem ser salvas em dispositivos com interface USB "pen-drive" e posteriormente recuperadas. • [Digital] – no DSO-X 2002A essa tecla não é utilizada. • [Serial] – no DSO-X 2002A essa tecla não é utilizada. • [Controle 1] – controle de escala multiplexada – é utilizado com forma de ondas matemáticas "Math" ou de referência "Ref" que estiver com a seta à esquerda acesa. Age como um controle de escala vertical. • [Controle 2] – controle de posição multiplexada – é utilizado com forma de ondas matemáticas "Math" ou de referência "Ref" que estiver com a seta à esquerda acesa. Age como um controle de posição vertical.
12	Controles de Medição	<p>[Controle Cursors] – permite selecionar cursores verticais (X1 e X2) e cursores horizontais (Y1 e Y2) a partir de um menu popup. Os valores de ΔX [s] ; $1/\Delta X$ [Hz] e ΔY [V] são apresentados automaticamente no campo "Cursors" da tela.</p> <p>[Cursors] – abre um menu que permite selecionar o modo dos cursores (Manual, Track waveform, Binary, Hex) e a fonte (ch1, ch2, f(t), Ref1, Ref2).</p> <p>[Meas] Medir – permite configurar o objeto da medição, incluindo a seleção de: fonte, tipo de disparo e tipo de medição:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tensão: pico, pico a pico, Max, Min, Amplitude, Topo, Base, Overshoot, Preshoot, Média (average), RMS (acoplamento CC e CA). • Tempo: período, frequência, largura (width), duty-cycle, tempo de subida (rise-time) , tempo de descida (fall-time), atraso (delay), fase (phase). <p>Obs.: pode-se selecionar até quatro medições simultâneas que serão mostrados nos campos "Measurements" do lado direito inferior da tela.</p>
13	Tecla de Forma de Onda	<p>[Acquire] Adquirir – permite selecionar os seguintes modos: Normal, Detecção de Pico, Média ou Alta Resolução.</p> <p>[Display] Exibição – permite acessar o menu onde é possível habilitar as seguintes funções: persistência, limpar a tela, e ajustar a intensidade da grade de exibição.</p>
14	Teclas de arquivo	<p>[Save/Recall] Slavar/Recuperar – permite salvar o recuperar uma forma de onda ou configuração.</p> <p>[Print] Impressão – permite imprimir as formas de ondas exibidas na tela do osciloscópio.</p>
15	Ajuda	[Help] – abre o menu de Ajuda, onde pode ser consultados informações sobre os recursos do osciloscópio.

16	Controles Verticais	<ul style="list-style-type: none"> • ["1"] e ["2"] – Liga/Desliga canal 1 e 2 – use estas teclas para ativar ou desativar o canal, ou para acessar o menu do canal através das softkeys. • Controles de escala vertical – use-os para alterar o ganho vertical de cada um dos canais. • Controle de posição vertical – use-os para ajustar a posição vertical da forma de onda na tela. • [Label] Rótulo – permite acessar o menu de funções para personalizar a identificação dos sinais mostrados na tela do osciloscópio.
17	Entradas dos canais analógicos	<ul style="list-style-type: none"> • BNC 1 e 2 – conecte nestes terminais as pontas de provas do osciloscópio. A impedância de entrada desses canais é de 1 MΩ. <p>Obs.: não há detecção automática de ponta de prova, portanto é necessário definir corretamente a atenuação da ponta de prova.</p>
18	Terminais Demo 2, Terra e Demo 1	<ul style="list-style-type: none"> • [Demo 2] – emite o sinal “Probe Compensation” que ajuda a corrigir a capacitância de entrada de uma ponta de prova ao canal do osciloscópio ao qual está conectada. • [Terra] – conecte aqui o terminal de terra da ponta de prova. • [Demo 1] – emite sinais demo ou de treinamento (somente disponível com licenças específicas).
19	Porta de host USB	<p>Esta porta é para a conexão de dispositivos com interface USB tais como pen-drive, unidade de disco, impressora entre outras para salvar ou recuperar arquivos de configuração do osciloscópio e formas de onda de referência, ou para salvar a imagem da tela. São aceitos os arquivos nos seguintes formatos: bmp; jpg; png; csv; h5; alb; bin.</p> <p>Para imprimir basta conectar uma impressora com interface USB.</p> <p>A porta USB pode também ser utilizada para atualizar o software do sistema do osciloscópio (upgrades).</p> <p>Não é necessário tomar cuidado especial para remover o dispositivo USB conectado ao osciloscópio. Basta desconectar quando a operação de transferência do arquivo for concluída.</p> <p>CUIDADO !!! Não conecte um computador host à porta host USB do osciloscópio localizado no painel frontal do equipamento. Use a porta de dispositivo que fica no painel traseiro (há duas portas disponíveis).</p>
20	Entradas de canal digital	Esses canais não operacionais nesse modelo (somente para os modelos da série MSO).
21	Saída do gerador de forma de onda	[Wave Gen] Gerador de Onda – pode-se escolher as seguintes formas de ondas: seno, quadrada, rampa, pulso, sinal contínuo ou ruído.

4. Principais componentes do Osciloscópio

A Fig. 4 mostra os principais componentes do sistema. Não se preocupe em compreender o significado de cada bloco. O objetivo aqui é apenas ter uma ideia da estrutura interna do osciloscópio.

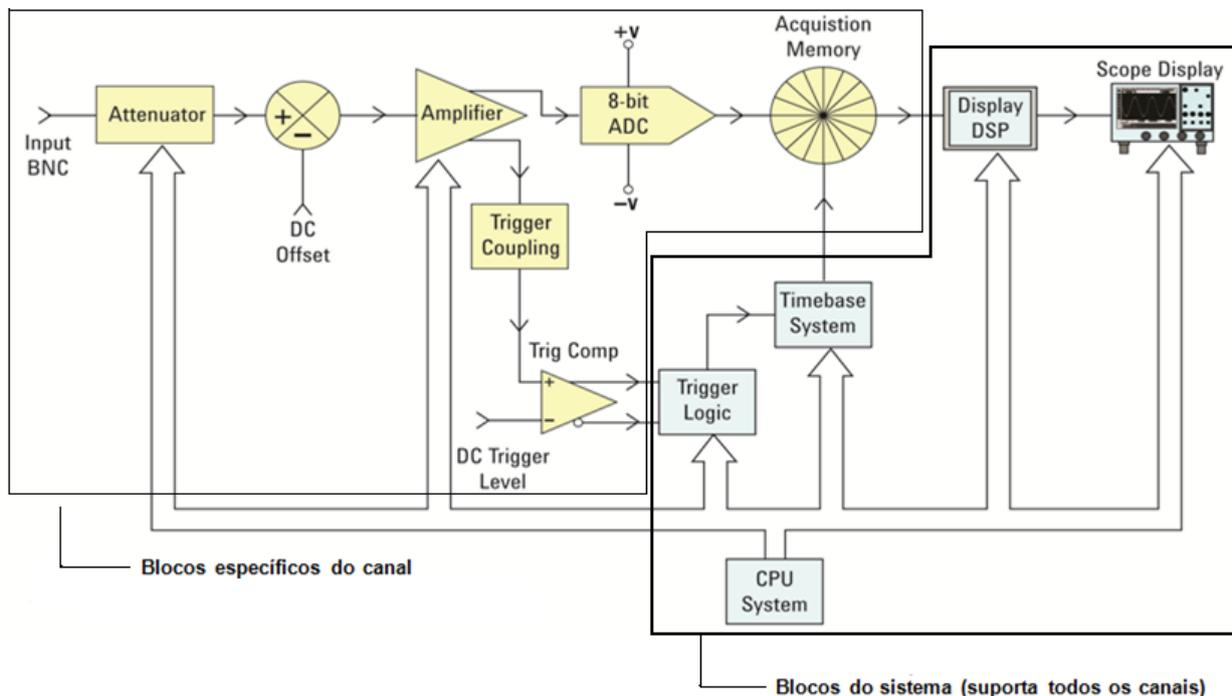


Figura 4 – Diagrama de blocos do osciloscópio digital.

4.1 Condicionamento de sinais

Os blocos “Atenuador”, “Deslocamento CC” e “Amplificador”, apresentados no diagrama da Fig. 4, são responsáveis pelo condicionamento do sinal de entrada. Esses blocos estão relacionados com a função de ajuste da escala de tensão vertical (V/div) do osciloscópio. De acordo com a escala de tensão e ajuste de posição vertical escolhida pelo usuário, o equipamento configura o fator de atenuação, ganho do amplificador e a tensão de *off-set* de forma que o condicionamento resulte num sinal de saída que esteja dentro da faixa dinâmica do ADC (a faixa dinâmica do ADC é fixa).

É importante lembrar que os sinais devem ser levados à entrada do osciloscópio usando-se pontas de prova compensadas. Como a impedância de entrada dos osciloscópios possui uma parte capacitiva, os sinais seriam distorcidos (principalmente os componentes de altas frequências ou de transições rápidas da forma de onda de uma onda quadrada, por exemplo) caso não fosse usada uma ponta compensada (somente em casos muito particulares não há problemas em utilizar-se cabos BNC, como será visto adiante).

4.2 Trigger

O disparo, gatilho ou trigger como também é conhecido, é uma das funções mais importantes para que possamos monitorar adequadamente as formas de onda dos sinais na tela do osciloscópio. Pode-se pensar no disparo do osciloscópio como um mecanismo para "tirar fotografias sincronizadas" do sinal de entrada. No caso de um sinal de entrada repetitivo, que é algo típico (como exemplo sinais periódicos), o osciloscópio realiza aquisições repetitivas (ou tira fotografias repetitivas) para mostrar uma foto "em tempo real" de seu sinal de entrada. Essas fotografias repetitivas do osciloscópio devem estar sincronizadas em um ponto único no sinal de entrada, a fim de mostrar uma imagem da forma de onda estável na tela osciloscópio.

O tipo mais comum de disparo é aquele acionado no instante no qual o sinal de entrada cruza um nível de limite de tensão específico, em uma direção positiva ou negativa. Esse tipo de disparo é chamado de "disparo de borda".

Na Fig. 5 mostramos um sinal senoidal capturado pelo osciloscópio em duas situações: (a) disparo através de uma borda ascendente de 0 V e (b) disparo através de uma borda ascendente de + 2 V. Em geral, o ponto de disparo é posicionado no centro da tela, sendo que o osciloscópio armazena em sua memória dados da forma de onda antes do disparo (tempo negativo) e depois do disparo (tempo positivo). Como o sinal a ser observado já está na memória, é possível fazer o gráfico mostrando uma parte do sinal anterior ao disparo, isto é, pode-se observar tempos negativos. De fato, é possível colocar o momento de disparo no centro da tela ("default") ou em qualquer de seus extremos.



Disparo = borda ascendente de 0V.



Disparo = borda ascendente de + 2 V.

Figura 5 – Exemplos de disparos de um sinal senoidal.

Os blocos de disparo (trigger) e de base de tempo controlam o instante e a velocidade com que o ADC adquirirá as amostras (captura das imagens das formas de onda do sinal). O sinal do disparo informa ao bloco de base de tempo quando é necessário parar de obter as aquisições (fotografias). Por exemplo, se o osciloscópio possui uma profundidade de memória de 1.000 pontos (ou amostras por aquisição) e se o osciloscópio foi configurado para disparar exatamente no centro da tela, o bloco base de tempo permitirá que os blocos ADC/memória colem amostras

da entrada continuamente para preencher, no mínimo, metade da memória. Depois que o evento de disparo ocorrer, o bloco de base de tempo permitirá que os blocos ADC/memória obtenham 500 amostras adicionais antes da interrupção da amostragem. Nesse caso, as primeiras 500 amostras na memória de aquisição representam dados da forma de onda antes do evento de disparo, ao mesmo tempo em que as 500 últimas amostras na memória de aquisição representam dados da forma de onda após o evento de disparo.

4.3 Pontas de Prova

Normalmente para se medir as características de um sinal em um determinado ponto do circuito em análise é necessário usar uma "ponta de prova".

Existem vários tipos diferentes de pontas de prova, selecionados de acordo com os propósitos especiais, como aplicações de alta frequência, aplicações de alta tensão e medições de corrente. Contudo, o tipo mais comum de ponta de prova de osciloscópio, usado para testar uma grande variedade de sinais, é chamado de "ponta de prova passiva 10:1". Esse é o tipo de ponta de prova que utilizaremos na maioria dos experimentos daqui em diante no nosso laboratório.

A Fig. 6 mostra um modelo elétrico de ponta de prova passiva 10:1 divisora de tensão conectada à entrada de um osciloscópio. O termo "passiva" significa que a ponta de prova não inclui circuitos ativos, como transistores e amplificadores. Em outras palavras, a ponta de prova consiste totalmente em componentes/elementos passivos, que incluem resistência, capacitância e indutância. A indicação "10:1" (lê-se 10 para 1) significa que a ponta de prova reduz a amplitude do sinal de entrada por um fator de 10. Dessa forma, a impedância de entrada (Z de ponta de prova + osciloscópio) do sistema de medição do osciloscópio também é aumentada por um fator de 10.

Por fim, observe que todas as medições que usam esse tipo de ponta de prova devem ser realizadas em relação ao **terra**. Ou seja, é necessário conectar a ponta de entrada da ponta de prova ao ponto de teste desejado e depois **deve-se** conectar o terminal "jacaré" da ponta de prova ao **terra** do circuito.

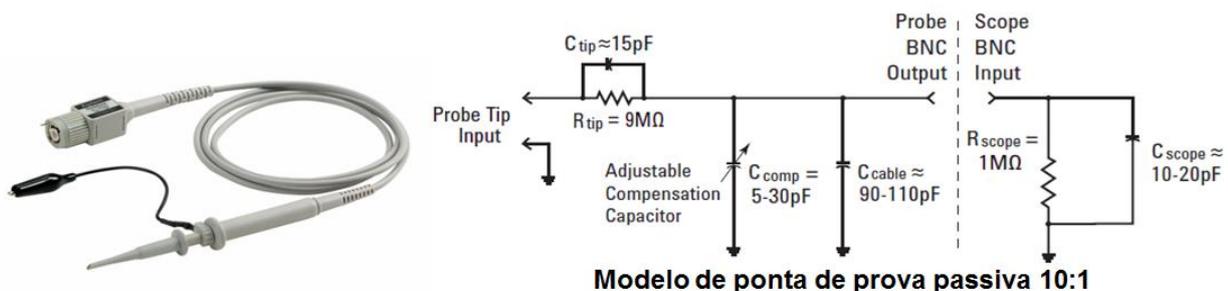


Figura 6 – Ponta de prova passiva de osciloscópio.

Cuidado Importante

Conforme indicação da Fig. 6, o terminal jacaré é a referência para as medidas efetuadas com pontas de prova e está ligado internamente ao “terra/neutro” da rede elétrica. Portanto, se for medir sinais de circuitos ligados na rede elétrica, **não utilize esse terminal jacaré!!** Pois há um risco muito grande de causar um “curto-circuito” da rede elétrica. Para medições de grandezas derivadas diretamente da rede elétrica com as pontas de prova, devem ser utilizados **transformadores de isolamento**. Outra forma é utilizar funções matemáticas (funções MATH) disponíveis no osciloscópio para cálculo de diferença entre sinais dos seus canais.

4.4 - Conversores Analógico/Digitais (ADC)

Um componente essencial na operação de um osciloscópio digital são os conversores analógico/digitais (ADC) e as memórias para armazenamento digital de dados. Esses são os componentes do osciloscópio que tem como função tirar e armazenar as fotografias das formas de onda. O ADC transforma uma amostra do sinal de entrada analógico em um valor binário digital. No caso do osciloscópio DSO-X 2002A a conversão é feita com 8 bits de resolução vertical (1 parte em 256) e velocidade de até 2GSa/s (dois bilhões de amostras por segundo). Os ADCs utilizam uma arquitetura denominada *pipeline* (combinação de dezenas de ADCs em paralelo) para atingirem a velocidade de conversão de 2 GSa/s.

4.5 - Memória

Após a conversão do sinal analógico em formato digital, os dados são armazenados na memória, que deve ter uma velocidade de armazenamento compatível com a dos ADCs.

O espaço de armazenamento na memória do osciloscópio é fixo. No caso do DSO-X2002A o espaço de armazenamento é de 100k pontos no total (50k pontos por canal). Conforme visto no item anterior, a taxa de amostragem máxima do ADC é de 2 GSa/s.

Uma vez que o espaço de armazenamento na memória é limitado, a taxa de amostragem real do osciloscópio dependerá do tempo de aquisição, que por sua vez é definido de acordo com a escala de tempo/div horizontal do osciloscópio. A taxa de amostragem real é determinada pela seguinte relação:

- taxa de amostragem real = quantidade de amostras dividida pelo tempo de aquisição

Por exemplo, se escolhermos uma escala de tempo de 5 μ s/div, que corresponderá a um tempo de armazenamento de 50 μ s de dados (= 5 μ s/div x 10 div), logo em 50 mil pontos de memória a taxa de amostragem resultante será de 1 GSa/s (= 50 mil/50 μ s).

De forma semelhante, se escolhermos uma escala de tempo de 5 ms/div, que corresponderá ao tempo de armazenamento de 50 ms de dados, em 50 mil pontos de memória, a

taxa de amostragem resultante será de 1 MSa/s. Ou seja, em escala de tempo mais lenta o osciloscópio descartará as amostras em excesso (que não cabem no espaço da memória).

Quando um ciclo de aquisição é concluído, as amostras armazenadas na memória de aquisição são processadas para a exibição. Os modelos DSOs da Agilent possuem internamente DSP (Digital Signal Processor) dedicados para processar/filtrar digitalmente os dados e depois distribuí-los na memória de exibição, melhorando assim o rendimento e as taxas de atualização da forma de onda.

4.6 - Microprocessador

Os osciloscópios digitais são constituídos por um ou mais microprocessadores, cuja complexidade determina o potencial de recursos do osciloscópio. Visto que a informação obtida sobre o sinal encontra-se em formato digital, torna-se muito fácil processar cálculos de parâmetros tais como: intervalos de tempo, tempo de subida, frequência, etc. Também, torna-se possível realizar operações matemáticas com formas de onda, ou transmitir as informações para uma impressora ou *plotter*. Para cálculos mais complexos, os dados digitalizados podem ser enviados a um microcomputador, como ocorre em sistemas de medidas automatizados.

4.7 - Monitor (Tela de LCD)

No osciloscópio digital as exigências quanto ao monitor, comparada ao osciloscópio analógico que utiliza um tubo de raios catódicos com resposta rápida compatível com a banda passante do osciloscópio, é bastante reduzida. No osciloscópio digital, uma vez que os dados se encontram armazenados na memória, a reconstrução da forma de onda sobre a tela pode ser feita a uma velocidade bem mais reduzida que aquela utilizada para amostrar o sinal. Desta forma, é possível o emprego de monitores menos rápidos e, portanto, de custo mais baixo e muitas vezes de maior confiabilidade e durabilidade. O DSO-X 2002A utiliza um monitor de LCD (Liquid Cristal Display) colorido de 800 x 480 pixels.

4.8 Banda Passante e Taxa Máxima de Amostragem

A integridade das medições do osciloscópio digital depende basicamente de duas características chaves que são: banda passante e a taxa máxima de amostragem.

A banda passante é determinada tanto pela resposta em frequência dos pré-amplificadores verticais quanto pela sua taxa de amostragem máxima. A largura da banda passante do osciloscópio DSO-X2002A é de 70 MHz. Se for aplicado um sinal senoidal com esta frequência, denominada FBW, ele será atenuado de 3 dB (- 30% de erro na leitura da amplitude do sinal).

Segundo o Teorema de Nyquist, a frequência de amostragem deverá ser maior que o dobro da máxima frequência do sinal a ser analisado ($F_s > 2FBW$) para evitar a ocorrência de rebatimento do sinal (aliasing). Porém, na prática, osciloscópios usam taxa de amostragem igual a 4 vezes ou mais a sua largura da banda (FBW). O osciloscópio DSO-X2002A possui taxa máxima de amostragem de 1 gigaamostras por segundo (1GSa/s) por canal.

Na Figura 7, a seguir, é mostrado um exemplo de captura de uma onda quadrada com frequência de 10 MHz pelo osciloscópio DSO-X2002A. Observe que a forma de onda exibida na tela do osciloscópio está ligeiramente distorcida. Isto ocorre porque o osciloscópio mede com boa precisão até a 7ª harmônica da onda quadrada (7×10 MHz) enquanto que as demais harmônicas de ordem superior são atenuadas.

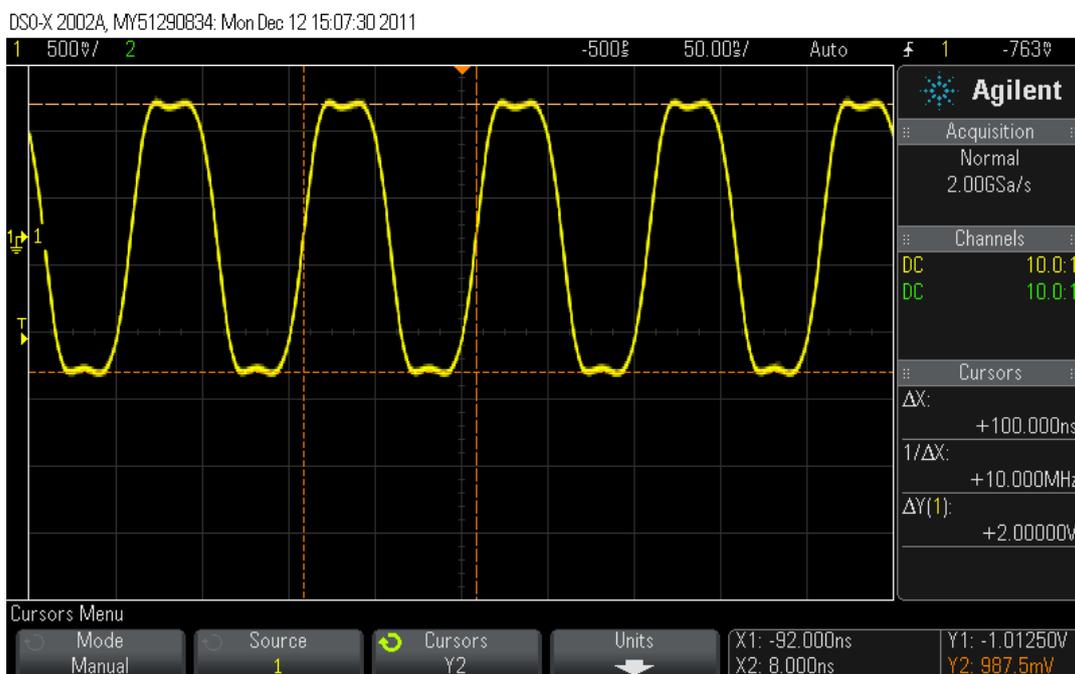


Figura 7: Exemplo de captura pelo osciloscópio DSO-X2002A de uma onda quadrada de 10MHz, 2 Vpp, off-set de 0V e duty-cycle de 50%.

4.9 - Resolução Vertical

É uma medida da capacidade do osciloscópio em mostrar pequenas variações na amplitude do sinal. Exprime-se em número de bits ou em porcentagem da escala total. Os bits de resolução estão relacionados com a porcentagem da escala total por:

$$\% \text{ escala total} = \frac{100}{2^n - 1},$$

onde n é o número de bits. Por exemplo, para medir uma variação de 2 % em amplitude, o osciloscópio deve possuir um mínimo de 6 bits de resolução. Um osciloscópio com conversor A/D de 8 bits, como o empregado nesta experiência, terá uma resolução de $100/28 \cong 0,4$ por cento da escala total.

A resolução efetiva do osciloscópio será sempre inferior ao número de bits do conversor, devido a imperfeições e não-linearidades no conversor, bem como à presença de ruído.