

EXPERIÊNCIA 4

Portas Lógicas *Schmitt Trigger*

1. Objetivo

Compreender o comportamento de portas lógicas com entradas *Schmitt Trigger* e simular aplicações.

2. Motivações

- O que caracteriza uma porta lógica com entradas *Schmitt Trigger* ?
- Qual a vantagem desta topologia?
- Quando seu uso torna-se interessante?
- Quais os exemplos de aplicação?

3. Referências para Consulta

Os seguintes *datasheet* podem ser consultados para detalhes:

- <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MC74HC132A-D.PDF>
- <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MM74HC14-D.PDF>

4. Divisor Resistivo e Potenciômetro

Considere o circuito da figura 1, tem-se um divisor resistivo formado pelos resistores R1 e R2 conectados em série. A alimentação é proveniente de uma fonte que fornece V_F Volts e a tensão V_{R2} está sendo monitorada por um voltímetro.

Calculado a corrente I que circula pelos resistores:

$$I = \frac{V_F}{R1 + R2}$$

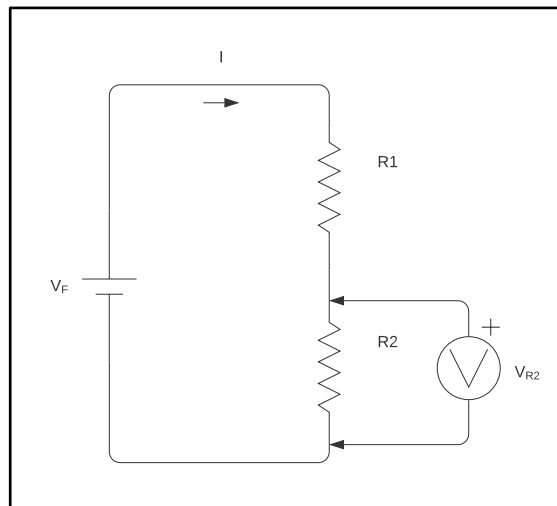


Figura 1 – Divisor Resistivo

Multiplicando-se a corrente I pela resistência $R2$ temos a tensão V_{R2} :

$$V_{R2} = R2 \times I = R2 \times \frac{V_F}{R1 + R2} = \frac{R2}{R1 + R2} \times V_F$$

Considere que pudéssemos alterar os valores de $R1$ e $R2$ de forma que a soma permanecesse constante, isto implicaria em mantermos a corrente I constante e V_{R2} seria proporcional ao valor de $R2$.

Nos extremos:

- $V_{R2} = 0 \text{ V}$ quando $R2 = 0 \Omega$ e $R1 = R1 + R2$;
- $V_{R2} = V_F$ quando $R2 = R1 + R2$ e $R1 = 0 \Omega$.

Existe um componente eletrônico denominado **potenciômetro** que realiza exatamente esta função.

A figura 2 ilustra este componente.

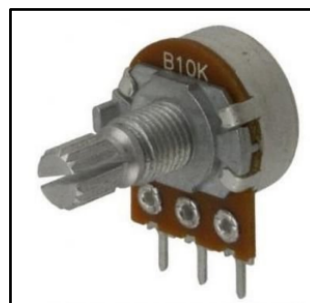


Figura 2 – Potenciômetro

Com três terminais, os dois extremos permitem o acesso a resistência total; equivalente a soma $R1 + R2$ da figura 1.

Observe que no potenciômetro da figura 2 é possível identificar o valor de $10k^1$, isto é, temos $10\text{ k}\Omega$ entre os terminais externos. O terminal central fornece acesso ao que seria o ponto entre $R1$ e $R2$ no circuito da figura 1.

Através do ajuste rotativo (vide figura 1) altera-se a relação entre $R1$ e $R2$. Para o caso ilustrado, rotacionando-se o controle totalmente no sentido anti-horário tem-se $0\text{ }\Omega$ entre o terminal extremo esquerdo e o central, restando $10\text{ k}\Omega$ entre o terminal central e o terminal extremo direito. Caso a rotação do controle seja feita totalmente no sentido horário, tem-se $0\text{ }\Omega$ entre o terminal extremo direito e o central, restando $10\text{ k}\Omega$ entre o terminal central e o terminal extremo esquerdo.

A figura 3 ilustra o uso do potenciômetro na forma esquemática.

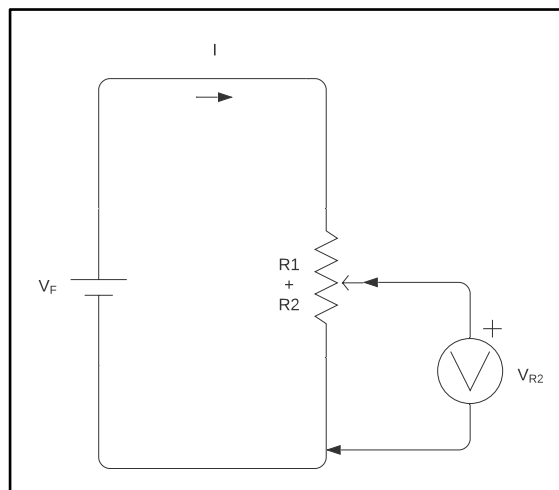


Figura 3 – Potenciômetro

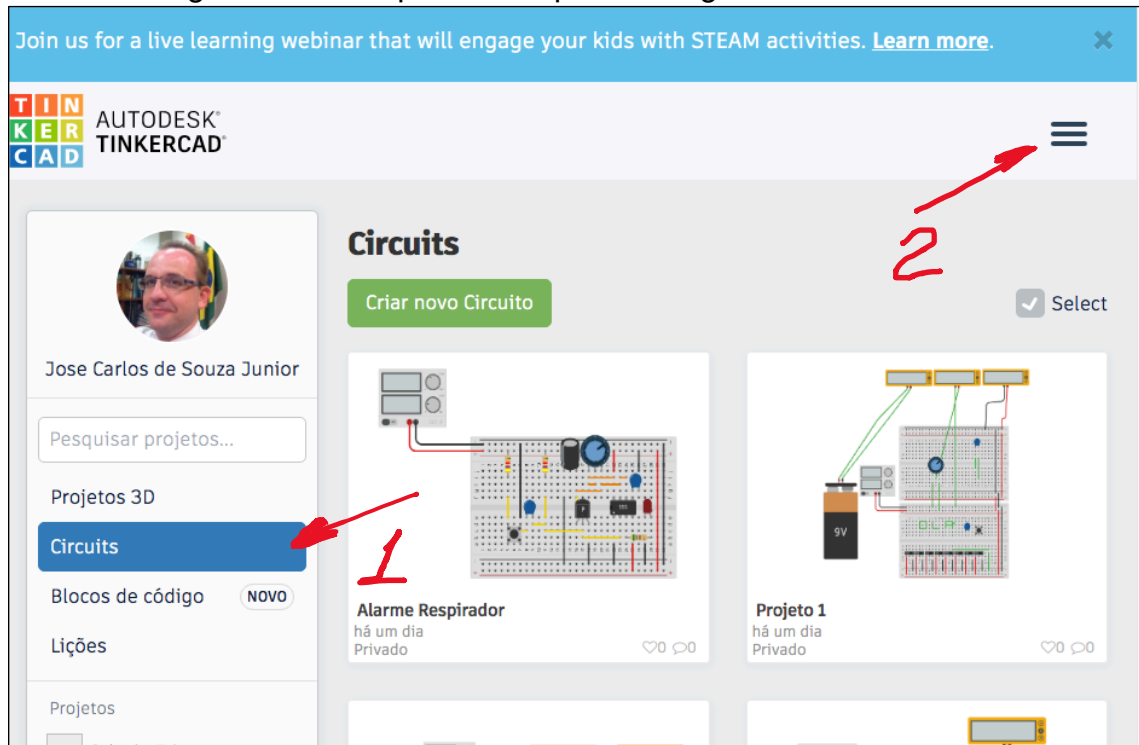
No circuito da figura 3 o voltímetro teve seu terminal positivo conectado ao terminal central do potenciômetro, rotacionando-se o controle a indicação do voltímetro irá de $0V$ (controle em um dos limites) até V_F (controle no limite oposto).

5. Parte Experimental

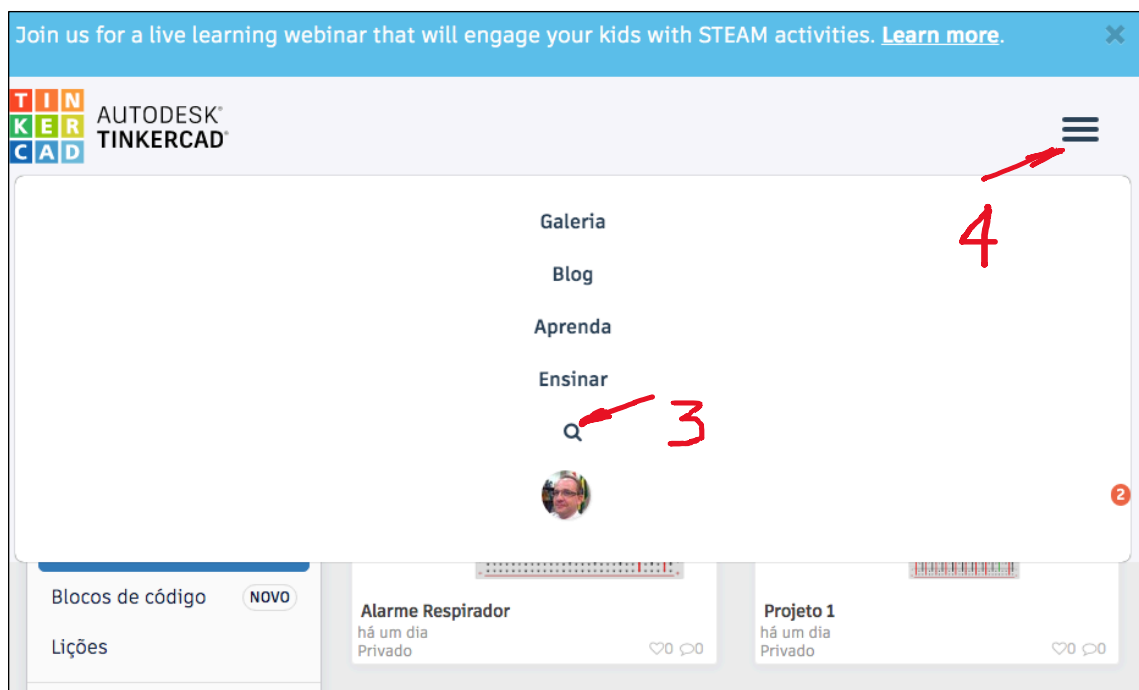
Acesse o Tinkercad (www.tinkercad.com) entrando em sua conta privada (**não é para entrar em Aula**) e utilize o ícone com três barras horizontais para acessar a galeria de circuitos. Na galeria procure pelo circuito **ETE102–Potenciometro**, pesquise pela lupa.

¹ A letra “B” presente na marcação informa que o potenciômetro é linear. (“A” seria logarítmico)

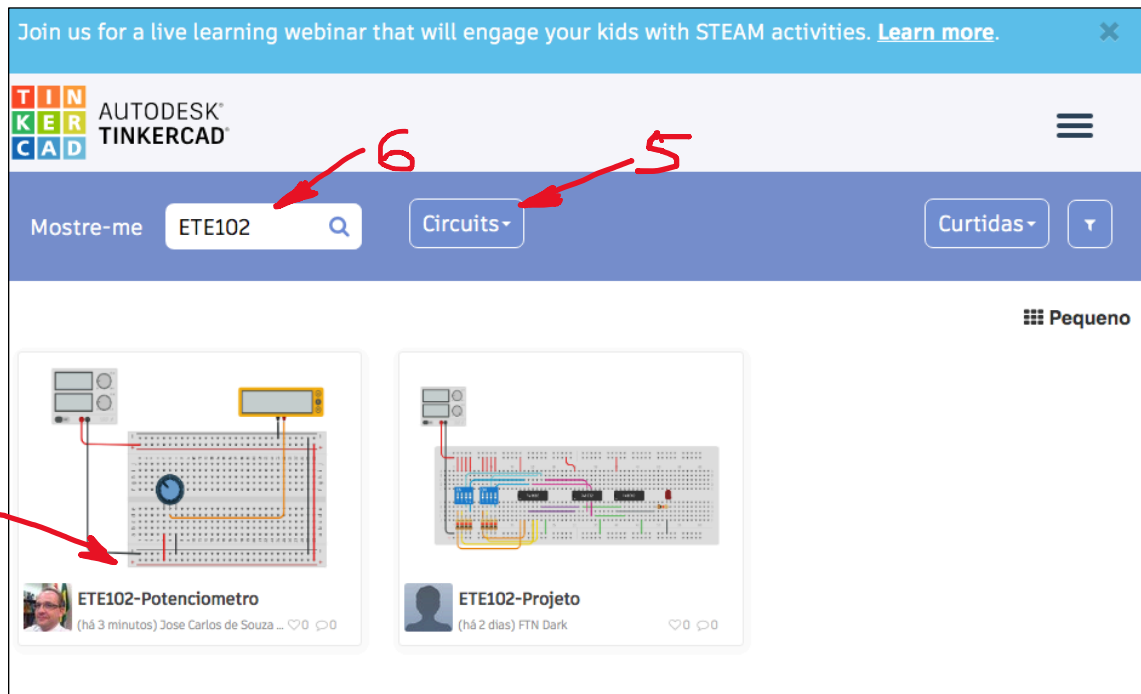
As telas a seguir ilustram o processo após seu login.



Selecione *Circuits* (1) na sua área de trabalho. Depois selecione o ícone com três barras horizontais no lado superior direito (2), ele dará acesso a tela a seguir:



Selecione a lupa (3) e novamente acione o ícone com as três barras horizontais no canto superior direito (4), você terá algo similar a tela a seguir:



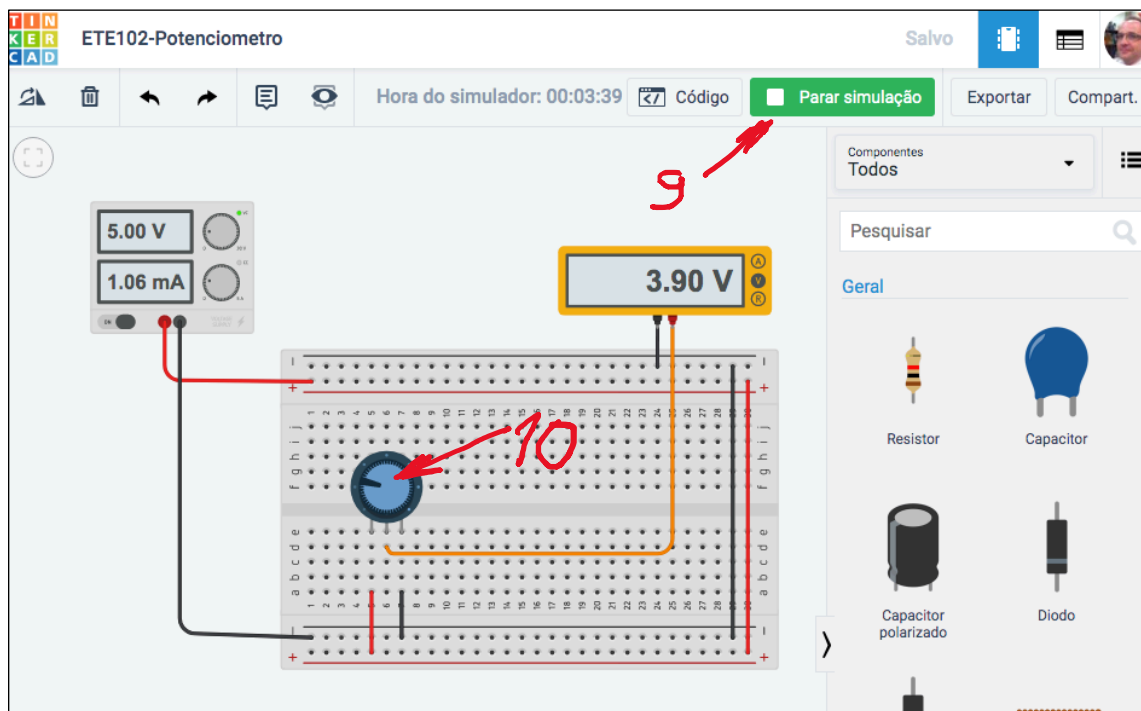
Selecione *Circuits* (5) e depois procure por ETE102 na busca (6), você deve poder ver o circuito **ETE102-Potenciometro** entre os possíveis circuitos listados, *click* sobre o circuito (7) e você terá a tela a seguir:



Acione o Editar (8) e você terá acesso ao circuito em sua área de trabalho.

5.1 Circuito Potenciômetro

Verifique o funcionamento do potenciômetro no circuito, para tanto ative a simulação (9) e utilize do cursor, com o botão do mouse acionado, movendo-o sobre o controle do potenciômetro (10). Observe o comportamento da tensão indicada pelo voltímetro, principalmente nos extremos do controle.



É importante que você enxergue que o circuito acima corresponde exatamente ao esquemático da figura 3.

5.2 Ponto de Comutação – Porta Convencional

Fazendo uso de um potenciômetro, iremos variar a tensão de entrada (V_I) de uma porta NAND operando como porta inversora (experiência anterior), de 0V até 5V, e observar o comportamento da tensão de saída (V_O). A figura 4 ilustra o esquema da montagem necessária.

Observe que a porta NAND (74HC00) está operando como inversora, pois as duas entradas estão interligadas, e a saída deve representar o inverso da entrada. No entanto o potenciômetro irá, conforme alteramos o ajuste do controle, fornecer uma tensão de entrada que irá variar de 0V até 5V.

Com $V_I=0V$ tem-se $V_O=5V$;

Com $V_I=5V$ tem-se $V_O=0V$;

O que estamos procurando é como se comporta a saída para os valores intermediários de V_I (tensão de entrada).

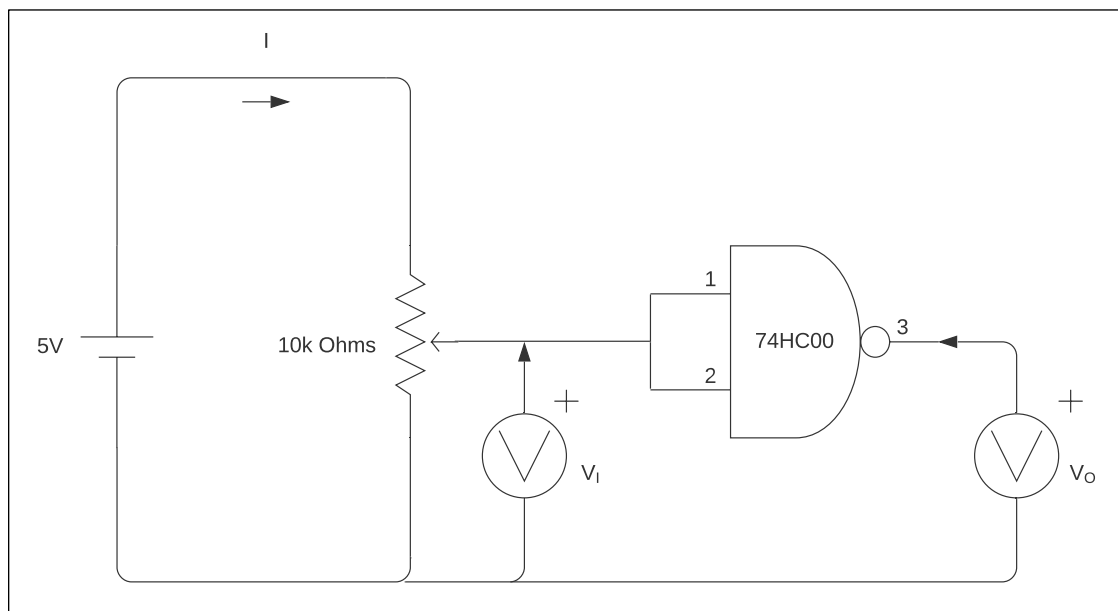
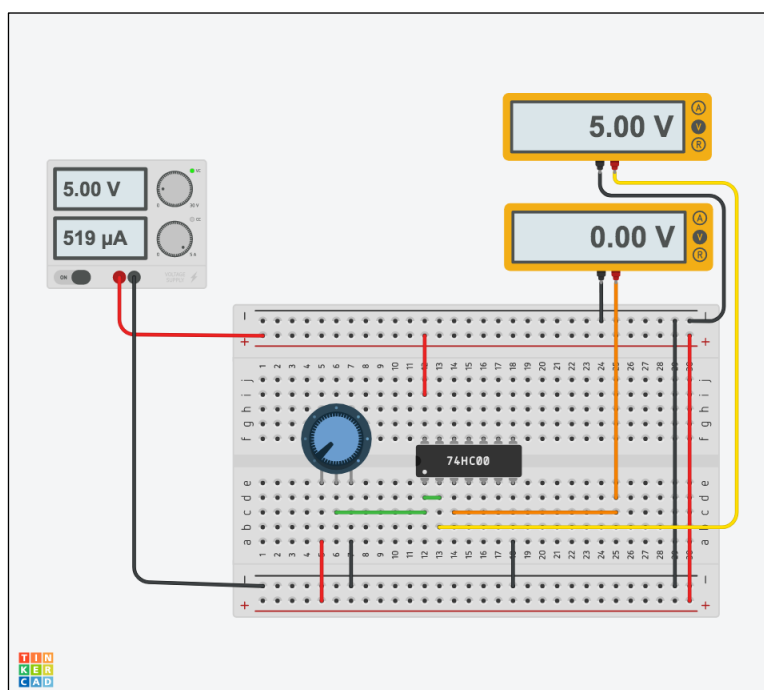


Figura 4 – Ponto de Comutação da Porta Convencional

Para realizar este item, utilize agora o circuito **ETE102-PtoComutacao**. Repita os passos que utilizou para acessar o circuito do item 5.1.



Observe que na montagem (simulador) não se pode esquecer de alimentar o circuito integrado 74HC00. Terminal 14 – V_{CC} em 5V e terminal 7 – GND em 0V.

A figura 5 ilustra a tensão de saída (V_O) em função da tensão de entrada (V_I). Simulando o circuito e alterando o controle do potenciômetro, encontre o valor da tensão de transição (V_T):

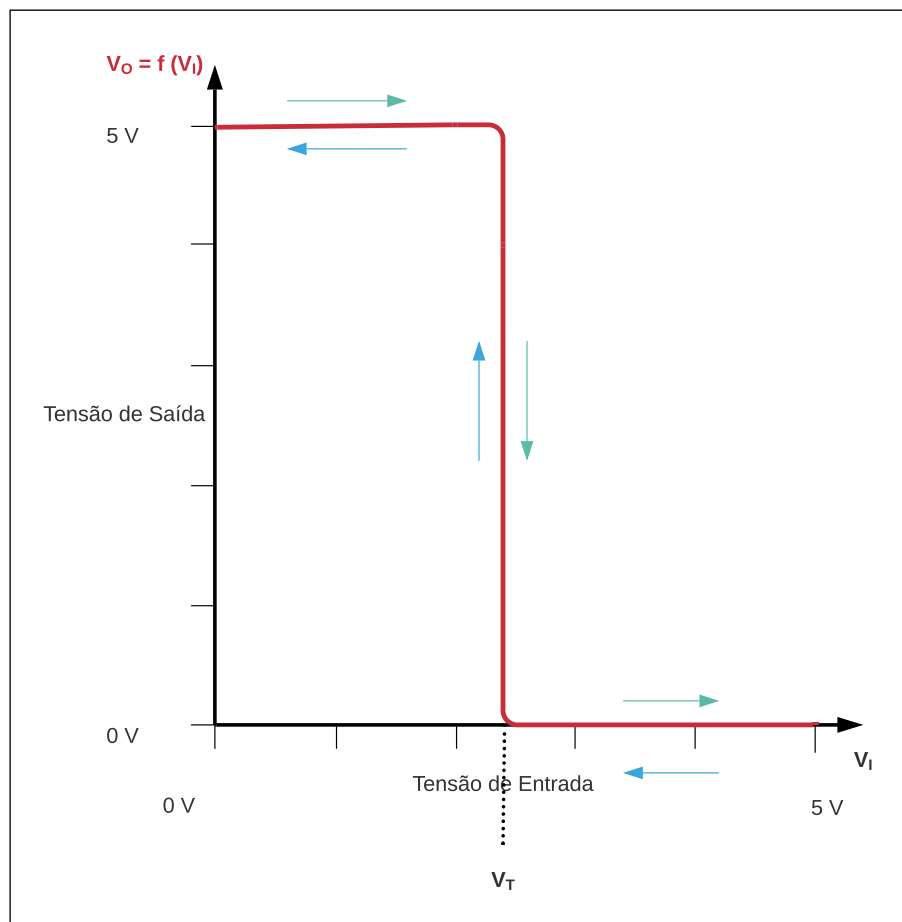


Figura 5 – Porta Convencional: $V_O = f(V_I)$

$V_T = \underline{\hspace{2cm}}$ Volts

Note que quando da subida da tensão de entrada de 0V até 5V (setas verdes), como da descida de 5V até 0V (setas azuis), tem-se o mesmo ponto de transição.

É importante que você consiga estabelecer a relação entre o gráfico da figura 5 e o comportamento observado na simulação do circuito. Para tanto repita algumas vezes o processo de subida e descida da tensão de entrada, atuando sobre o controle do potenciômetro, e encontre o valor de V_T .

5.3 Ponto de Comutação – Porta Schmitt Trigger

Iremos agora utilizar do mesmo circuito para analisar como se comporta a porta NAND, operando como inversora, mas com entradas do tipo *Schmitt Trigger*.

Para tanto substitua o 74HC00 pelo 74HC132. Para fazer a substituição a simulação tem de estar desligada e tome o cuidado de colocar o novo CI exatamente no mesmo local.

A seguir, figura 6, temos lado a lado a informação do *Datasheet* de cada CI.

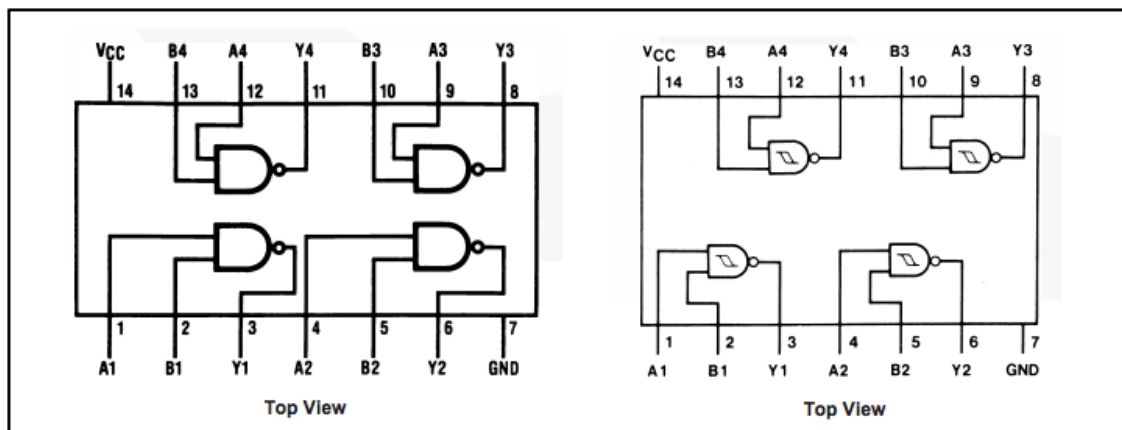


Figura 6 – 74HC00 (esquerda) e 74HC132 (direita)

Embora a pinagem seja a mesma e ambos os CI possuem 4 portas NAND, observe que no 74HC132 aparece um símbolo na porta que a caracteriza como porta *Schmitt Trigger*.

Ao repetir o procedimento do item anterior, você irá perceber que o ponto de comutação (ou transição) ocorre em valores de tensão diferentes quando da subida da tensão de entrada e quando da descida da tensão de entrada.

A figura 7 ilustra este efeito. Compare com a figura 5!

Atuando sobre o potenciômetro faça a variação da tensão de entrada V_I de 0V até 5V (setas verdes) e determine a tensão de transição V_{TH}^2 (quando a saída inverte de estado).

De modo análogo, atue sobre o potenciômetro e faça a variação de tensão entrada V_I de 5V até 0V (setas azuis) e determine a tensão de transição V_{TL}^3 (quando a saída inverte de estado)

Note que quando a tensão de entrada encontra-se no intervalo entre V_{TL} e V_{TH} o valor da tensão de saída (estado) V_O será função do ponto no qual você entrou neste intervalo. Se você entrou no intervalo por V_{TL} tem-se o estado “1” na saída, se entrou no intervalo por V_{TH} tem-se o estado “0” na saída.

² V_{TH} – Tensão de Transição *High*

³ V_{TL} – Tensão de Transição *Low*

A este comportamento denomina-se **Histerese**. Observe que o formato da curva obtida na figura 7 origina o símbolo utilizado para caracterizar a porta *Schmitt Trigger* (figura 5).

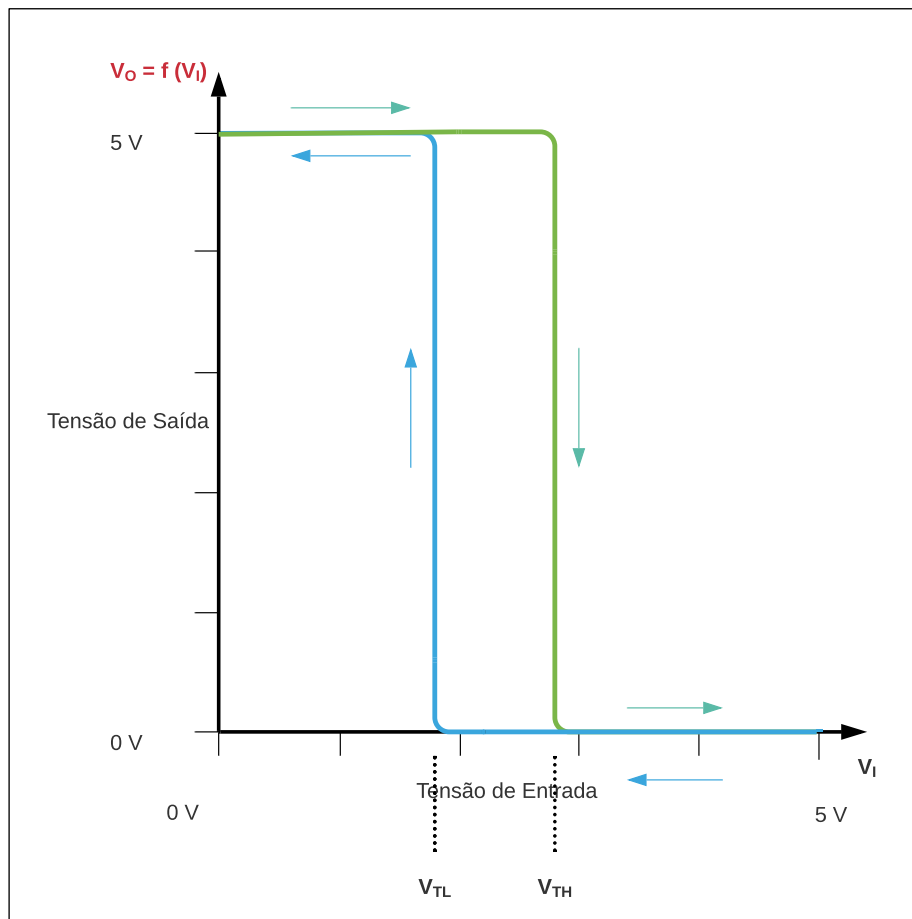


Figura 7 - Porta *Schmitt Trigger*: $V_O = f(V_I)$

$V_{TH} = \underline{\hspace{2cm}}$ Volts

$V_{TL} = \underline{\hspace{2cm}}$ Volts

5.4 Comparando os Resultados

Como no caso dos circuitos anteriores, agora acesse o circuito **ETE102-SchmittTrigger** – figura 8.

Neste circuito você terá simultaneamente os dois anteriores e para tornar mais lúdico foram conectados leds (verdes) em cada uma das saídas.

Note que o fato de termos conectados os leds nas saídas faz com que ao serem acesos imponham um consumo de corrente na saída da porta dos CI o que impossibilita que a tensão (V_o) chegue nos 5V da fonte de alimentação.

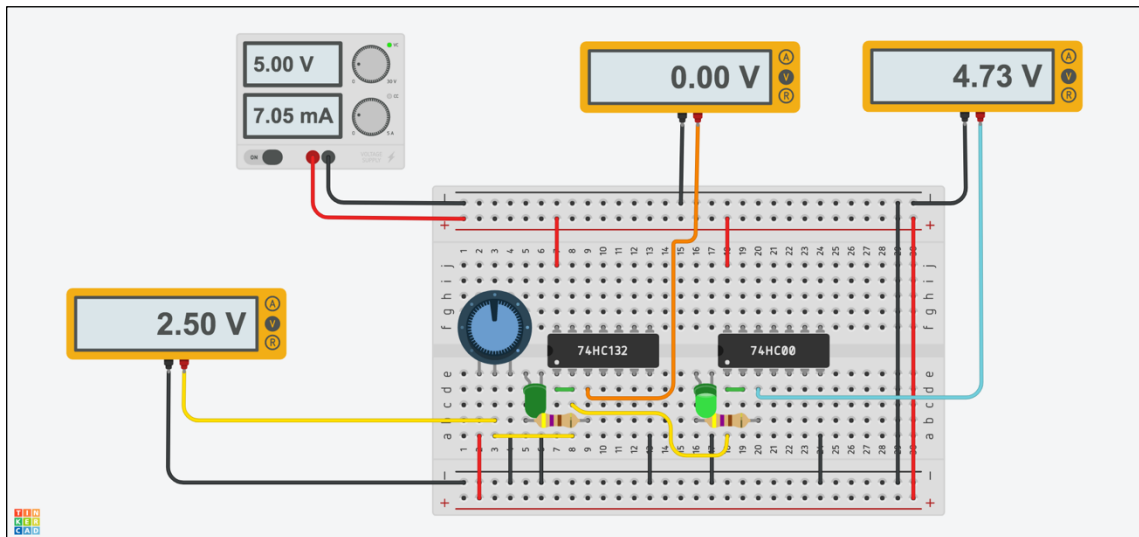


Figura 8 – Comparação 74HC132 e 74HC00

Manipule o circuito para ter certeza que entendeu a diferença de comportamento

5.5 Aplicação: Sensor para Acionamento de Iluminação

Para ilustrar uma aplicação prática você agora irá acessar o circuito ETE103-SensorIluminacao, ilustrado na figura 9.

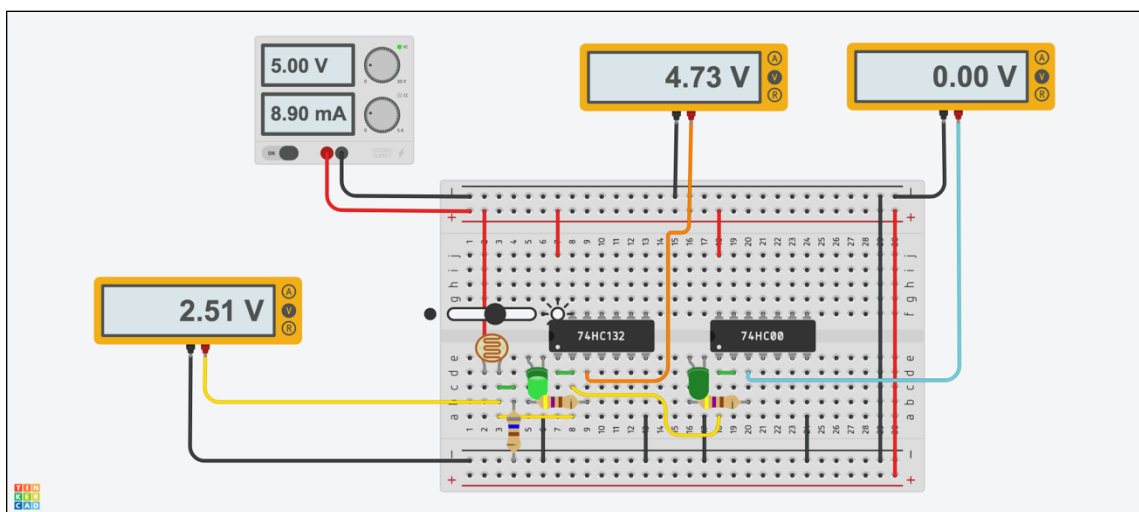


Figura 9 – Aplicação: Sensor de Iluminação

Neste circuito o potenciômetro foi substituído por um divisor resistivo (vide figura 1) onde o R2 é um resistor de 860Ω e o R1 é um LDR⁴ (Fotoresistor).

O LDR, figura 10, possui dois terminais e o valor da resistência entre os terminais depende da intensidade da luz incidente, diminuindo a resistência com o aumento da intensidade luminosa.



Figura 10 – LDR

Desta forma a tensão de entrada (V_i) nas portas será função da intensidade luminosa, no Tinkercad você pode simular a variação da intensidade luminosa acionando a simulação e clicando sobre o LDR, irá aparecer um cursor sobre ele (escuro – claro) no qual você pode variar o valor da intensidade luminosa.

Considere agora que tal circuito está sendo empregado para o controle automático da iluminação de uma via pública (a rua da sua casa por exemplo). Quando do aumento da intensidade luminosa (claridade do dia) as luzes apagam (representadas no circuito pelos leds), e com a diminuição da intensidade luminosa (escuro da noite) as luzes acendem. Nos extremos (muito escuro – muito claro) ambos os circuitos (74HC00 e 72HC132) operam corretamente, mas observe o comportamento na região de transição – nesta região que temos a justificativa para o uso da porta *Schmitt Trigger*!

Imagine o entardecer quando a luminosidade diminui e as luzes da rua acendem, se não tivermos a histerese proporcionada pela porta *Schmitt Trigger* o pequeno aumento de luminosidade decorrente da incidência dos faróis de um carro poderiam levar a iluminação a ser desligada. No outro extremo, imagine o amanhecer, quando as luzes da rua se apagam, sem a histerese a pequena diminuição da intensidade luminosa decorrente da passagem de uma nuvem poderia acender novamente as luzes. Em ambos os casos poderíamos ter algo semelhante a uma intermitência no controle da iluminação. No limite podemos ter até oscilação, caso a luz das luzes da rua incidam sobre o LDR. Este é o conceito lustrado no próximo item. Antes de passar seguir em frente tenha certeza que entendeu o princípio desta aplicação.

⁴ LDR – *Light Dependent Resistor*

5.6 Aplicação: Circuito Oscilador

O objetivo deste item, neste momento, é apenas para que você veja em funcionamento um oscilador montado com *Schmitt Trigger*. Seu estudo será objeto do próximo experimento.

No lugar de utilizar a porta NAND do 74HC132 como inversora, o que poderia ser feito sem problemas, optou-se por utilizar o 74HC14 que já possui no seu interior 6 portas inversoras *Schmitt Trigger* (figura 11).

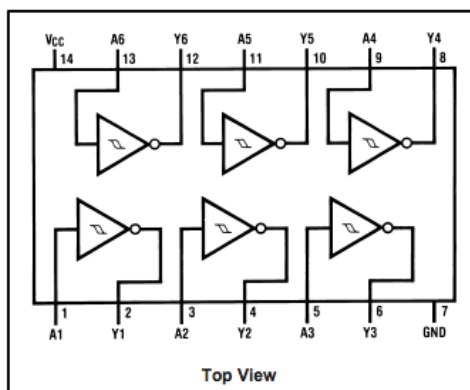


Figura 11 – 74HC14

Obtenha no Tinkercad o circuito **ETE102-CircuitoOscilador** (figura 12).

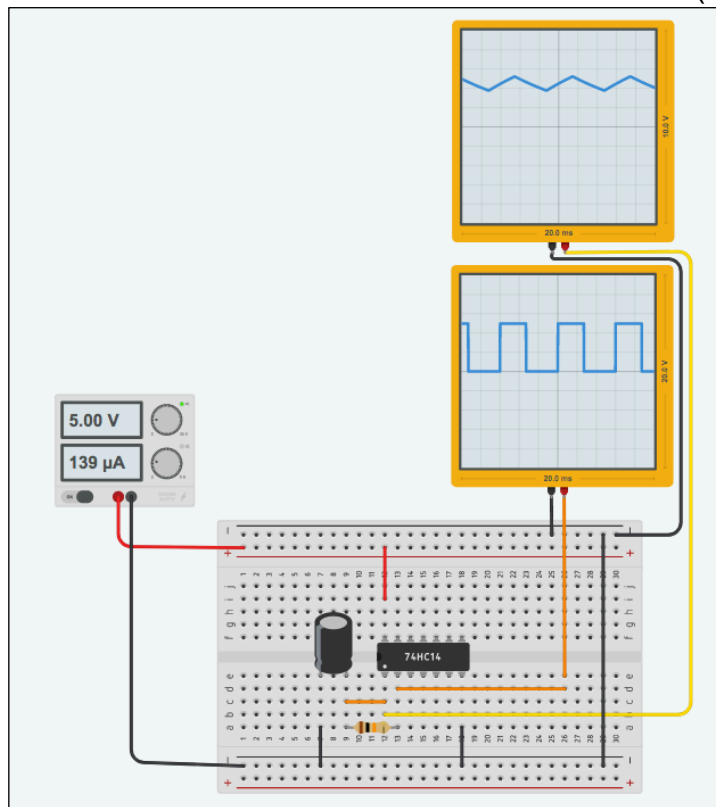


Figura 12 – Circuito Oscilador

Diferente dos circuitos anteriores, agora no lugar dos voltímetros foram utilizados dois osciloscópios, um (superior) monitorando a entrada da porta inversora (terminal 1) e outro (inferior) monitorando a saída da porta inversora (terminal 2). Observe que só utilizamos a primeira porta inversora do CI 74HC14.

O osciloscópio permite que verifiquemos o comportamento de uma tensão em função do tempo. Note que no eixo horizontal existe uma indicação de tempo e no vertical de tensão. No caso dos dois osciloscópio o eixo horizontal está com 20 ms na sua extensão (cada divisão tem portanto 2ms). Os eixos verticais estão com diferentes ajustes, embora ambos apresentem a tensão de 0V (GND) no centro. No osciloscópio inferior (saída da porta) tem-se 20V de extensão (-10V à +10V) ou 2V por divisão. No osciloscópio superior (entrada da porta) tem-se 10V de extensão (-5V à +5V) ou 1V por divisão.

Não se preocupe em explicar o funcionamento, apenas observe que na saída da porta temos um onda quadrada e que sua frequência é alterada caso você modifique o valor do Capacitor ($1\mu\text{F}$) ou do Resistor ($10\text{k}\Omega$) – tente estabelecer a relação entre as modificações nos componentes e a alteração na frequência de saída.

No próximo experimento este circuito será tema de estudo mais aprofundado.

6. Entrega: Postagem no Moodle

Todos os estudantes deverão postar no Moodle os pontos a seguir, mas os estudantes da mesma equipe postarão o mesmo material.

- Descreva brevemente o entendimento sobre a aplicação do item 5.5;
- Considerando os limites da tensão de entrada na porta NAND do circuito do item 5.5, quando dos extremos do LDR, calcule o valor máximo e mínimo do LDR em Ohms;
- Faça um esboço (pode ser feito à mão) do esquema elétrico do circuito do item 5.6 e poste a foto.