

Coletores Abertos e Tri-State

Sumário

2.2	Saídas de coletor aberto e de dreno aberto.....	4
2.3	Buffers / drivers de coletor aberto e de dreno aberto.....	6
2.3.1	Símbolo IEEE/ANSI para saída de coletor aberto e dreno aberto	6
2.4	Saídas lógicas tristate (três estados)	8
2.4.1	Vantagem do <i>tristate</i>	9
2.4.2	Buffers tristate.....	9
2.4.3	CIs tristate.....	10
2.4.4	Símbolo IEEE/ANSI para saídas tristate	11
2.5	Interface lógica de barramento de alta velocidade	12

2.1 SAÍDAS DE COLETOR ABERTO E DE DRENO ABERTO

Existem situações nas quais diversos dispositivos digitais têm de compartilhar o uso de um único fio para transmitir um sinal para um dispositivo de destino, situação muito parecida com aquela em que vários vizinhos compartilham a mesma rua. Isso significa que vários dispositivos devem ter suas saídas conectadas no mesmo fio que basicamente conecta todos eles um ao outro. Para todos os dispositivos lógicos considerados até este momento, isso representa um problema. Cada saída tem dois estados, ALTO e BAIXO. Quando uma saída está em nível ALTO enquanto a outra está em nível BAIXO, e quando elas são conectadas juntas, temos um conflito ALTO / BAIXO. Quem ganhará? Assim como em uma luta de braço, o mais forte dos dois ganha. Nesse caso, o circuito com transistor cujo transistor de saída tiver a menor resistência no estado "ON" conduzirá a saída em sua direção.

A Figura 1 mostra um diagrama em bloco genérico de dois dispositivos lógicos com suas saídas conectadas em um fio comum. Se os dois dispositivos forem CMOS, então a resistência no estado ON do circuito *pull-up* que tem como saída um nível ALTO, será aproximadamente a mesma que a resistência ON do circuito *pull-down* que apresenta uma saída de nível BAIXO. A tensão no fio comum estará em torno da metade da tensão de alimentação. Essa tensão está na faixa indeterminada para a maioria das séries CMOS e é inaceitável para acionar uma entrada CMOS. Além disso, a corrente através dos dois *MOSFETs* em condução será muito maior que o normal, especialmente para valores maiores que V_{DD} e isso pode danificar os CIs.

As saídas CMOS de dispositivos convencionais nunca devem ser conectadas juntas.

Se os dois dispositivos fossem TIL com saídas *totem-pole* conforme é mostrado na Figura 2, uma situação similar ocorreria, mas com resultados diferentes devido a diferença no circuito de saída. Suponha que a saída da porta *A* esteja no estado ALTO (Q_{3A} ON, Q_{4A} OFF) e a saída da porta *B* esteja no estado BAIXO (Q_{3B} OFF, Q_{4B} ON). Nessa situação, Q_{4B} tem uma resistência de carga muito menor que Q_{3A} e drenará uma corrente que será muito maior que a corrente para a qual ele foi projetado. Essa corrente pode não danificar Q_{3A} ou Q_{4B} imediatamente, mas durante um período de tempo, ela pode causar sobreaquecimento deteriorando a performance e provocando um eventual dano ao dispositivo.

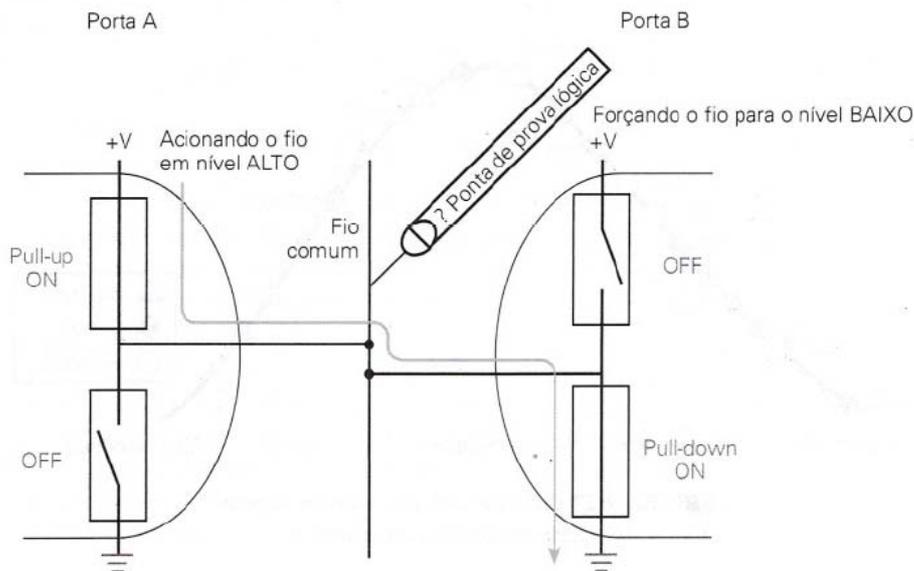


Figura 1. Duas saídas competindo para o controle de um fio.

Outro problema causado por essa corrente relativamente alta fluindo através de Q_{4B} é que ela produzirá uma grande queda de tensão entre coletor e emissor do transistor, fazendo V_{OL} se situar entre 0,5 e 1 volt. Isso é maior do que o valor $V_{OL}(\text{máx})$ permitido. Por essas razões:

As saídas TTL totem-pole nunca devem ser conectadas juntas.

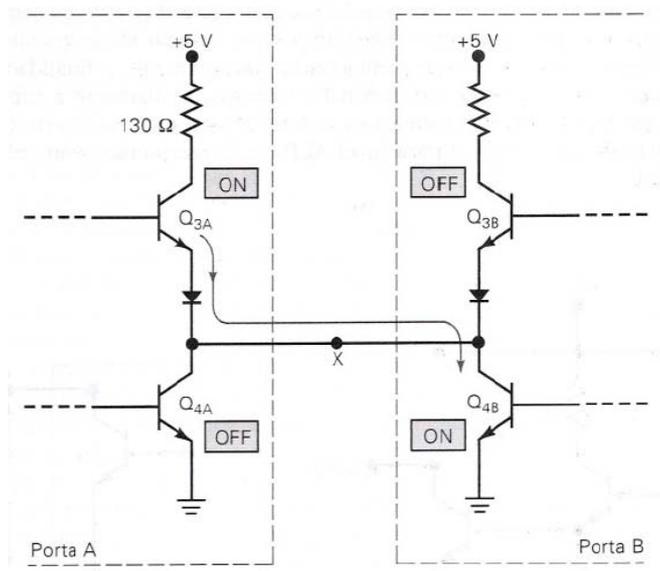


Figura 2. Saídas totem-pole conectadas juntas podem produzir uma corrente muito alta através de Q_4 .

2.2 Saídas de coletor aberto e de dreno aberto

Uma solução para o problema do compartilhamento de um fio comum entre portas lógicas é remover o transistor *pull-up* ativo do circuito de saída de cada porta. Dessa maneira, nenhuma das portas tentará insistir no nível lógico ALTO. Os circuitos de saída CMOS que tenham sido modificados dessa maneira são denominados saídas de dreno aberto. A saída é tomada no dreno do *MOSFET pull-down* canal-N, que é um circuito aberto (isto é, não está conectado em um outro circuito).

A saída TTL equivalente é chamada de saída de coletor aberto, porque o coletor do transistor da parte inferior do *totem-pole* é conectado diretamente no pino de saída e em nenhum outro ponto, conforme é mostrado na Figura 3(a). A estrutura de coletor aberto elimina os transistores *pull-up* Q_3 , D_1 e R_4 . Com a saída no estado BAIXO, Q_4 está ON (tem corrente de base e essencialmente apresenta um curto entre coletor e emissor); com a saída no estado ALTO, Q_4 está OFF (não tem corrente de base e essencialmente apresenta um circuito aberto entre coletor e emissor). Visto que o circuito não tem internamente um caminho para estabelecer uma saída de nível ALTO, o projetista do circuito tem de conectar um resistor de *pull-up*, R_p , externo na saída conforme é mostrado na Figura 3(b).

Quando Q_4 está ON, ele faz com que a tensão de saída seja uma tensão de nível BAIXO. Quando Q_4 está OFF, R_p faz com que a saída da porta esteja em nível ALTO. Observe que sem o resistor de *pull-up*, a tensão de saída seria indeterminada (flutuante). O valor do resistor R_p é geralmente escolhido como sendo de $10k\Omega$. Esse valor é pequeno o suficiente de modo que a queda de tensão no estado ALTO devido à corrente de carga não diminuirá a tensão de saída abaixo do V_{OH} mínimo. Esse resistor tem um valor alto o suficiente para que no estado BAIXO ele limite a corrente através de Q_4 a um valor abaixo de $I_{QL}(\text{máx})$.

Quando várias portas com saídas de coletor aberto ou de dreno aberto compartilham uma conexão em comum conforme é mostrado na Figura 4, o fio comum está em nível ALTO devido ao resistor de *pull-up*. Quando qualquer uma (ou mais de uma) das saídas das portas estiverem em nível BAIXO, haverá uma queda de tensão de 5V sobre o resistor R_p e o ponto de conexão comum estará no estado BAIXO. Visto que a saída comum estará em nível ALTO apenas quando todas as saídas estiverem no estado ALTO, conectando as saídas dessa maneira implementamos, essencialmente, a função lógica AND. Isso é denominado conexão *wired-AND*. Isso é mostrado simbolicamente pelo símbolo de uma AND desenhada pontilhada. Na realidade, a porta AND não existe. Uma conexão *wired AND* pode ser implementada apenas com dispositivos m de coletor aberto ou dispositivos CMOS de dreno aberto.

Resumindo, os circuitos de coletor aberto e de dreno aberto não são capazes de fazer suas saídas irem para o estado ALTO por meio de um circuito ativo; eles podem apenas fazer com que elas estejam em nível BAIXO. Essa característica pode ser usada para possibilitar que vários dispositivos compartilhem o mesmo fio para transmitirem um nível lógico para outro dispositivo, ou combinar efetivamente as saídas dos dispositivos em uma função lógica AND. Conforme já visto, a finalidade do transistor *pull-up* ativo no circuito de saída de uma porta convencional é carregar rapidamente a capacitância de carga permitindo um chaveamento rápido. Os dispositivos de coletor aberto e dreno aberto têm uma velocidade de chaveamento muito lenta de nível BAIXO para nível ALTO e, conseqüentemente, não são usados em aplicações de alta velocidade.

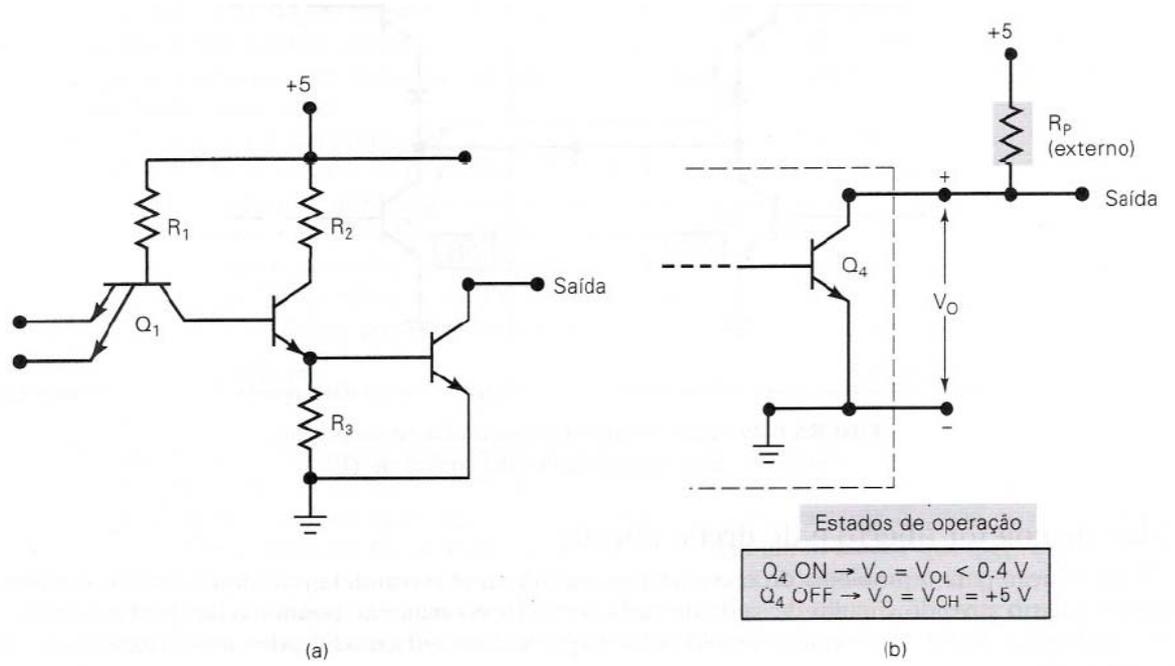


Figura 3. (a) Circuito TTL de coletor aberto; (b) com resistor *pull-up* externo.

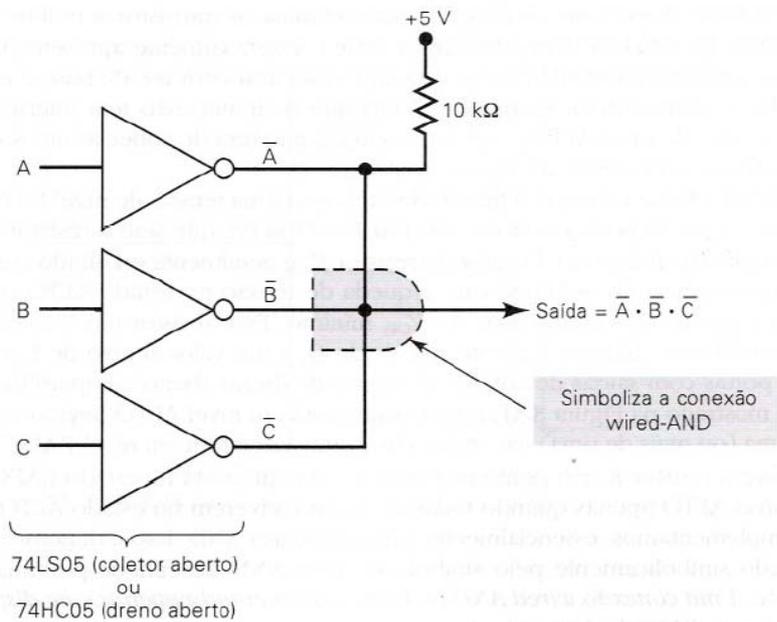


Figura 4. Operação wired-AND usando portas de coletor aberto.

2.3 Buffers / drivers de coletor aberto e de dreno aberto

As aplicações de saídas de coletor aberto e de dreno aberto foram muito mais predominantes na época do surgimento dos circuitos lógicos do que hoje em dia. O uso mais comum desses circuitos agora é como *buffer/driver*. Um *buffer*, ou um *driver*, é um circuito lógico projetado para ter uma capacidade de corrente e/ou tensão de saída maior que um dispositivo lógico comum. Eles permitem que uma saída de circuito de pequena capacidade possa acionar uma carga que *exige* maior corrente. Os circuitos de coletor aberto e de dreno aberto oferecem, de um certo modo, uma flexibilidade única para *buffers/drivers*.

Devido às suas especificações altas para I_{OL} e V_{OH} , o 7406 e 7407 são os únicos dispositivos TTL padrão ainda recomendados para novos projetos. O 7406 é um CI *buffer/driver* de coletor aberto que contém seis INVERSORES com saídas de coletor aberto capazes de absorver até 40 mA no estado BAIXO. Além disso, o 7406 é capaz de lidar com tensões de saída de até 30 volts no estado ALTO. Isso significa que a saída pode ser conectada em uma carga que opera com uma tensão maior que 5 V.

Isso está ilustrado na Figura 5, em que um 7406 é usado como um *buffer* entre um flip-flop 74LS112 e uma lâmpada incandescente de 24 V e 25 mA. O 7406 controla o estado ON/OFF da lâmpada para indicar o estado da saída Q do flip-flop. Observe que a lâmpada é alimentada com +24 V e funciona como um resistor de *pull-up* para a saída de coletor aberto.

Quando $Q = 1$, a saída do 7406 vai para o nível BAIXO, seu transistor de saída absorve os 25 mA da corrente da lâmpada alimentada pela fonte de 24 V e a lâmpada fica ligada. Quando $Q = 0$, o transistor de saída do 7406 é desligado, não há um caminho para a passagem de corrente e a lâmpada fica desligada. Nesse estado, toda a tensão de 24 V aparece sobre o transistor de saída, que está OFF, logo $V_{OH} = 24$ V, que é menor do que o parâmetro $V_{OH\text{máximo}}$ do 7406.

Saídas de coletor aberto são freqüentemente usadas para acionar LEDs conforme é mostrado na Figura 6(a). O resistor é usado para limitar a corrente em um valor seguro. Quando a saída do INVERSOR estiver em nível BAIXO, seu transistor de saída proporcionará um caminho de baixa resistência para GND para a corrente do LED, assim, o LED estará ligado. Quando a saída do INVERSOR estiver em nível ALTO, seu transistor de saída estará desligado e não haverá um caminho para a corrente do LED; nesse estado, o LED estará desligado.

O 7407 é um *buffer* não inversor de coletor aberto com os mesmos parâmetros de tensão e corrente que o 7406.

O 74HC05 é um CI inversor sêxtuplo de dreno aberto com capacidade de absorver corrente de até 25 mA. A Figura 6(b) mostra uma maneira de fazer uma interface de um FF D 74AHC74 com um relé de controle. Um relé de controle é uma chave eletromagnética. Os contatos se fecham magneticamente quando a corrente projetada flui pela bobina. O 74HC05 é capaz de lidar com relés de correntes e tensões relativamente altas, de modo que a saída do 74AHC74 possa ligar e desligar o relé.

2.3.1 Símbolo IEEE/ANSI para saída de coletor aberto e dreno aberto

A nova simbologia IEEE/ANSI usa uma notação diferente para identificar saídas de coletor aberto e de dreno aberto. A Figura 7 mostra a representação no padrão IEEE/ANSI para uma saída de coletor aberto ou de dreno aberto. É um losango sublinhado. Embora a simbologia IEEE/ANSI não seja usada normalmente neste livro, usaremos esse losango sublinhado para indicar saídas de coletor aberto e de dreno aberto.

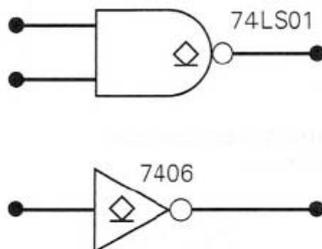
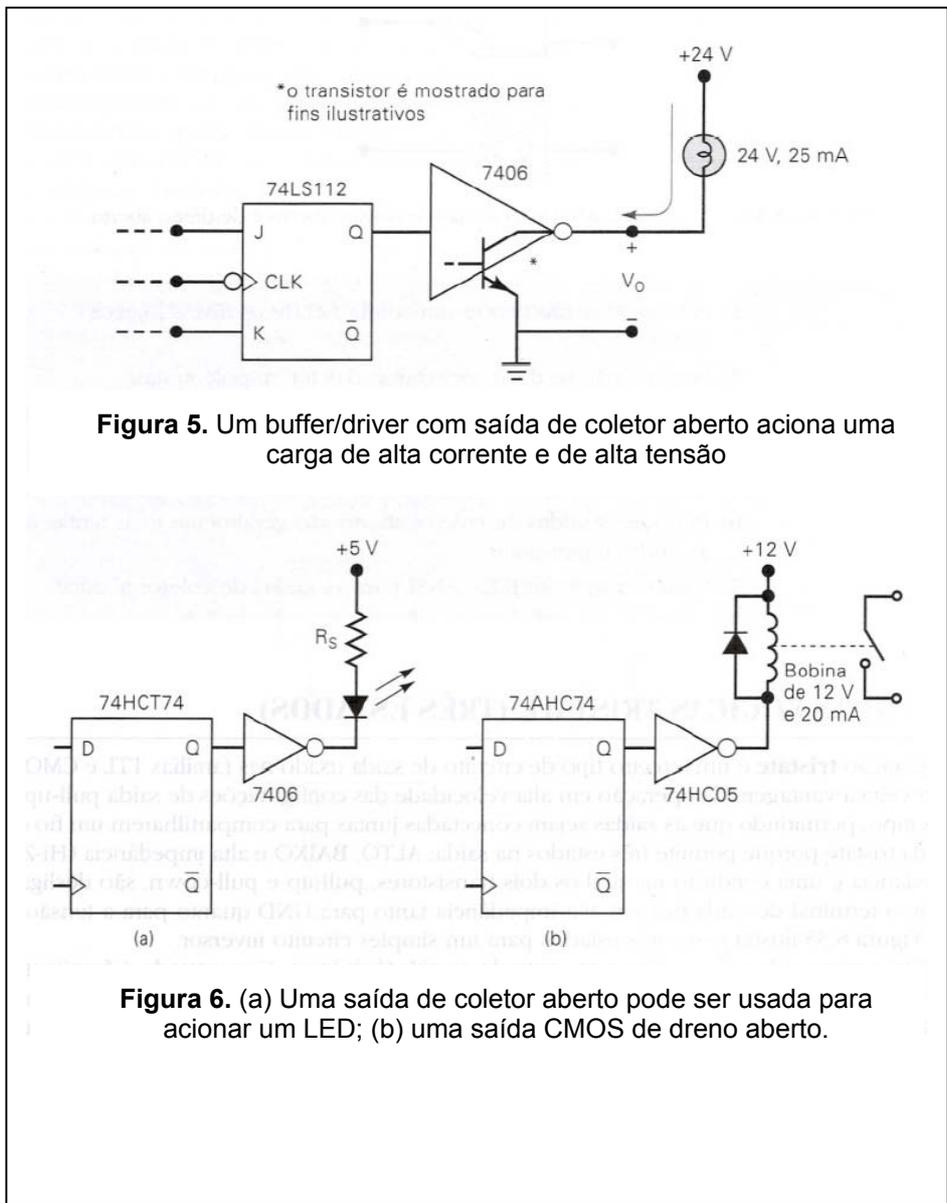


Figura 7. Notação IEEE/ANSI para saídas de coletor aberto e de dreno aberto.

Questões para Revisão

1. Em que situação ocorre um conflito entre os níveis lógicos ALTO / BAIXO?
2. Por que não se deve conectar saídas *totem-pole* juntas?
3. Em que as saídas de coletor aberto diferem das saídas *totem-pole*?
4. Por que uma saída de coletor aberto precisa de um resistor de *pull-up*?
5. Qual é a expressão lógica para a conexão das seis saídas de um 7406?
6. Por que as saídas de coletor aberto são, geralmente, mais lentas do que as saídas *totem-pole*?
7. Qual é o símbolo IEEE/ANSI para as saídas de coletor aberto?

2.4 SAÍDAS LÓGICAS TRISTATE (TRÊS ESTADOS)

A configuração tristate é um terceiro tipo de circuito de saída usado nas famílias TTL e CMOS. Esse tipo de saída aproveita a vantagem da operação em alta velocidade das configurações de saída pull-up/pull-down ao mesmo tempo, permitindo que as saídas sejam conectadas juntas para compartilharem um fio comum. Ela é denominada tristate porque permite três estados na saída: ALTO, BAIXO e alta impedância (Hi-Z). O estado de alta impedância é uma condição na qual os dois transistores, pull-up e pull-down, são desligados (OFF) de modo que o terminal de saída fica em alta impedância tanto para GND quanto para a tensão de alimentação +v. A Figura 8 ilustra esses três estados para um simples circuito inversor.

Dispositivos com saídas tristate têm uma entrada *enable* (habilitar). Essa entrada é freqüentemente denominada *E* para enable ou *OE* para *output enable*. Quando *OE* = 1, conforme mostrado na Figura 8(a) e (b), o circuito opera como um INVERSOR normal porque o nível lógico ALTO em *OE* habilita a saída. A saída estará em nível ALTO ou BAIXO dependendo do nível da entrada. Quando *OE* = 0, conforme mostrado na Figura 8.35(c), a saída do circuito é *desabilitada*. A saída entra no estado de alta impedância tendo os dois transistores de saída em corte. Nesse estado, o terminal de saída é essencialmente um circuito aberto (não está eletricamente conectado em nada).

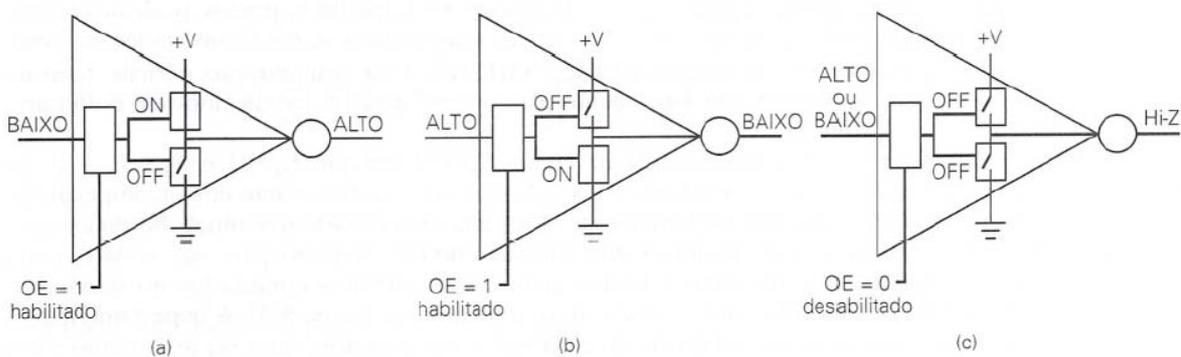


Figura 8. Três condições de saída tri-state.

2.4.1 Vantagem do tristate

As saídas dos CIs com *tristate* podem ser conectadas juntas (compartilhando o uso de um fio comum) sem sacrificar a velocidade do chaveamento. Isso é conseguido graças à saída tristate que, quando habilitada, opera como uma saída *totem-pole* para TTL ou um *pull-up/pull-down* CMOS com suas características associadas de baixa impedância e alta velocidade. Entretanto, é importante perceber que quando saídas *tristate* estão conectadas juntas, apenas uma delas deve ser habilitada de cada vez. Caso contrário, duas saídas ativas competiriam pelo controle do fio comum, conforme discutimos antes, provocando altas correntes e produzindo níveis lógicos inválidos.

Em nossa discussão sobre circuitos de coletor aberto, de dreno aberto e *tristate*, temos mencionado casos em que as saídas de vários dispositivos têm de compartilhar um único fio para transmitir informação para outro dispositivo. O fio compartilhado é referido como linha de barramento. Um barramento de entrada é construído com várias linhas (fios) que são usadas para transportar uma informação digital entre dois ou mais dispositivos que compartilham o uso do barramento.

2.4.2 Buffers tristate

Um *buffer tristate* é um circuito usado para controlar a passagem de um sinal lógico da entrada para a saída. Alguns buffers tristate também invertem o sinal que passa por eles. Os circuitos mostrados na Figura 8 podem ser denominados *buffer tristate inversores*.

Dois CIs buffers tristate usados comumente são o 74LS125 e o 74LS126. Ambos contêm quatro buffers tristate *não inversores* como os que são mostrados na Figura 9. O 74LS125 e o 74LS126 se diferem apenas no estado ativo de suas entradas ENABLE. O 74LS125 permite que o sinal na entrada A alcance a saída quando $E = 0$, enquanto o 74LS126 permite a passagem do sinal de entrada quando $E = 1$.

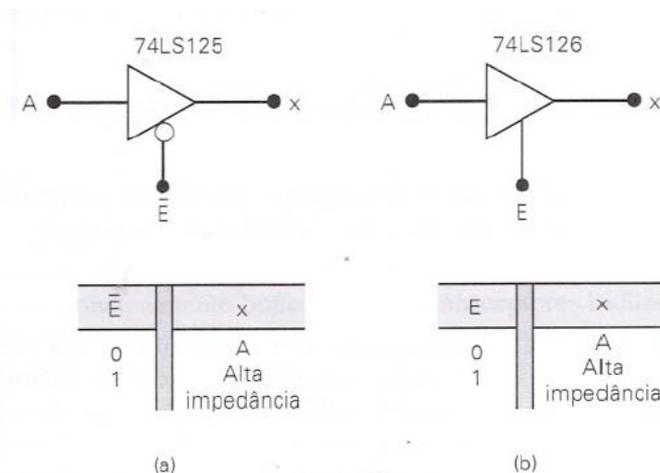


Figura 9. Buffers tristate não inversores.

Os *buffers tristate* têm muitas aplicações em circuitos nos quais diversos sinais são conectados a linhas comuns (barramentos). Podemos ter uma idéia básica a partir da Figura 10(a). Nesse caso, temos os três sinais lógicos A, B e C conectados em uma linha de barramento comum através de *buffers tristate* 74AHC126. Essa configuração permite transmitir qualquer um desses três sinais pela linha de barramento para outros circuitos, habilitando-se o buffer apropriado.

Por exemplo, considere a situação mostrada na Figura 10(b) em que $E_B = 1$ e $E_A = E_C = 0$. Isso desabilita os *buffers* das partes superior e inferior, de modo que suas saídas

estarão em alta impedância e estarão, essencialmente, desconectadas do barramento. Isso está simbolizado por um X no diagrama. O *buffer* da parte central está habilitado; assim, o sinal em sua entrada, *B*, passa para sua saída e, conseqüentemente, para o barramento, de onde é levado para outros circuitos conectados no barramento. Quando saídas *tristate* são conectadas juntas, conforme é mostrado na Figura 8.37, é importante lembrar que não mais que uma saída deve ser habilitada de cada vez. Caso contrário, duas ou mais saídas *totem-pole* ativas seriam conectadas, o que produziria correntes elevadas. Ainda que não ocorra nenhum dano, a situação produziria um sinal no barramento que seria a combinação de mais de um sinal. Isso é normalmente denominado contenção de barramento. A Figura 11 mostra o efeito da habilitação das saídas *A* e *B* simultaneamente. Na Figura 10, quando as entradas *A* e *B* estão em estados opostos, elas competem pelo controle do barramento. A tensão resultante no barramento é um estado lógico inválido. Em sistemas de barramento *tristate*, o projetista tem de garantir que o sinal de habilitação não permitirá que a contenção de barramento ocorra.

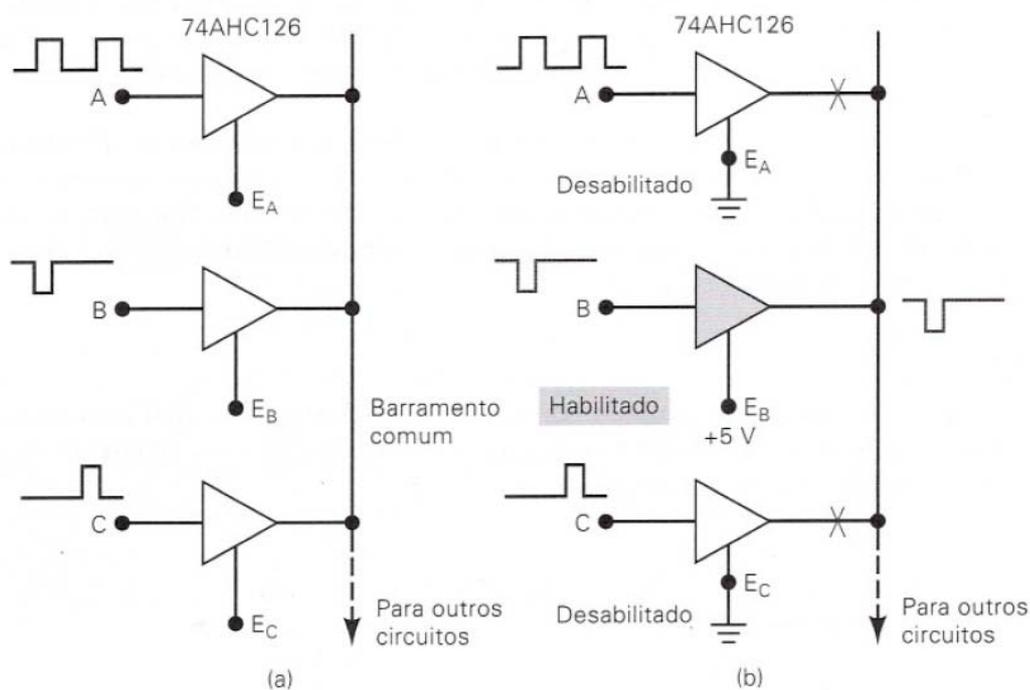


Figura 10. (a) *Buffers tristate* usados para conectar alguns sinais a um barramento comum; (b) condições para transmitir o sinal *B* para o barramento.

2.4.3 CIs tristate

Além dos *buffers tristate*, muitos CIs são projetados com saídas *tristate*. Por exemplo, o 74LS374 é um CI registrador de oito FFs do tipo *D* com saídas *tristate*. Isso significa que ele é um registrador de oito bits construídos com FFs *D* cujas saídas são conectadas em *buffers tristate*. Esse tipo de registrador pode ser conectado em linhas comuns de barramento, juntamente com as saídas de outros dispositivos similares, para emitir uma transferência eficiente de dados pelo barramento. Outros tipos de dispositivos lógicos disponíveis com saídas *tristate* incluem decodificadores, multiplexadores, conversores analógico-digital, chips de memória e microprocessadores.

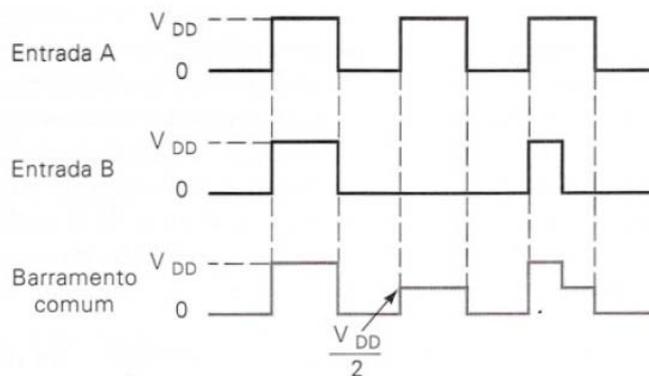


Figura 11. Se duas saídas CMOS habilitadas forem conectadas juntas, o barramento terá uma tensão de aproximadamente $V_{DD}/2$ quando as saídas tiverem níveis diferentes.

2.4.4 Símbolo IEEE/ANSI para saídas tristate

A simbologia lógica tradicional não tem notação especial para saídas *tristate*. A Figura 12 mostra a notação usada na simbologia IEEE/ANSI para indicar uma saída *tristate*. Essa notação é um triângulo que aponta para baixo. Embora essa notação não seja parte da simbologia tradicional, usaremos esse triângulo para indicar saídas *tristate* no restante deste livro.

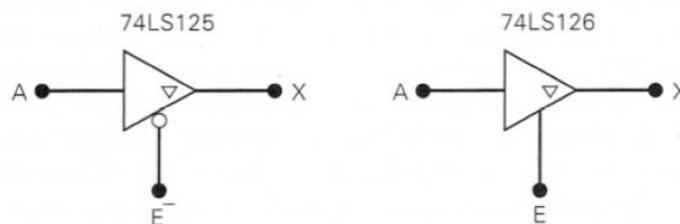


Figura 12. Notação IEEE/ANSI para saídas tristate.

Questões para Revisão

1. Quais são os três estados possíveis de uma saída tristate?
2. Qual é o estado de uma saída tristate quando ela está desabilitada?
3. O que é contenção de barramento?
4. Que condições são necessárias para transmitir o sinal C pelo barramento mostrado na Figura 8.37?
5. Qual é a notação IEEE/ANSI para saídas tristate?

2.5 INTERFACE LÓGICA DE BARRAMENTO DE ALTA VELOCIDADE

Muitos sistemas digitais usam um barramento compartilhado para transferir sinais digitais e dados entre diversos componentes do sistema. Como se pode ver a partir do desenvolvimento da tecnologia CMOS, os sistemas estão ficando cada vez mais rápidos. Muitas das recentes séries lógicas de alta velocidade são projetadas especificamente para interface em sistemas com barramento *tristate*. Os componentes nessas séries são principalmente *buffers tristate*, transceptores bidirecionais, *latches* e acionadores (*drivers*) de linha de alta corrente.

Freqüentemente, uma distância significativa separa fisicamente os dispositivos nesses sistemas. Se essa distância for maior que quatro polegadas (aproximadamente 10,16cm), os fios que formam o barramento entre os dispositivos têm de ser vistos como uma linha de transmissão. Embora a teoria sobre linha de transmissão possa ocupar um livro inteiro, e estar além do objetivo deste livro, a idéia geral é suficientemente simples. Os fios têm indutância, capacitância e resistência, o que significa que para sinais que variam (CA) os fios têm uma característica de impedância que pode afetar um sinal colocado em uma das extremidades e distorcê-lo quando ele alcança a outra extremidade. Em sistemas de altas velocidades, sobre os quais estamos discutindo, os tempos envolvidos diminuem o tamanho dos fios, e os efeitos de ondas refletidas (semelhantes a ecos) e as oscilações se tornam uma preocupação real. Existem diversas formas de combater os problemas associados às linhas de transmissão. Para evitar pulsos de onda refletidos, o final do barramento tem de ter uma terminação com uma resistência que seja igual à impedância da linha (em torno de 50Ω) conforme mostrado na Figura 13(a). Esse método não é prático devido à grande corrente requerida para manter as tensões dos níveis lógicos através de resistências tão baixas. Outra técnica usa um capacitor para bloquear a corrente contínua quando a linha não estiver variando, mas nas bordas de subida e descida dos pulsos, apenas o resistor aparece efetivamente. Esse método é mostrado na Figura 13(b).

Usando um divisor de tensão, conforme mostrado na Figura 13(c), com resistências maiores que a da linha, a impedância ajuda a reduzir as reflexões, porém, com centenas de linhas individuais de barramento, obviamente, isso se torna uma carga de alto consumo para a fonte de alimentação. A terminação com diodos, conforme mostrado na Figura 13(d), simplesmente ceifa os *overshoot/undershoot*¹ das oscilações causadas pelo comportamento reativo da indutância (L) e da capacitância (C) natural da linha. Terminações em série com o dispositivo-fonte, conforme é mostrado na Figura 13(e), diminuem a velocidade de chaveamento, reduzindo a freqüência limite do barramento, porém, melhorando substancialmente a segurança dos sinais no barramento.

Como se pode ver, nenhum desses métodos é ideal. Os fabricantes de CIs estão projetando novas séries de circuitos lógicos que superam muitos desses problemas. As séries lógicas de interfaces de barramento da *Texas Instruments* oferecem novos circuitos de saída que diminuem dinamicamente a impedância de saída durante as transições do sinal para proporcionar tempos de transições menores; durante o estado estacionário, a impedância aumenta (semelhante à terminação em série) para amortecer qualquer oscilação e reduzir reflexões na linha do barramento. A série BTL (lógica transceptora para placa-mãe) de dispositivos de interface de barramento é especialmente projetada para acionar barramentos relativamente longos que conectam módulos de um grande sistema digital. Através da placa-mãe (*backplane*), os módulos são interconectados em um padrão industrial de sistema de montagem em *rack* de 19". A lógica GTL (lógica transceptora para placas reduzidas) é mais adequada para barramentos de alta velocidade em uma placa de circuito única, ou entre placas acomodadas em um pequeno espaço como um gabinete de um computador pessoal.

¹ * Considere que um sinal esteja sendo ajustado em um determinado nível de operação. Caso o nível do sinal supere, momentaneamente, o nível de operação, retomando em seguida, dizemos que ocorreu um *overshoot*. Caso o nível do sinal caia abaixo do nível de operação estipulado, dizemos que ocorreu um *undershoot*. (N. T.)

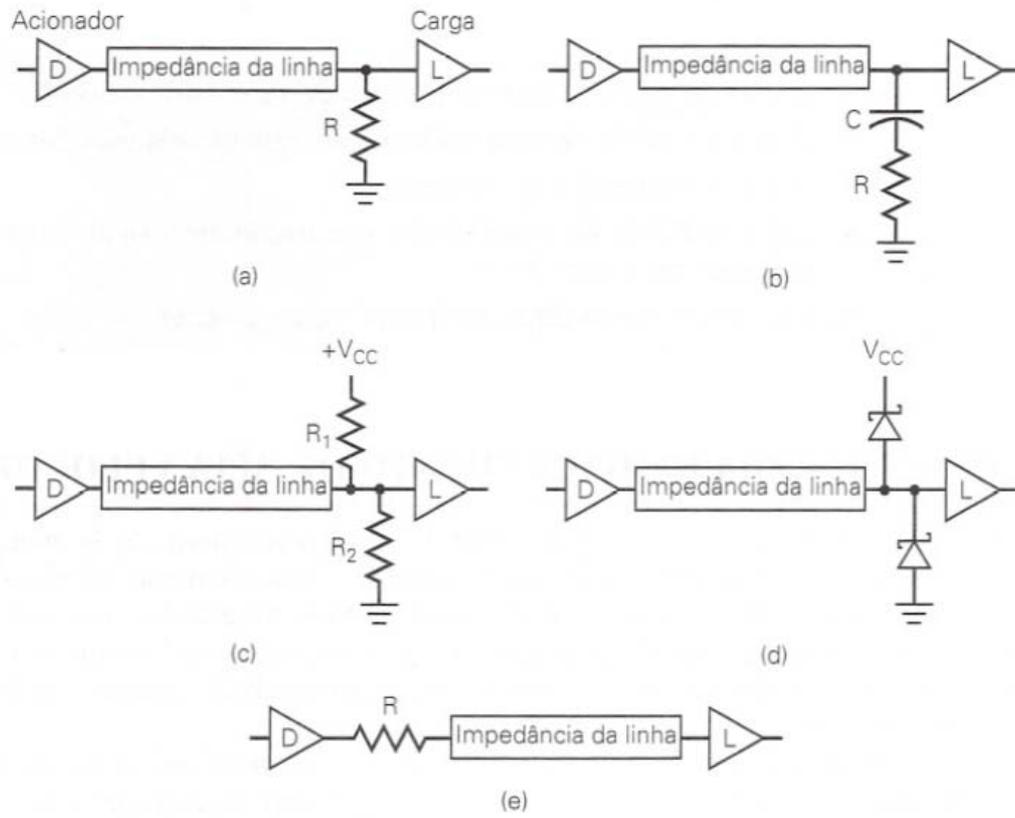


Figura 13. Técnicas de terminação de barramento.