Capítulo 1

Introdução

Distinguem-se duas categorias de (micro)computadores: os de propósito geral e os embutidos. Um microcomputador de propósito geral corresponde ao que nós conhecemos por computador, capaz de atender uma grande variedade de aplicações; enquanto um microcomputador embutido é dedicado a uma tarefa específica. Pertencem à categoria de computadores embutidos os que se encontram nos caixas eletrônicos, nos "carros inteligentes" e nos fornos de microonda. Tipicamente, um computador embutido é transparente aos usuários e contem somente componentes estritamente necessários, em muitos casos integrados em uma simples pastilha/placa. Por outro lado, computadores de propósito geral são usualmente organizados em módulos interligados através de barramentos (de sistema) para facilitar a expansão tanto da capacidade de processamento e de armazenamento quanto dos periféricos. A modularização permite que um computador seja constituído por blocos "pré-fabricados" (comumente conhecidos por placas/controladores), desde que estes satisfaçam as especificações mecânicas, elétricas e protocolares do barramento de sistema.

Observação

- Entendemos aqui por **protocolo** um conjunto de regras que dois dispositivos interligados precisam obedecer para garantir transferências corretas de informação.

1.1 Arquitetura de um Computador

A arquitetura de um computador está relacionada com a estrutura e o comportamento de um computador sob o ponto de vista de um programador. Ela inclui

- formato de instruções,
- repertório de instruções,
- registradores (de dados, de endereços e de propósito específico),
- tamanho das palavras, e
- modos de endereçamento.

Para ilustrar o projeto das interfaces entre um microprocessador e os outros componentes de um computador, processadores MC68000 serão utilizados.

MC68000 é um processador com arquitetura de 32-bits, isto é, ele é capaz de tratar operações sobre os dados e endereços de até 32 bits. Porém, para comunicar com os outros componentes do computador, ele dispõe de 16 pinos (bits) para dados e 23 pinos (bits) para endereços.

1.2 Organização Básica de um Computador

Sob o ponto de vista funcional, um (micro)computador, seja embutido ou de propósito geral, é constituído essencialmente pelas seguintes unidades:

1. unidade central de processamento (UCP), que por sua vez compreende uma unidade de controle (UC) e uma unidade lógica e aritmética (ULA),
2. unidade de memória, e
3. unidade de entrada e saída (E/S).

A organização de um computador diz respeito ao projeto de cada uma destas unidades e a interligação entre elas, considerando as características elétricas, temporais e funcionais dos sinais envolvidos.

1.2.1 Unidade Central de Processamento

Os circuitos de controle e de operações aritméticas e lógicas de uma unidade central de processamento são usualmente encontrados integrados em uma pastilha, conhecida como (micro)processador. A conexão deste processador com os outros componentes do computador demanda circuitos adicionais para controle, temporização e compatibilização elétrica. Destes circuitos destacam-se:

- relógio de sistema para sequencializar as operações do sistema e circuitos de inicialização/parada/reset,
- decodificador de endereços,
- retentores/"compatibilizadores" (*buffers* ou *drivers*) de sinais de dados e de endereços,
- circuito de controle de retentores/"compatibilizadores",
- circuito de arbitragem de barramento, e
- unidade de gerência de memória.

Observação

- Numa organização com uso de barramento (Fig. 1.1 do livro-texto) as unidades compartilham o mesmo conjunto de fios para transferência de informações. Neste caso, denominamos

  mestres de barramento: unidades que controlam o uso de barramentos de endereços e dados.

  escravos de barramento: unidades que são acessadas pelo mestres.

  Quando existe mais de um mestre de barramento em um sistema, sinais adicionais e um circuito de arbitragem são necessários para solicitar o controle de barramento e conceder o controle de barramento a um deles segundo alguma estratégia pré-estabelecida.

1.2.2 Unidade de Memória

Funcionalmente, uma unidade de memória consiste de um conjunto de células de armazenamento. A diversidade dos componentes de memória disponíveis no mercado exige que os projetistas conheçam as características destes componentes para assegurar que o seu projeto seja um bom compromisso entre o desempenho e o custo. Conforme veremos nesta disciplina, dependendo da tecnologia da memória escolhida, circuitos adicionais são necessários para garantir a sua correta operação.

1.2.3 Unidade de Entrada/Saída

A unidade de entrada/saída compreende um conjunto de circuitos que possibilitam o interfaceamento de um microcomputador com o mundo exterior, como teclados, impressoras, *mouses*, sensores, acionadores, escaneadores e vídeos, com o objetivo de garantir que eles trabalhem de forma sincronizada e eletricamente compatível. Estes circuitos podem ser encontrados no mercado em forma de pastilhas, placas ou distribuídos em outras unidades, tais como placas de vídeo, controladores de disco, controladores de DMA.

1.3 Operação de um Computador

O computador é uma máquina que executa instruções continuamente. Cada ciclo de instrução compreende, por sua vez, duas operações básicas: a busca e a execução de uma instrução armazenada na unidade de memória. Ao ligar um computador, o contador de programa CP na unidade central de processamento é carregado com o endereço da instrução inicial. A instrução é trazida da Unidade de Memória para a Unidade de Controle, onde é decodificada e são gerados os sinais de controle apropriados para o resto das unidades a fim de executar a operação correspondente. Concluída a operação, inicia-se um novo ciclo com a busca da próxima instrução utilizando o endereço atualizado no contador de programa. E assim sucessivamente até que seja desligado o computador. Tanto o modo de operação (supervisor ou usuário, execução passo-a-passo, etc) quanto os resultados das operações aritméticas e lógicas em cada ciclo (se é zero, negativo ou *overflow*) são indicados no registrador de estado SR . Fig. 2.5 do livro-texto (p. 24) mostra o significado de cada bit do registrador de estado do MC68000.

O formato exato de uma palavra de instrução depende da arquitetura da máquina. Essencialmente ela contém dois tipos de informação: o **código de operação**, do qual geram-se os sinais de controle e o(s) endereço(s) do(s) operando(s) sobre os quais estes sianis atuariam. Processadores sofisticados provêm ainda diferentes modos de endereçamento, ou seja, diferentes formas para especificar o endereço de um operando. No caso de MC68000, 5 classes de modos de endereçamento são suportados: imediato, absoluto, por registrador diretamente, por registrador indiretamente e relativo ao contador de programa. Esta diversidade facilita a implementação de estruturas de dados complexas como tabelas, vetores, pilhas e matrizes.

O fluxo de dados entre UCP e as outras unidades pode ser de forma

síncrona: Os tempos alocados para cada operação são pré-definidos em função de uma base de tempo comum (p. ex, um tempo para endereços válidos nos pinos seguido de um tempo para dados válidos nos pinos). Se a velocidade das unidades forem incompatíveis com estes tempos, os dados transferidos podem ser inválidos.

assíncrona: Há um sinal de controle adicional para sincronizar as operações que podem ocorrer em qualquer tempo. Por exemplo, num ciclo de leitura a Unidade de Memória pode "avisar" a UCP com um sinal (de controle) quando os dados disponíveis nos seus pinos são os endereçados pela UCP.

Exercícios de Revisão

1. Qual é a organização básica de um computador? Descreva sucintamente as funções de cada unidade.
2. Qual é a diferença entre um computador e um processador?
3. O que são mestres e escravos de barramento?
4. O que significa interfaceamento em um sistema computacional?
5. Quais são as operações básicas que se repetem continuamente em um computador?
6. Qual é a função de um contador de programa?

7. Qual é a função de um registrador de estado?
8. O que é um código de operação?
9. O que são modos de endereçamento?
10. O que você entende por transferências síncronas e assíncronas em um sistema computacional?

1.4 Componentes Digitais

As unidades de um computador são constituídas de componentes digitais cujas caracterísitcas elétricas e temporais são especificadas pelos fabricantes. Elas podem ser encontradas nos *data sheets* e *handbooks*. Circuitos integrados de mesma série são projetados para serem conectados sem grandes problemas elétricos, desde que o fator de carga seja observado. No entanto, no projeto de um sistema digital mais complexo, como um computador, é comum utilizar componentes de distintas tecnologias para aproveitar os pontos positivos de cada um (Fig. 10.5 do livro-texto – p. 768). Cabe então ao projetista especificar circuitos de interface elétrica entre eles e analisar as suas relações temporais.

1.4.1 Características Elétricas

As caracterísitcas elétricas de um circuito integrado são usualmente fornecidas através dos seguintes parâmetros:

V_{IL}(max): é o nível de tensão máximo que se garante ser interpretado como nível "0" na entrada.

V_{IH}(min): é o nível de tensão mínimo que se garante ser interpretado como nível "1" na entrada.

V_{OL}(max): é o nível de tensão máximo que se garante ser interpretado como nível "0" na saída.

V_{OH}(min): é o nível de tensão mínimo que se garante ser interpretado como nível "1"na saída.

I$_{IL}$: é a corrente que flui para entrada quando se aplica V$_{IL}$.

I$_{IH}$: é a corrente que flui para entrada quando se aplica V$_{IH}$.

I$_{OL}$: é a corrente que sai da saída em nível lógico "0" sob certas condições de carga.

I$_{OH}$: é a corrente que sai da saída em nível lógico "1" sob certas condições de carga.

É importante ressaltar que existe uma faixa central de indecisão onde o nível lógico não está perfeitamente definido, podendo produzir respostas imprevisíveis.

Definição 1.1 Imunidade de ruído *de um circuito lógico refere à habilidade do circuito tolerar o ruído sem causar mudanças espúrias na tensão de saída. A medida quantitativa desta imunidade é a* **margem de ruído**.

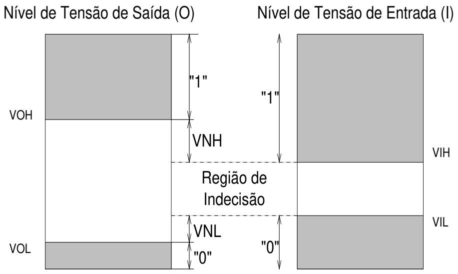
Definição 1.2 Margem de ruído para nível alto: *é o maior (em módulo) valor de tensão (negativa) que pode aparecer como ruído na entrada sem levar o dispositivo à região de indecisão.*

$$V_{NH} = V_{OH} - V_{IH}$$

Definição 1.3 Margem de ruído para nível baixo: *é o maior (em módulo) valor de tensão (positiva) que pode aparecer como ruído na entrada sem levar o dispositivo à região de indecisão.*

$$V_{NL} = V_{IL} - V_{OL}$$

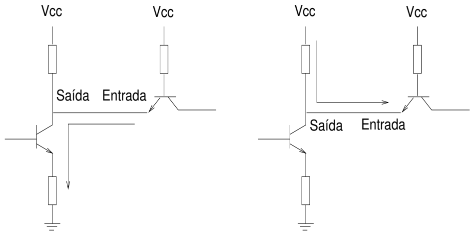
As margens de ruído variam com a temperatura e com a utilização do CI.



Em geral, a saída de um circuito lógico é utilizada para acionar (*drive*) várias entradas. Chamamos de *fan-out*, ou fator de carga, o número máximo de entradas que uma saída consegue alimentar sem problemas. Dizemos que a saída de um circuito em relação à sua carga tem

ação de fonte , quando uma pequena corrente de fuga flui da saída de um dispositivo acionador (*driver*) para a entrada do próximo estágio.

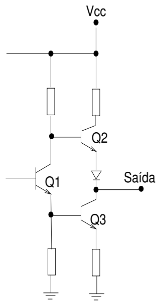
ação de dreno , quando o dispositivo acionador (*driver*) drena a corrente para o terra.



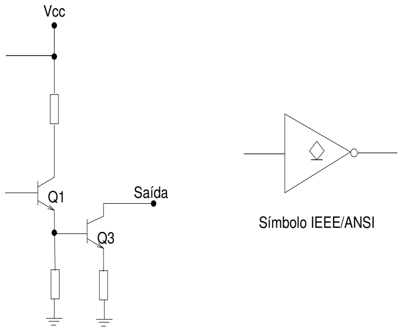
Fluxo de Corrente no Nível "0" Fluxo de Corrente no Nível "1"

Quanto ao estágio de saída de cada pino de um componente digital, distinguem-se três configurações (pp. 773 – 778 do livro-texto):

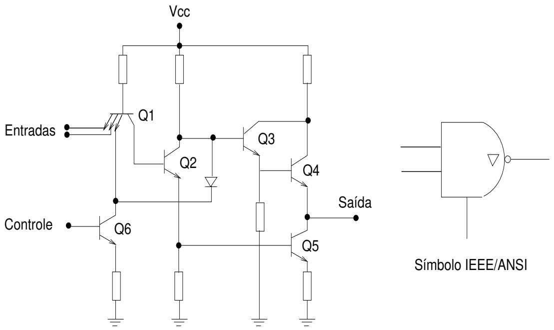
Totem-pole : quando o coletor(TTL)/dreno(CMOS) do transistor no estágio de saída é ligado internamente com a fonte de alimentação através de um transistor e um diodo em série. Por representar uma carga resistiva pequena, esta configuração é muito usada para alimentar as cargas capacitivas sem diminuir a velocidade de chaveamento.



Coletor Aberto(TTL)/Dreno Aberto(MOS) : quando o coletor(TTL)/dreno(MOS) do transistor no estágio de saída não está ligado a uma fonte de alimentação. Para que o mesmo funcione, é necessário ligar o pino de saída a uma fonte externa. E para evitar sobrecarga no transistor Q_3, é comum ainda fazer esta ligação através de um resistor de *pull-up*.



Três-Estados : quando a saída pode assumir um dos três estados: nível falso, nível verdadeiro e impedância alta (circuito aberto). Neste caso, há um pino de controle adicional para determinar o estado de saída.



Basicamente predominam duas famílias de componentes lógicos em um computador: de tecnologia TTL (*transistor-transistor logic*) e de tecnologia

CMOS (*complementary-symmetry metal-oxide-semiconductor*). Nas Tabelas 10.1 e 10.2 do livro-texto (pp. 769 – 770) encontram-se algumas características elétricas dos circuitos integrados destas duas famílias. A partir dos dados destas tabelas, é fácil concluir que a interconexão entre componentes de distintas tecnologias (com características elétricas diferentes) requer circuitos de interface para compatibilizar seus níveis elétricos.

De modo geral, valem as seguintes observações:

TTL acionando CMOS :

- Os valores da corrente de entrada de CMOS são extremamente baixos em relação aos valores da corrente de saída provida pela família TTL. Portanto, TTL sempre satisfaz este quesito.
- A tensão de saída de TTL é baixa em relação à tensão de entrada requerida por algumas séries de CMOS. Uma solução para isso é utilizar resistor *pull-up*.
- Quando a tensão de alimentação, V_{DD}, é maior que 5V (p. ex., 10V), CMOS requer uma tensão de entrada maior que 5V, que é proibitiva para TTL. Assim, não se aplica mais a solução anterior. Uma alternativa é utilizar portas da série LSTTL de alguns fabricantes (p.ex, Fairchild) que opere com a saída elevada a 10V.

CMOS acionando TTL :

- Os valores da corrente e da tensão de entrada de TTL são menores que os valores de CMOS quando TTL está em nível "verdadeiro". Portanto, nenhuma consideração adicional é necessária.
- Os valores de corrente de entrada de TTL em nível "falso" são relativamente altos, podendo exceder o *fan-out* do CMOS. Neste caso, pode-se utilizar portas de três-estados para interfacear os dois componentes.
- Quando a tensão de alimentação, V_{DD}, é maior que 5V (p. ex., 15V), a tensão de saída de um CMOS no nível "verdadeiro" excede o valor permitido pela família TTL. Neste caso, pode-se utilizar um *voltage-level translator* para reduzir a o valor da tensão para 5V.

Exercícios de Revisão

1. Explique os parâmetros: V_{OH}, V_{OL}, V_{IH}, V_{IL}, I_{OH}, I_{OL}, I_{IH}, I_{IL}, V_{NH}, V_{NL}.
2. O que é imunidade de ruído?
3. O que é fator de carga? Supondo que o fator de carga de uma porta seja 5, podemos SEMPRE ligar na sua saída 5 cargas?
4. Qual é a diferença entre ação de dreno e ação de fonte de uma saída?
5. Explique as três configurações de saída de um dispositivo lógico.
6. Qual é a função de um resistor *pull-up*?
7. Qual é a notação recomendada pela IEEE/ANSI para designar as configurações de saída de coletor aberto e três-estados?
8. Os dispositivos de tecnologia CMOS são eletricamente compatíveis com os dispositivos TTL?
9. O que voce entende por interfaces entre componentes digitais?

1.4.2 Características Temporais

Vocês já tiveram a oportunidade de constatar no laboratório da disciplina EA773 que a transição entre dois estados em um dispositivo digital nunca ocorre instantaneamente. É, porém, comum considerar mudança instantânea, quando o tempo da transição for muito menor do que o tempo entre duas transições. Ainda mais, existem atrasos na resposta de um dispositivo. Estes atrasos variam com a velocidade de chaveamento de cada tecnologia. Estas informações estão relacionadas com os diversos tempos fornecidos pelos fabricantes:

t_{TLH}: tempo de transição do nível baixo para o nível alto.

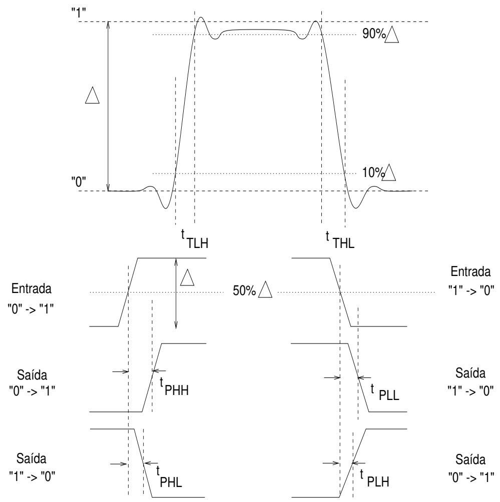
t_{THL}: tempo de transição do nível alto para o nível baixo.

t_{PHL}: tempo de propagação para a saída com o sinal de entrada variando do nível baixo para o nível alto e de saída, do nível alto para baixo.

t_{PLH}: tempo de propagação para a saída com o sinal de entrada variando do nível alto para o nível baixo e de saída, do nível baixo para alto.

t_{PHH}: tempo de propagação para a saída com os sinais de entrada e de saída variando do nível baixo para o nível alto.

t_{PLL}: tempo de propagação para a saída com os sinais de entrada e de saída variando do nível alto para o nível baixo.



Observações:

- Quanto menor for o tempo de transição, maior é a velocidade de chaveamento.
- Em geral, os tempos de propagação não são iguais. Elas dependem das condições de cargas capacitivas.

- Os tempos de propagação são utilizados para medir a velocidade relativa entre dois circuitos lógicos.

Quando se trata de dispositivos cujos estados mudam em função da borda de subida/descida (transição ativa) de um sinal de gatilho – normalmente, o relógio do sistema – os seguintes parâmetros adicionais são utilizados para caracterizar o seu correto funcionamento (pp. 219 – 221 e Fig. 4.12 do livro-texto):

tempo de setup: tempo mínimo que o sinal de entrada deve se manter estável antes da transição ativa do sinal de gatilho;

tempo de hold: tempo mínimo que o sinal de entrada deve se manter estável após a transição ativa do sinal de gatilho.

frequência máxima (f_{MAX}): frequência máxima que o sinal de gatilho pode ter.

largura do pulso do sinal de gatilho ($t_{w(L)}$ e $t_{w(H)}$): tempo em que o sinal de gatilho mantém no nível baixo ou no nível alto.

Os diagramas de tempo são amplamente utilizados para mostrar a variação dos sinais digitais em função do tempo, e especialmente para mostrar a relação entre dois ou mais sinais num mesmo circuito ou sistema. A utilidade destes diagramas passa a ser perceptível no projeto de sistemas complexos, onde existem interdependências entre vários sinais. Esboçando as relações destes sinais em diagramas, facilita-se a visualização e a análise das restrições e possíveis violações temporais.

Existem diversas ferramentas assistidas por computador que auxiliam a modelagem e a análise dos diagramas de tempo.

Exercícios de Revisão

1. Explique os parâmetros: t_{TLH}, t_{THL}, t_{PLH} e t_{PHL}.
2. O que é tempo de *setup*?
3. O que é tempo de *hold*?
4. O que você entende por sinal de gatilho (*trigger*)?

5. O que é uma transição ativa de um sinal?

1.4.3 Características Funcionais

Cada sinal/pino de um dispositivo digital é provido de uma função/semântica. Esta função e a dependência funcional entre os sinais são fornecidas pelos fabricantes através do esquema de pinagem, das tabelas de função e dos diagramas de bloco funcional. No caso dos componentes digitais utilizados nos computadores é usual agrupar estes sinais em: sinais de dados, sinais de endereço e sinais de controle.

1.5 Objetivos desta Disciplina

Na disciplina EA869 foi apresentada a arquitetura básica de um computador genérico e algumas noções sobre a sua organização. Na disciplina EA870 foi visto detalhadamente o modelo de programação dos microprocessadores 68000. Uma boa revisão se encontra no capítulo 2 do livro-texto (pp. 13 – 81). Nesta disciplina aprofundaremos no aspecto organizacional de um computador. Serão apresentados

- a interface de um microprocessador;
- diferentes tecnologias de memória;
- interfaces analógicas/digitais e digitais/analógicas;
- modelagem e análise das relações temporais entre os componentes de um computador com uso de diagramas de tempo;
- soluções alternativas para integrar diferentes componentes digitais para constituir um (micro)computador com distintas capacidades; e
- barramentos de sistema.

1.6 Auto-avaliação

Após este capítulo, você deve ser capaz de:

- distinguir a arquitetura e a organização de um (micro)computador;
- descrever a organização básica de um (micro)computador e as principais funções de cada unidade;
- distinguir um microprocessador e um microcomputador;
- saber o que é um sinal TTL-compatível e um sinal CMOS-compatível e a ordem de grandeza dos valores dos seus parâmetros elétricos;
- saber caracterizar as três configurações de saída: *totem-pole*, coletor aberto e três-estados;
- saber o que é tempo de *hold* e tempo de *setup*;
- saber modelar e analisar os tempos de um dispositivo digital com uso de diagramas de tempo;
- saber identificar nas especificações fornecidas pelos fabricantes (*data sheets* ou *databook*) as características elétricas, temporais e funcionais de um dispositivo;
- descrever os três principais conjuntos de sinais entre as unidades de um (micro)computador;
- distinguir a diferença e a semelhança do conteúdo desta disciplina em relação às disciplinas EA869 e EA870;
- saber as funções de cada bloco na Figura 1.1 do livro-texto; e
- definir o papel de um projetista de um (micro)computador.

1.7 Lista de Exercícios

1. A partir das especificações do contador CI74176 e da memória HM62256A-15 cujos manuais se encontram no Almoxarifado, identificar
   (a) as funções de cada pino/sinal e as relações funcionais entre estes sinais;
   (b) as configurações de saída de cada pino;

   (c) as restrições elétricas em condições normais de operação; e
   (d) as restrições temporais em condições normais de operação.

2. Sejam os seguintes valores temporais para os *flip-flops* 7474 (D), 74LS112 (JK), 74C74 (D) e 74HC112 (JK) com $\overline{CLR}$ e $\overline{PRE}$ (com exceção dos atrasos de propagação, os valores são mínimos)

	TTL		CMOS	
	7474	74LS112	74C74	74HC112
tempo de *setup* (ns)	20	20	60	25
tempo de *hold* (ns)	5	0	0	0
t_{PHL} (entre CLK e saída Q, ns)	40	24	200	31
t_{PLH} (entre CLK e saída Q, ns)	25	16	200	31
t_{PHL} (entre $\overline{CLR}$ e saída Q, ns)	40	24	225	41
t_{PLH} (entre $\overline{PRE}$ e saída Q, ns)	25	16	225	41
$t_{w(L)}$ (do sinal CLK, ns)	37	15	100	25
$t_{w(H)}$ (do sinal CLK, ns)	30	20	100	25
$t_{w(L)}$ (dos sinais $\overline{CLR}$ e $\overline{PRE}$, ns)	30	15	60	25
f_{MAX} (MHz)	15	30	5	20

Responda:

   (a) Assuma Q=0. Quanto tempo é necessário para Q passar para o nível alto na ocorrência de uma transição ativa no sinal CLK em 7474?
   (b) Assuma Q=1. Quanto tempo é necessário para Q passar para o nível baixo em resposta a ativação do sinal $\overline{CLR}$ em 74HC112?
   (c) Qual é a menor largura de pulso confiável do sinal $\overline{CLR}$ a ser aplicado em 74LS112 para resetá-lo?
   (d) Qual dos *flip-flops* requer que o sinal de entrada mantenha estável após a ocorrência da transição ativa do CLK?
   (e) Qual dos *flip-flops* requer que o sinal de entrada esteja estável antes da ocorrência da transição ativa do CLK?
   (f) Qual dos *flip-flops* pode operar de forma confiável com a frequência de CLK igual a 16 MHz?
   (g) Se a frequência do CLK for 1 MHz, a frequência da saída Q é menor ou igual a 1 MHz?