

Arguição: _____

Relatório: _____

PARTE B PRÁTICA

- **Exercícios:** faça-os com antecedência ANTES DA AULA.
- **Anotações:** devem ser feitas DURANTE A AULA.
- □ : passos das atividades – para não se perder, MARQUE-AS depois que completá-las

Nome: _____ n. USP: _____ Turma: _____

Colega de equipe (Nome / n. USP): _____

Bancada: _____ Data: _____ Hora de início: _____

- ☐ Ligue o computador e abra o arquivo indicado a seguir. Siga-o com atenção para fazer a experiência.
C:\PMR3303\Exp2\3303_19Exp2_Roteiro.pdf
- ☐ Insira no *protoboard* do painel XLA todos os CIs que usaremos: 74HC00 (U1), 74HC05 (U2) e 74HC08 (U3).
 Deixe algumas trilhas entre eles. Não vamos usar o CI ML1 que já deve estar instalado, mas deixe-o como está.

Atividade 1 Suficiência de NAND – circuito XOR

Objetivo: aplicar o teorema de De Morgan e a suficiência de NAND

Construa a função $a \oplus b$ na forma $\overline{((a.b).b)}.\overline{((a.b).a)}$, usando as portas NAND do 74HC00 (U1).

Exercício 1 Faça **à mão livre** o diagrama lógico **completo** do circuito XOR acima. Ligue as entradas às chaves e a saída ao led indicados na tabela abaixo. Numere pinos e portas; identifique os componentes usados; inclua as chaves e o led de saída, etc. (veja as recomendações contidas na apostila da experiência anterior). Para numerar os pinos e as portas do CI, consulte o *datasheet* anexo. Preste atenção para desenhar as portas corretamente.

Entradas	Chaves																
a	SW1																
b	SW2																
Saída	Led																
$a \oplus b$	LD1																

- ☐ Monte o circuito XOR com quatro NANDs. Lembre-se: comece pelos pinos V_{DD} e GND do componente!
- ☐ Conecte o plugue da fonte de 5 V no conector de alimentação no painel XLA e ligue a fonte numa tomada de **127 V** da bancada. **NÃO USE** a tomada da parede!

Anotação 1a Anote a hora: _____.

- ☐ Tire a fonte da tomada. DEIXE o 74HC00 no *protoboard* com os cabinhos de V_{DD} e GND e tire os demais.

Atividade 2 Configuração do osciloscópio e do gerador de funções

Calibração das pontas de prova

Antes de usar um osciloscópio, devemos sempre **calibrar** as pontas de prova. A indutância e capacitância do cabo das pontas formam um circuito ressonante que pode afetar o sinal a ser medido.

- ☐ Conecte as pontas dos canais 1 e 2 no terminal de calibração (*“Probe Comp”*) do osciloscópio e a garra de referência (terra) da ponta do canal 1 no terminal inferior (GND). Em seguida, aperte o botão **“Auto Set”** do osciloscópio

Se a ponta não estiver bem calibrada, ao contrário da borda do sinal, você verá um canto arredondado ou um sobressinal, como mostra a Figura 2.18. Para se calibrar uma ponta, ajusta-se o capacitor de compensação por um pequeno parafuso. **O parafuso é bastante frágil!** NÃO mexa nele sem antes chamar o professor. Se houver pouca distorção, não se preocupe – não precisaremos de alta precisão.

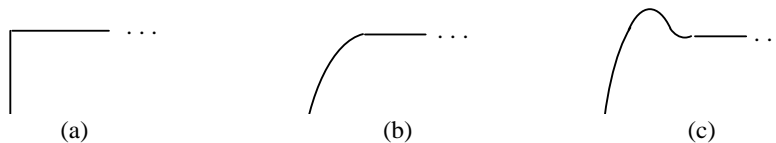


Figura 2.18 Borda da onda quadrada (a) pode parecer amortecida (b) ou com sobressinal (c), devido ao uso de uma ponta de prova descalibrada.

Ajuste inicial do osciloscópio

Vamos fazer alguns ajustes iniciais no osciloscópio antes de usá-lo nas próximas atividades.

- ☐ **Atenuação 10x para as duas pontas:** selecione o canal; o menu “*Probe*” deve mostrar “10X *Voltage*” – caso contrário, selecione o menu “*Probe*” e em seguida o menu “*Attenuation*” até ajustar em “10X”.
- ☐ **Acoplamento DC nos dois canais:** selecione o canal e ajuste o menu “*Coupling*” para “DC”.
- ☐ **Limite de banda nos dois canais:** selecione o canal e ajuste o menu “*BW Limit*” para “On”.
- ☐ **Configurações de Trigger:** aperte o botão “*Trig Menu*” e faça os seguintes ajustes
 - **Source:** CH1 – compara o sinal no canal 1 com o nível ajustado de *trigger* para gerar os disparos
 - **Type:** Edge – faz com que o instante de *trigger* seja uma das bordas do sinal *Source*
 - **Slope:** Rising – gera os disparos nas bordas de subida do sinal *Source*
 - **Mode:** Auto – gera disparos automaticamente caso o sinal *Source* não atinja o nível de *trigger*.
 - **Coupling:** DC – mantém o nível DC do sinal *Source* ao compará-lo com o nível ajustado de *trigger*.

ATENÇÃO: a partir de agora, **NÃO aperte mais o botão AUTO SET!** Caso contrário, essas configurações se perderão e terão que ser refeitas.

Ajuste do gerador de funções

Ajuste o gerador de funções para: sinal **quadrado**, frequência de **10 kHz**, excursão de **0 V a 5 V**

- ☐ **Sinal TTL/CMOS** (de 0 a 5 V): botão “TTL/CMOS” apertado (*Push*)
- ☐ **Onda quadrada:** entre os botões do conjunto “Function”, aperte o indicado com uma onda quadrada
- ☐ **Saída :** conecte o cabo BNC com duas minipinças (uma vermelha e outra preta) à saída “TTL/CMOS”. Através dele, conecte a saída do gerador à ponta de prova do canal 1 do osciloscópio:
 - pinça vermelha na ponta de prova;
 - pinça preta na garra de terra da ponta
- ☐ Ligue o gerador de sinais e ajuste a frequência para 10 kHz
- ☐ Ajuste o canal 1 do osciloscópio para visualizar bem o sinal: pelo menos dois períodos na horizontal e amplitude do sinal com a maior excursão visível na vertical.
Se o sinal não aparecer **ESTÁTICO** na tela, é necessário ajustar o nível de *trigger*.
- ☐ VERIFIQUE: período de 100 μ s, amplitude de aproximadamente 5 V e, principalmente, nível inferior **NÃO NEGATIVO** (confira na tela a altura do nível de referência “1→”).
Se a tensão de entrada for negativa, pode **QUEIMAR** a porta da próxima atividade!

Anotação 2a Anote a hora: _____.

Atividade 3 Atraso de Propagação

Objetivo: observar e medir o atraso de propagação de uma porta NAND do 74HC00 (U1).

Use o circuito mostrado na Figura 2.19 para medir o atraso médio de propagação pelo critério de cruzamento pelo nível de 50% da amplitude. O segundo NAND serve para não deixar a saída V_O em aberto, de modo a se medir a tensão numa condição próxima da especificada no *datasheet* (capacitância de carga $C_L = 15$ pF).

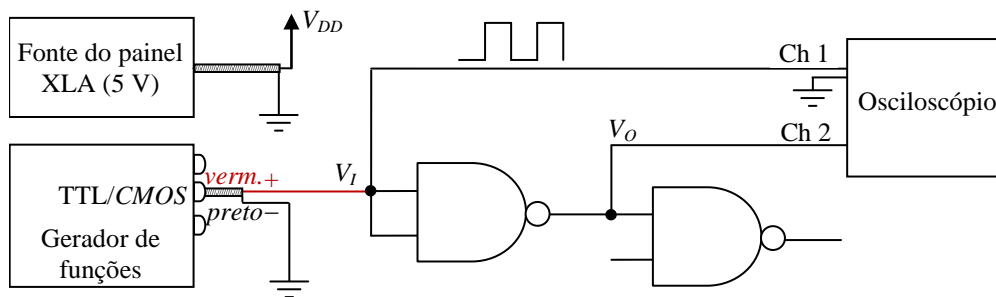


Figura 2.19 Circuito para medição do atraso de propagação.

Exercício 2 Complete o diagrama lógico do circuito de teste (Figura 2.19). Nomeie os componentes usados, atribua identificadores às portas (ex. U1a), numere pinos, etc.

- ☐ Conecte a saída do gerador de sinais (garra vermelha) na entrada V_I do circuito (primeira porta NAND). Use o sinal já ajustado no gerador de sinais para alimentar a entrada V_I .
- ☐ Conecte as pontas dos canais 1 e 2 do osciloscópio à entrada V_I e à saída V_O , como mostra a figura. LEMBRE-SE: interligue os terminais negativos do gerador e da ponta de prova ao pino GND do CI.
- ☐ Ligue a fonte do painel XLA na tomada. Observe no osciloscópio os sinais de entrada (V_I) e de saída (V_O). Ajuste a escala horizontal para observar pelo menos 2 períodos. Ajuste os ganhos verticais dos canais para que cada sinal excursione por quase toda altura da tela.
- ☐ Centralize cada sinal verticalmente na tela, sobrepondo-os como mostra a Figura 2.20a.

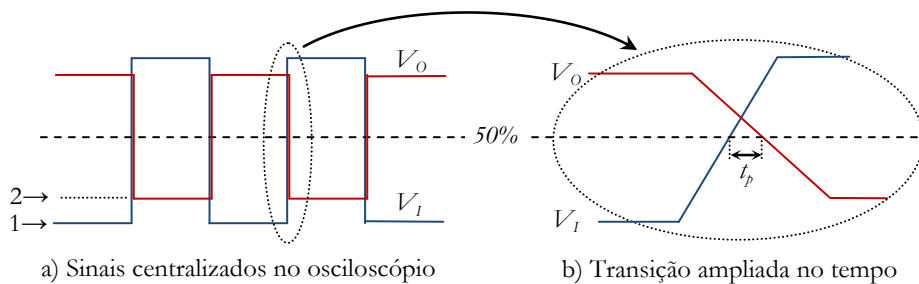


Figura 2.20 Medida do tempo de atraso.

A partir de agora, estaremos interessados em observar transições rápidas nos sinais, ou seja, detalhes com componentes de alta frequência. Por isso, é necessário desligar a limitação de banda dos canais do osciloscópio.

- ☐ **Limite de banda nos dois canais:** selecione o canal e ajuste o menu “*BW Limit*” para “*Off*”.
- ☐ Escolha uma **transição de subida de V_I** (canal 1) e amplie bem a escala horizontal para que a subida ocupe várias divisões da tela (veja a Figura 2.20b). Como a porta é inversora, a transição de V_O será de descida. Ajuste o nível de *trigger* se necessário.
- ☐ **Se o sinal estiver com muito ruído:** use o modo *average* com média de 4 ou 16 aquisições (botão *Acquire*, botão *Average* no menu de tela, clique em “*Averages*” seguidas vezes).
- ☐ Meça o atraso entre os pontos de 50% de excursão vertical dos sinais de entrada e saída.

Exercício 3 Transcreva do *datasheet* os atrasos de propagação t_{PLH} e t_{PHL} ; como há vários valores, escolha de acordo com as condições que teremos no laboratório (tensões, temperatura, carga, etc) e transcreva essas condições também.. Depois, calcule o atraso médio t_p .

Símbolo	Nome do Parâmetro	Valor Típico	Unidade	Condições
t_{PLH}				
t_{PHL}				

$t_p =$ _____

Anotação 3a Anote as escalas verticais dos canais 1 e 2 (em V/div). Meça os níveis mínimo V_{\min} e máximo V_{\max} de cada canal **em divisões** (lembre-se: contados a partir das marcas de referências “1→” e “2→”, à esquerda da tela). Converta os níveis V_{\min} e V_{\max} em tensão (V)

Escala vertical CH1: _____

Escala vertical CH2: _____

V_{\min} CH1 (em div): _____ / (em V): _____

V_{\min} CH2 (em div): _____ / (em V): _____

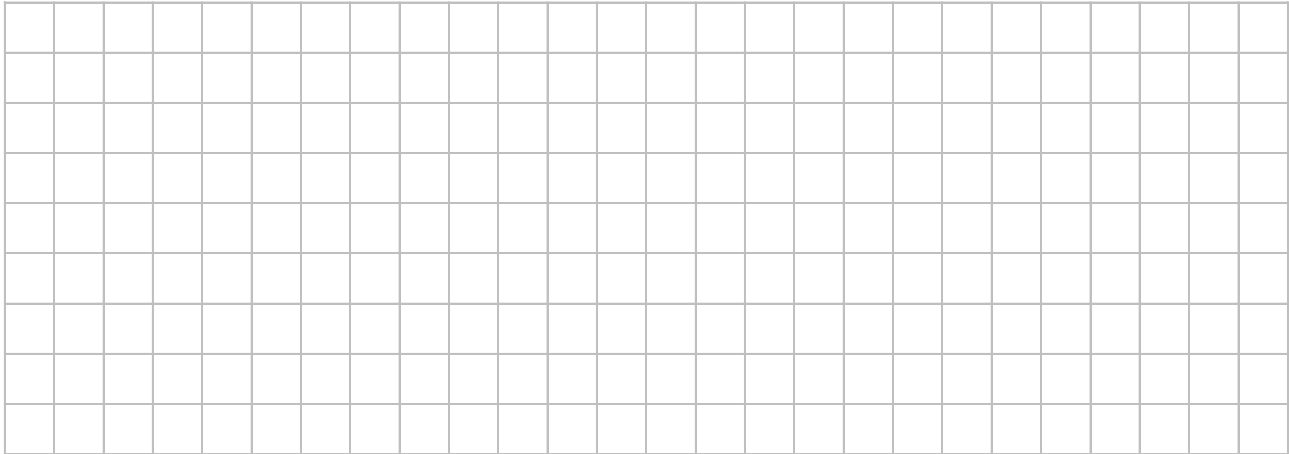
V_{\max} CH1 (em div): _____ / (em V): _____

V_{\max} CH2 (em div): _____ / (em V): _____

Anotação 3b Anote a escala horizontal do osciloscópio (em ns/divisão) e meça o tempo de atraso em divisões e converta para ns. **COMPARE** com o atraso de propagação médio t_p previsto no pré-relatório e **COMENTE**.

Escala horizontal: _____ Atraso (em div): _____ / (em ns): _____

Anotação 3c Esboce os sinais observados *sincronizados* entre si. Inclua no esboço as marcas de referência vertical dos canais (à esquerda da tela, “1→” e “2→”). Entre os sinais, indique o tempo de atraso e anote o seu valor. Indique em cada sinal as tensões dos níveis de tensão mínimo (V_{\min}) e máximo (V_{\max}) medidos na anotação anterior.



Anotação 3d MOSTRE os sinais no osciloscópio para o professor. NÃO DESMONTA! Anote a hora: _____.

Atividade 4 *Hazard* estático

Objetivo: montar um circuito com *hazard* estático e observar sua ocorrência.

Vamos observar o efeito do *hazard* estático usando o circuito mostrado na Figura 2.21. Note que neste circuito haverá o atraso de **três portas** entre os sinais V_I e Y .

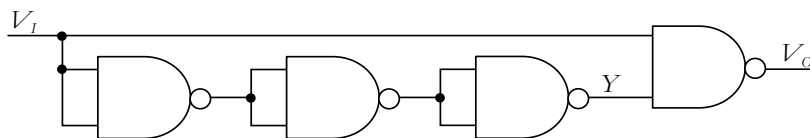


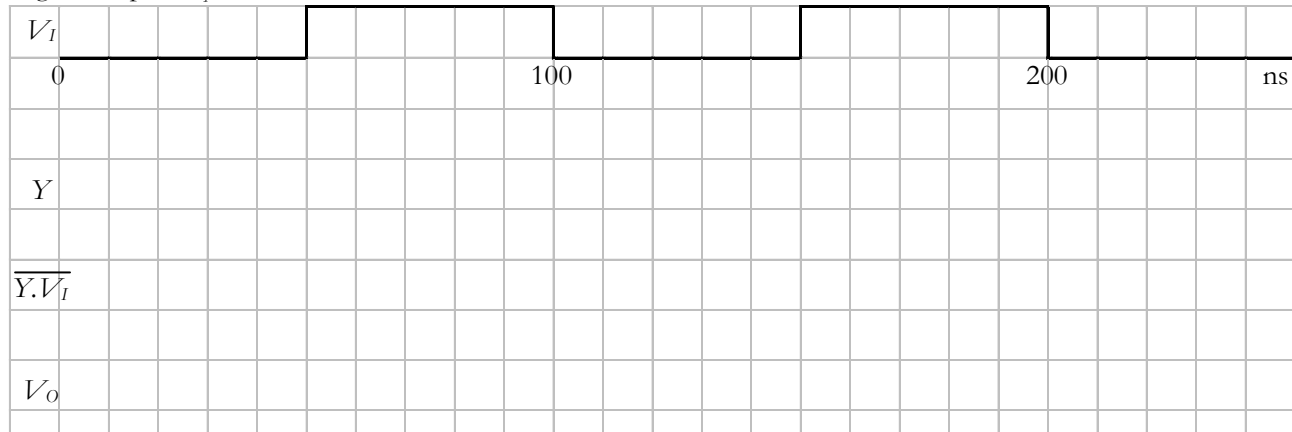
Figura 2.21 Circuito com *hazard* estático

Exercício 4 Complete o diagrama lógico do circuito de teste. Nomeie os componentes, atribua identificadores às portas (ex. U1a), numere pinos, etc. Indique os pontos que serão observados nos canais 1 e 2 do osciloscópio.

- ☐ Modifique as conexões do circuito anterior e complete a montagem do circuito com *hazard* estático. Conecte a ponta do canal 1 do osciloscópio à entrada V_I e a ponta do canal 2 na saída V_O .
- ☐ Alimente a entrada V_I com a onda quadrada TTL de 1 MHz fornecida pelo gerador de funções. LEMBRE-SE: : interligue os terminais negativos do gerador e da ponta de prova ao GND do CI.
- ☐ Observe a entrada V_I no canal 1 do osciloscópio e a saída V_O no canal 2. Posicione o canal 1 na metade superior da tela e o canal 2 na metade de baixo SEM SOBREPÔ-LOS.
- ☐ Se os sinais tiverem muito ruído: ative o modo *average* com 4 ou 16 amostras (botão “Acquire”).

- ☐ **Amplie** a escala horizontal para poder observar **com detalhes** um pulso de *hazard* na saída V_O . Meça a largura do pulso no nível de tensão correspondente à 50% da amplitude do pulso.
LEMBRE-SE: a largura do pulso corresponde ao atraso de TRÊS portas!

Exercício 5 Suponha que o sinal de entrada V_I no circuito da Figura 2.21 seja a onda ideal onda abaixo. Suponha que todas as portas também apresentem na saída sinais com transições ideais (instantâneas) e que tenham atraso de propagação iguais a 10 ns (ou seja, $t_{pLH} = t_{pHL} = 10$ ns). Desenhe o sinal Y **sincronizadamente** com V_I . Em seguida, desenhe **em tracejado** a forma de onda correspondente à $(Y.V_I)'$, sem considerar o atraso da última porta (veja o exemplo da Figura 2.10b). Por fim desenhe o sinal da saída V_O (considerando agora o atraso) e determine a largura do pulso t_p resultante.



Anotação 4a Anote a escala horizontal ajustada no osciloscópio (em ns/divisão) e a largura do pulso (em divisões e converta para ns) entre os pontos de 50% da amplitude. Calcule o atraso de propagação médio t_p das três portas NAND. Anote o atraso de propagação previsto no *datasheet*. **COMPARE** esses dois últimos e **COMENTE**.

Escala horizontal: _____ Largura (em div): _____ / (em ns): _____

t_p (médio): _____ t_{pLH} , t_{pHL} (típicos): _____

Anotação 4b Esboce os sinais observados **sincronizados** entre si. Inclua no esboço as marcas de referência vertical dos canais ("1→" e "2→"). Indique nos sinais V_I e V_O : os níveis de tensão mínimo V_{min} e máximo $V_{Máx}$. Indique no sinal V_O : o tempo de duração do pulso (em ns) e onde foi medido.



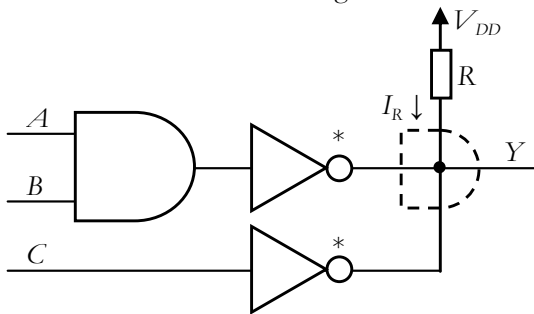
Anotação 4c MOSTRE os sinais no osciloscópio para o professor. Anote a hora: _____.

Atividade 5 *Wired-and*

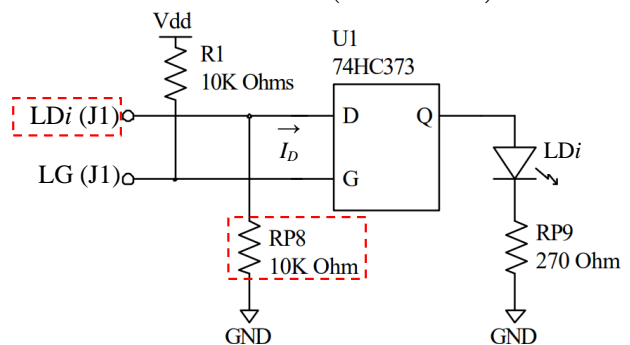
Objetivo: montar e testar um circuito *wired-and*.

Vamos montar o circuito *wired-and* mostrado na Figura 2.22a. Use uma porta AND do 74HC08 (U2) e inversores *open drain* do 74HC05 (U3). Como *pull-up*, use um resistor de **2,7 kΩ**, precisão de 5% (código de cores: vermelho, lilás, vermelho, ouro).

As entradas devem ser ligadas em chaves e a saída *Y* deve observada em um led (a sua escolha).



(a) Circuito *wired-and* de teste



(b) Circuito de acionamento dos leds

Figura 2.22 Circuito *wired-and*

Exercício 6 Complete o diagrama esquemático do circuito *wired-and* (Figura 2.22). Nomeie os componentes usados, atribua identificadores às portas (ex: U2a), numere pinos, nomeie os sinais, inclua os símbolos das chaves e do led escolhidos, o valor nominal do resistor de *pull-up*, etc.

Para dimensionar o resistor *R*, precisamos conhecer o circuito que aciona o led na placa XLA, mostrado na Figura 2.22b. O que nos interessa nele é que há resistências de 10 kΩ (*RP8*) aterrando os pontos de conexão dos leds na barra de terminais J1 (LD1 a LD8). Coerentemente, essas resistências são chamadas de *pull-down*!

Quando a saída *Y* se encontra em nível *H*, a corrente *I_R* no resistor de *pull-up* vale

$$I_R \cong \frac{V_{DD}}{R + RP8},$$

desprezando-se a corrente *I_D* na entrada D do 74HC373. Este é um *latch*, que estudaremos no futuro. Por hora, basta saber que a saída *Q* segue a entrada *D* sempre que a entrada *G* se encontra em *H* (repare *G* se mantém em *H* por meio do resistor de *pull-up* *R1*).

Exercício 7 Consulte o *datasheet* anexo do 74HC00 e anote os valores dos parâmetros de tensão e corrente (com unidades) listados na tabela abaixo (*I_{OUT}* está em “Maximum Ratings”). Use os valores TÍPICOS quando houver. Como há valores para diferentes condições (*V_{DD}*, temperatura, corrente, etc), adote as que mais se aproximam das que teremos no laboratório e anote essas condições. Adote *V_{DD}* = 5 V (atente para a **NOTA 4** na página 2 do *datasheet*) e baixas correntes de saída. **CALCULE** as margens de ruído *M_H* e *M_L*.

Símbolo	Nome do Parâmetro	Valor Típico	Unidade	Condições
<i>V_{IH}</i>				
<i>V_{IL}</i>				
<i>V_{OH}</i>				
<i>V_{OL}</i>				
<i>I_{IN}</i>				
<i>I_{OUT}</i>				

M_H = _____

M_L = _____

Exercício 8 Estime a corrente I_R no resistor R de *pull-up* da Figura 2.22 quando: a) $Y = L$; b) $Y = H$. Verifique se a corrente em cada uma dessas situações está adequada, considerando a resposta do exercício anterior (ou seja, se o valor do resistor R é adequado tanto para $Y = L$ como para $Y = H$).

a) $Y = L$:

b) $Y = H$:

☐ Meça o resistor com o multímetro **antes de inseri-lo** no circuito.

Anotação 5a Anote: $R =$ _____.

COMENTE: o valor medido está compatível com o esperado?

Exercício 9 Determine a expressão lógica da saída Y do circuito da Figura 2.22 na forma padrão de **soma de produtos** e faça o seu mapa de Karnaugh.

☐ Monte o circuito no *protoboard* e teste. Observe o nível lógico da saída no led para diferentes entradas.

Anotação 5b MOSTRE o circuito funcionando para o professor. Anote a hora: _____.

Atividade 6 (Opcional) O que há entre o V_{DD} e o GND?

Objetivo: observar como uma porta lógica responde a tensões de entrada fora das faixas definidas para L e H .

- ☐ Conecte o cabo BNC à saída “50 Ω ” do gerador de funções. Conecte a ponta de prova do canal 1 ao terminal positivo do cabo (minipinça vermelha) e a garra de terra no negativo (minipinça preta).
- ☐ Ajuste o gerador para fornecer uma tensão **TRIANGULAR**, de frequência **10 kHz** e tensões entre **0 V e 5 V**.
- ☐ Monte o circuito a seguir. Observe o sinal de entrada V_I no canal 1 e a saída V_O no canal 2.

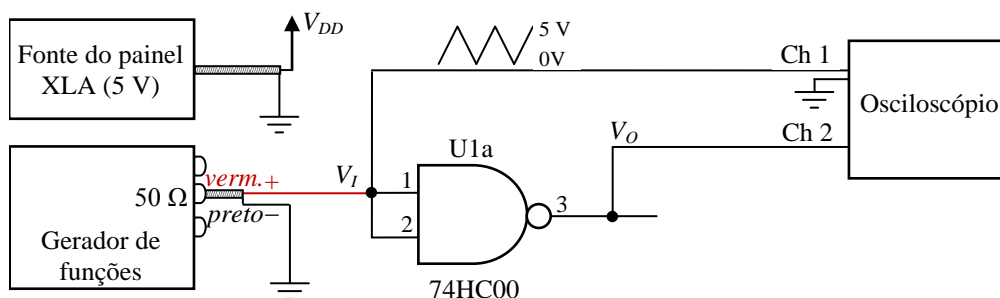


Figura 2.23 Observado a resposta da saída para variação contínua da entrada

Como a porta é inversora, a saída V_O será alta quando V_I for próxima de 0 V e será baixa quando V_I for próxima de 5 V. Como mostra a Figura 2.24a, a porta deve garantir que:

- $V_O > V_{OH}$ (ou seja, saída em nível H) sempre que $V_I < V_{IL}$ (entrada em nível L)
- $V_O < V_{OL}$ (nível L) sempre que $V_I > V_{IH}$ (nível H)

Os fabricantes procuram garantir que suas portas lógicas atendam as margens de ruído do padrão CMOS com alguma folga. Na Figura 2.24b, o nível V'_{IH} é o real patamar de tensão acima do qual a porta entende que a entrada está em nível H , e costuma ser mais baixo que o parâmetro V_{IH} nominal do padrão CMOS.

Podemos determinar V'_{IH} medindo a tensão de entrada V_I que corresponde ao instante em que se tem na saída $V_O = V_{OL}$ (lembre-se, a porta é inversora).

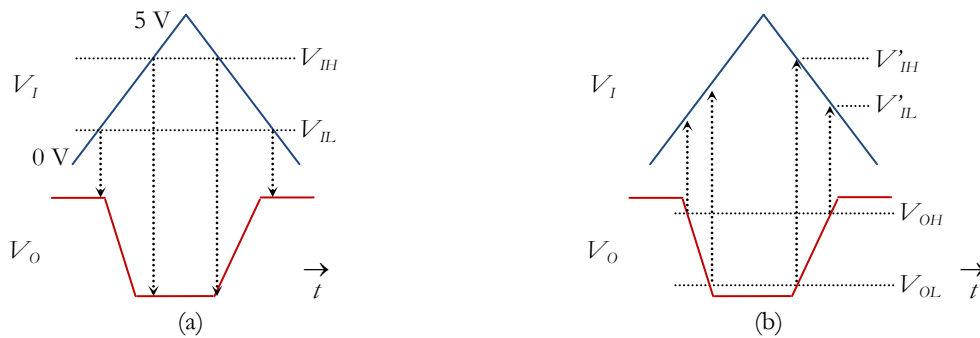
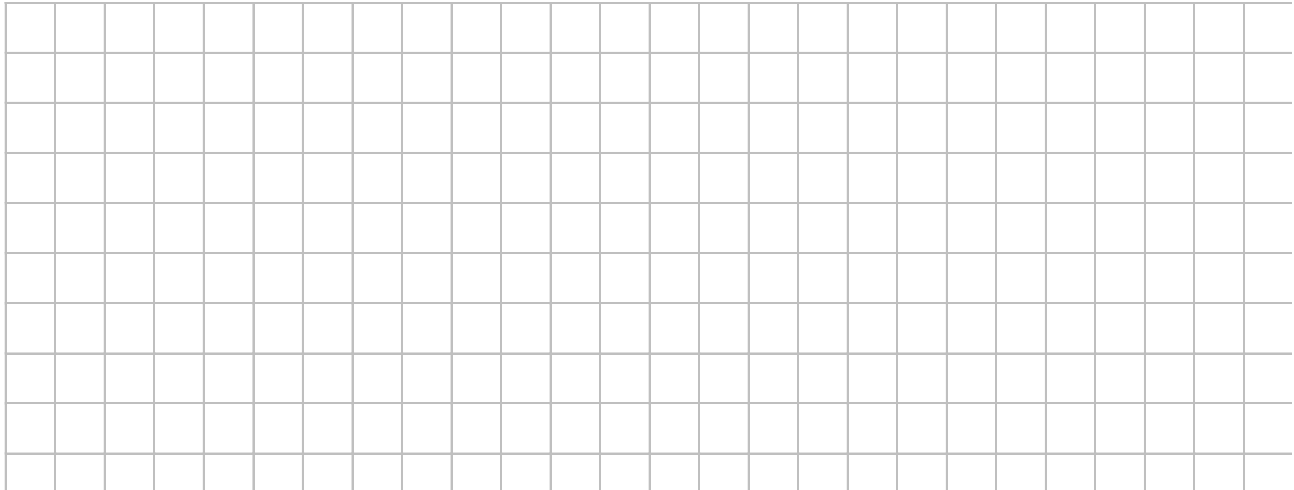


Figura 2.24

Analogamente, V'_{IL} costuma ser maior que o parâmetro V_{IL} nominal e pode ser determinado a tensão em V_I que corresponde ao instante em que $V_O = V_{OH}$. As tensões V'_{IH} e V'_{IL} podem ser diferentes dependendo se a transição de entrada é de subida ou de descida.

Anotação 6a Esboce os sinais observados **sincronizados** entre si. Indique no sinal V_I os níveis V_{IH} e V_{IL} nominais do padrão CMOS (veja o Exercício 7). Indique no sinal V_O os níveis V_{OH} e V_{OL} nominais. Verifique se a tensão em V_O está dentro das faixas esperadas nos instantes em que $V_I = V_{IH}$ e $V_I = V_{IL}$. Meça no sinal V_I as tensões V'_{IH} e V'_{IL} nos instantes em que $V_O = V_{OL}$ e $V_O = V_{OH}$. Indique esses valores no gráfico de V_I .



Anotação 6b MOSTRE os sinais no osciloscópio para o professor. Anote a hora: _____.

Atividade 7 Finalização

Deixe a bancada em ordem. Falhas nesse procedimento serão penalizadas.

- ☐ **NÃO REMOVA** o componente **ML1**. Deixe-o inserido no *protoboard*.
- ☐ Remova os demais CIs **COM CUIDADO**. Use uma tampa de caneta BIC ou as pontas do multímetro. Levante o CI aos poucos, **UM LADO DE CADA VEZ** para não entortar os pinos.
- ☐ *Check list:* verifique cada um dos itens abaixo.
 - ☐ **Componentes** Guarde os CIs **nos espaços corretos** da caixa (cheque os códigos). Estão todos lá?
 - ☐ **Cabinhos** Guarde todos os cabinhos na caixa. Há algum esquecido na mesa ou caído no chão?
 - ☐ **Placa XLA e fonte** Coloque a placa no plástico antiestático e guarde na caixa **com sua fonte**?
 - ☐ **Equipamentos** Verifique se estão todos desligados.
 - ☐ **Multímetro** Desligado e com os cabos das pontas de prova arrumados. Deixe-o no tampo inferior da bancada, para que possamos conferir facilmente se está desligado.
 - ☐ **Empréstimos** Se usou alguma coisa de outra bancada, devolva e liste: _____
 - ☐ **Defeitos** Se encontrou algum defeito, preencha a Comunicação de Defeito e liste: _____
- ☐ **Limpeza** Limpe a bancada.