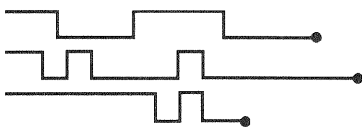


## CAPÍTULO 1

---

# Conceitos Introdutórios



### ■ SUMÁRIO

- |            |                                       |            |                                      |
|------------|---------------------------------------|------------|--------------------------------------|
| <b>1-1</b> | Representações Numéricas              | <b>1-5</b> | Circuitos Digitais/Circuitos Lógicos |
| <b>1-2</b> | Sistemas Digitais e Analógicos        | <b>1-6</b> | Transmissão Paralela e Serial        |
| <b>1-3</b> | Sistemas de Numeração Digital         | <b>1-7</b> | Memória                              |
| <b>1-4</b> | Representação de Quantidades Binárias | <b>1-8</b> | Computadores Digitais                |

## ■ OBJETIVOS

*Ao completar este capítulo, você deverá estar apto a:*

- Distinguir entre representações analógicas e digitais.
- Relacionar as vantagens e desvantagens das técnicas digitais quando comparadas com as analógicas.
- Compreender a necessidade de utilização de conversores analógico-digitais (conversores A/D) e conversores digital-analógicos (conversores D/A).
- Converter números decimais em binários e vice-versa.
- Identificar sinais digitais típicos.
- Relacionar as diversas tecnologias de fabricação de circuitos integrados.
- Identificar um diagrama de tempo.
- Enumerar as diferenças entre transmissão paralela e serial.
- Descrever a propriedade de memória.
- Descrever as principais partes de um computador digital e compreender suas funções.
- Fazer a distinção entre microcomputadores, microprocessadores e microcontroladores.

## ■ INTRODUÇÃO

No mundo atual, o termo digital tornou-se parte do nosso vocabulário no dia-a-dia por causa da maneira profunda pela qual os circuitos e as técnicas digitais tornaram-se amplamente utilizados em quase todas as áreas de nossas vidas, como: computadores, automação, robôs, medicina, transportes, entretenimento, exploração do espaço etc. Você está prestes a começar uma excitante jornada, na qual descobrirá os princípios fundamentais, os conceitos e as operações que são comuns a todos os sistemas digitais, desde a mais simples chave liga-desliga até o mais complexo computador. Se este livro for bem-sucedido, você adquirirá um profundo conhecimento de como os sistemas digitais funcionam e deverá estar apto a aplicar este conhecimento na análise e manutenção de qualquer sistema digital.

Vamos começar introduzindo alguns conceitos básicos que são a parte vital da tecnologia digital; estes conceitos serão complementados mais adiante, à medida que se tornar necessário. Também introduziremos alguns termos, importantes para iniciarmos o estudo nesta nova área de conhecimento, assim como acrescentaremos, a cada capítulo, novos termos àqueles já estudados.

### 1-1 REPRESENTAÇÕES NUMÉRICAS

Na ciência, na tecnologia, nos negócios e na verdade em qualquer outro campo, estamos constantemente lidando com *quantidades*. Quantidades são medidas, monitoradas, gra-

vadas, manipuladas aritmeticamente, observadas, ou de algum outro modo utilizadas na maioria dos sistemas físicos. É importante que ao lidarmos com diversas quantidades sejamos capazes de representar seus valores de modo eficiente e exato. Existem basicamente duas formas de representar o valor numérico de quantidades: a **analógica** e a **digital**.

### Representações Analógicas

Na **representação analógica**, o valor de uma quantidade é proporcional ao valor de uma tensão ou corrente, ou ainda de uma medida de movimento. Um exemplo disso é o velocímetro de um automóvel, no qual a deflexão do ponteiro é proporcional à velocidade do automóvel. A posição angular do ponteiro indica o valor da velocidade do automóvel, inclusive acompanhando qualquer mudança que ocorrer na velocidade do automóvel ao ser acelerado ou freado.

Um outro exemplo é o termostato utilizado para controlar a temperatura de uma sala, no qual a curvatura de uma lâmina bimetálica é proporcional à temperatura ambiente. À medida que a temperatura na sala se altera, a curvatura da lâmina também se altera proporcionalmente.

Ainda um outro exemplo de representação analógica pode ser encontrado no conhecido microfone de áudio. Neste dispositivo, a tensão de saída gerada é proporcional à amplitude das ondas sonoras que atingem o microfone. As variações na tensão de saída acompanham as mesmas variações das ondas sonoras na entrada.

Quantidades representadas na forma analógica tais como aquelas citadas anteriormente possuem uma importante característica: *elas podem variar em um determinado intervalo contínuo de valores*. A velocidade de um automóvel pode assumir qualquer valor no intervalo entre zero e, digamos, 160 km/h. De modo similar, a tensão de saída de um microfone pode estar em qualquer ponto de um intervalo de zero a 10 mV (por exemplo: 1 mV, 2,3724 mV, 9,9999 mV).

### Representações Digitais

Na **representação digital**, as quantidades são representadas não por outras quantidades proporcionais, mas por símbolos chamados *dígitos*. Por exemplo, um relógio digital, que fornece as horas do dia na forma de dígitos decimais que representam as horas, os minutos (e às vezes segundos). Como sabemos, as horas do dia mudam continuamente, mas a leitura do relógio digital não varia continuamente; em vez disso, ela varia em passos de um minuto (ou um segundo). Em outras palavras, esta forma de representação digital das horas do dia varia em passos *discretos*, quando comparada com a representação fornecida por um relógio analógico, em que as mudanças no mostrador ocorrem de modo contínuo.

A diferença principal entre as formas de representação analógica e digital pode então ser simplesmente simbolizada da seguinte maneira:

analógica ≡ contínua  
digital ≡ discreta (passo a passo)

Por causa da natureza discreta da representação digital, não existe ambigüidade na leitura de uma quantidade representada nesta forma, enquanto na representação analógica a leitura é geralmente sujeita a interpretação.

### EXEMPLO 1-1

Quais dos itens a seguir referem-se à forma de representação digital e quais se referem à analógica?

- (a) Chave de dez posições
- (b) A corrente elétrica na tomada na parede
- (c) A temperatura de uma sala
- (d) Grãos de areia na praia
- (e) Velocímetro de automóvel

### Solução

- (a) Digital
- (b) Analógica
- (c) Analógica
- (d) Digital, uma vez que o número de grãos pode assumir apenas um determinado número de valores discretos (inteiros) e não qualquer valor possível dentro de um intervalo contínuo.
- (e) Analógica, se o velocímetro for do tipo de ponteiro; digital se possuir um mostrador numérico.

### Questões de Revisão\*

1. Descreva, de modo resumido, a principal diferença entre as formas de representação digital e analógica.

## 1-2 SISTEMAS DIGITAIS E ANALÓGICOS

Um **sistema digital** é uma combinação de dispositivos projetados para lidar com informações lógicas ou com quantidades físicas representadas de forma digital, isto é, estas quantidades só podem assumir valores discretos. Estes dispositivos são geralmente eletrônicos, mas também podem ser mecânicos, magnéticos ou pneumáticos. Dentre os sistemas digitais mais comuns podemos citar computadores e calculadoras digitais, equipamento de áudio e vídeo digital e o sistema telefônico — o maior sistema digital no mundo.

Um **sistema analógico** contém dispositivos que podem manipular quantidades físicas que são representadas de forma analógica. Em um sistema analógico, as quantidades físicas podem variar sobre um intervalo contínuo de valores. Por exemplo: a amplitude do sinal de saída de um receptor de rádio pode ter qualquer valor entre zero e o limite máximo. Outros sistemas analógicos bastante comuns são os amplificadores de áudio, equipamento de gravação e reprodução de fita magnética, e um simples interruptor do tipo *dimmer*.

## Vantagens das Técnicas Digitais

Uma crescente maioria das aplicações na eletrônica, bem como em muitas outras áreas, utiliza técnicas digitais para realizar operações anteriormente realizadas através de métodos analógicos. As principais razões da mudança para técnicas digitais são:

1. *Sistemas digitais geralmente são mais fáceis de projetar.* Isto se deve ao fato de que os circuitos utilizados são *circuitos de chaveamento*, em que os valores *exatos* de tensão ou corrente não são importantes, mas apenas o intervalo (ALTO ou BAIXO) no qual eles se localizam.
2. *Fácil armazenamento de informação.* Isto é alcançado por circuitos de chaveamento especiais, capazes de capturar a informação e guardá-la pelo tempo que for necessário.
3. *Maior exatidão e precisão.* Sistemas digitais podem manipular quantos dígitos de precisão forem necessários, para o que basta adicionar um número maior de circuitos de chaveamento. Em sistemas analógicos, a precisão está geralmente limitada a três ou quatro dígitos, porque os valores de corrente e tensão são diretamente dependentes dos valores dos componentes dos circuitos e também são afetados por flutuações randômicas (ruído).
4. *A operação do sistema pode ser programada.* É bastante simples projetar sistemas digitais cuja operação pode ser controlada por um conjunto de instruções, constituindo um *programa*. À medida que a tecnologia avança, a programação de sistemas vem se tornando cada vez mais simples. Sistemas analógicos também podem ser *programados*; entretanto, a variedade e a complexidade das operações disponíveis são bastante limitadas.
5. *Circuitos digitais são menos afetados pelo ruído.* Flutuações espúrias na tensão (ruído) não são tão críticas em sistemas digitais porque o valor exato da tensão não é tão importante, desde que a amplitude do ruído também não seja tão grande que nos impeça de distinguir corretamente os níveis lógicos.
6. *Um maior número de circuitos digitais pode ser colocado em um circuito integrado.* É verdade que circuitos analógicos também foram beneficiados com o grande desenvolvimento da tecnologia de fabricação de circuitos integrados, mas sua complexidade e a utilização de componentes economicamente inviáveis de serem integrados (capacitores de alto valor, resistores de precisão, indutores, transformadores) têm impedido que sistemas analógicos alcancem o mesmo nível de integração.

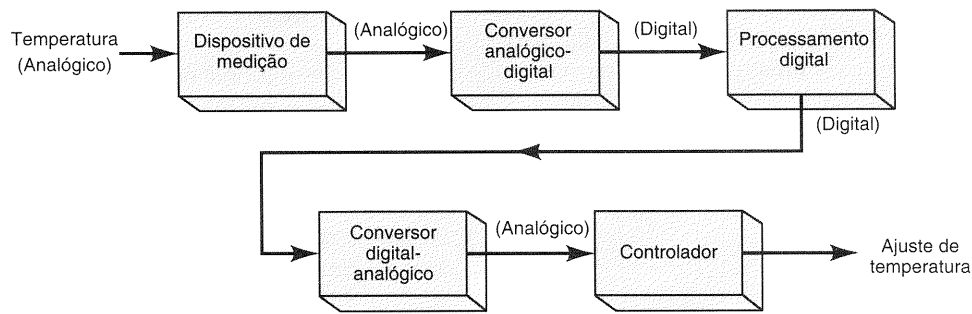
## Limitações das Técnicas Digitais

Realmente existe apenas uma única desvantagem quando utilizamos técnicas digitais:

### O mundo real é quase totalmente analógico.

A maioria das quantidades físicas é originalmente analógica, e elas são freqüentemente as entradas e saídas monitoradas, operadas e controladas por um sistema. Alguns exemplos são temperatura, pressão, posição, velocidade, nível de líquidos, vazão etc. Estamos habituados a expressar estas quantidades *digitalmente*, de modo que quando dizemos que a temperatura é de 64° (63,8° se quisermos ser mais

\*As respostas das questões de revisão podem ser encontradas no fim de cada capítulo.



**Fig. 1-1** Diagrama de blocos de um sistema de controle de temperatura que utiliza técnicas de processamento digital, possíveis graças às conversões analógico-digitais.

precisos) estamos na verdade fazendo uma aproximação digital de uma grandeza inerentemente analógica.

Para tirar proveito das técnicas digitais quando estivermos lidando com entradas e saídas analógicas, três passos devem ser seguidos:

1. Converter as entradas analógicas para a forma digital.
2. Processar a informação digital.
3. Converter as saídas digitais de volta à forma analógica.

A Fig. 1-1 mostra um diagrama de blocos de um típico sistema de controle de temperatura. Como se pode ver no diagrama, a temperatura é medida por um dispositivo analógico e o valor medido é então convertido para uma representação na forma digital por um **conversor analógico-digital (conversor A/D)**. Esta é, então, processada por um circuito digital, que pode incluir ou não um computador digital. A saída digital é então convertida de volta à forma analógica por um **conversor digital-analógico (conversor D/A)**. Esta saída analógica é fornecida como entrada a um controlador que realiza algum tipo de ação para ajustar a temperatura.

Um outro bom exemplo de conversão entre representações nas formas analógicas e digitais é a que se verifica na gravação de áudio. Compact disks (CDs) se sobressaíram e tomaram conta da indústria fonográfica por oferecerem melhores meios de gravação e reprodução de música. O processo de produção e reprodução em CD pode ser descrito genericamente como se segue: (1) os sons dos instrumentos e das vozes produzem uma tensão analógica no microfone; (2) este sinal analógico é convertido em um formato digital, usando um processo de conversão de analógico para digital; (3) a informação digital é armazenada na superfície do CD; (4) durante a reprodução, o CD player coleta a informação digital da superfície do CD e a converte em um sinal analógico, que é amplificado e enviado aos alto-falantes de onde pode ser captado pelo ouvido.

A necessidade de conversão entre formas analógicas e digitais pode ser considerada uma desvantagem por causa do seu custo e complexidade adicionais. Um outro fator que geralmente é importante é o tempo extra necessário para realizar estas conversões. Em muitas aplicações, esses fatores são compensados pelas numerosas vantagens de usarmos técnicas digitais, em razão das quais a conversão entre quantidades digitais e analógicas tornou-se algo bastante comum na tecnologia atual.

Existem situações, entretanto, em que a utilização de técnicas analógicas é mais simples e econômica. Por exemplo: a amplificação de sinais é mais facilmente realizada com o auxílio de circuitos analógicos.

É comum observar as técnicas analógicas e digitais serem utilizadas em um mesmo sistema de modo a se tirar proveito das vantagens de cada uma das técnicas. Nesses sistemas *híbridos*, uma das mais importantes etapas do projeto é determinar em que partes devem ser empregadas as técnicas analógicas e aquelas em que devem ser utilizadas técnicas digitais.

## O Futuro É Digital

É bastante seguro prever que a maioria dos futuros avanços em muitas (senão em todas) áreas da tecnologia será realizada no domínio digital. O ritmo acelerado desses avanços pode inclusive exceder o crescimento fenomenal que tem sido verificado nos últimos anos — um período em que vimos: 35% das famílias americanas e 50% dos jovens na faixa dos 13 aos 19 anos com computadores pessoais em casa; aproximadamente 30 milhões de pessoas na Internet; 90% de todos os computadores pessoais vendidos em 1995 possuíam modems e unidades de CD-ROM; automóveis com 50 microprocessadores; microprocessadores presentes nas coisas mais comuns, desde torradeiras, termostatos e cartões de cumprimentos até secretárias eletrônicas, videocassetes e máquinas de lavar. E o futuro nos promete ainda mais. No início do século vinte e um, suas abotoaduras ou seus brincos poderão se comunicar com outros, através de satélites, e terão mais poder computacional do que o computador que você possui hoje em casa ou no escritório. Telefones serão capazes de receber, ordenar e talvez até responder chamadas, como um secretária bem-treinada. Na escola, crianças serão capazes de colher idéias e informações e entrar em contato com outras crianças de todo o mundo. Quando você assistir televisão por uma hora, o que estará vendo foi transmitido para sua casa em menos de um segundo e armazenado na memória do computador presente na sua TV, para ser visto de acordo com a sua conveniência. Ler sobre um lugar a 8.000 km de distância pode incluir uma experiência sensorial de estar lá. E isto é apenas a ponta do *iceberg*.\*

\*As informações e previsões futurísticas citadas aqui foram extraídas do livro *Being Digital*, de Nicholas Negroponte, Vintage Books, 1995, pp. 5-7.

Em outras palavras, a tecnologia digital vai continuar a invadir rapidamente o cotidiano de nossas vidas, bem como vai alcançar novas fronteiras que talvez não tenhamos nem sequer imaginado. Tudo o que podemos fazer é aprender o máximo possível sobre esta tecnologia, agüentar firme e aproveitar a viagem.

### Questões de Revisão

1. Quais são as vantagens das técnicas digitais sobre as analógicas?
2. Qual é a maior limitação que existe para se usar técnicas digitais?

## 1-3 SISTEMAS DE NUMERAÇÃO DIGITAL

Muitos sistemas de numeração são usados na tecnologia digital. Os mais comuns são o decimal, o binário, o octal e o hexadecimal. O sistema decimal é naturalmente o sistema mais familiar para todos, uma vez que ele é uma ferramenta que utilizamos todos os dias. Examinar algumas de suas características nos ajudará a obter uma melhor compreensão dos outros sistemas.

### Sistema Decimal

O **sistema decimal** é composto de 10 algarismos ou símbolos. Estes 10 símbolos são 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9. Utilizando estes símbolos como *dígitos* de um número, podemos expressar qualquer quantidade. O sistema decimal é também chamado de sistema de *base 10* porque possui 10 dígitos e evoluiu naturalmente do fato de que as pessoas têm 10 dedos. De fato, a palavra “dígito” é derivada da palavra latina usada para denominar “dedo”.

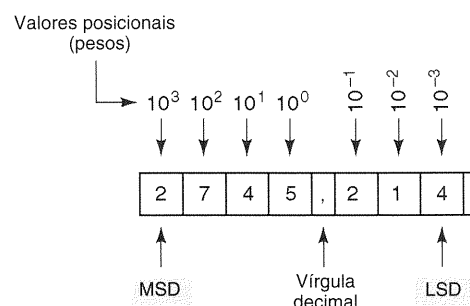
O sistema decimal é um sistema de *valor posicional*, isto é, um sistema no qual o valor do dígito depende de sua posição. Por exemplo: considere o número decimal 453. Sabemos que o dígito 4, na verdade, representa 4 *centenas*; o 5 representa 5 *dezenas* e o 3 representa 3 *unidades*. Em essência, o 4 possui o maior peso dos três dígitos; a ele nos referimos como *dígito mais significativo* (MSD — *Most Significant Digit*). O 3 possui o menor peso e é chamado de *dígito menos significativo* (LSD — *Least Significant Digit*).

Considere um outro exemplo, 27,35. Este número é na verdade igual a 2 dezenas mais 7 unidades mais 3 décimos mais 5 centésimos, ou  $2 \times 10 + 7 \times 1 + 3 \times 0,1 + 5 \times 0,01$ . A vírgula decimal é usada para separar a parte inteira da parte fracionária do número.

De modo mais rigoroso, as várias posições relativas à vírgula decimal possuem pesos que podem ser expressos em potências de 10. Isto pode ser visto na Fig. 1-2, onde o número 2745,214 está representado. A vírgula decimal separa as potências positivas de 10 daquelas que são negativas. O número 2745,214 é então igual a

$$(2 \times 10^3) + (7 \times 10^2) + (4 \times 10^1) + (5 \times 10^0) + (2 \times 10^{-1}) + (1 \times 10^{-2}) + (4 \times 10^{-3})$$

Em geral, qualquer número é simplesmente a soma dos produtos de cada valor do dígito pelo seu peso devido à sua posição.



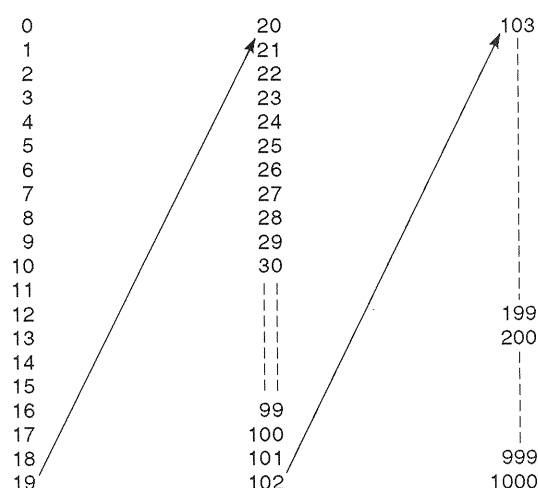
**Fig. 1-2** Valores posicionais do sistema de numeração decimal são potências de 10.

### Contagem Decimal

Quando fazemos uma contagem no sistema decimal, começamos com 0 na posição das unidades e vamos tomando cada símbolo em progressão até atingirmos 9. Quando isto acontece, adicionamos 1 à posição de maior peso e mais próxima e começamos de novo com 0, na primeira posição (veja a Fig. 1-3). Este processo continua até que a contagem de 99 seja alcançada. Neste momento, adicionamos 1 à terceira posição e começamos de novo com 0 nas duas primeiras posições. Este procedimento pode ser seguido continuamente, qualquer que seja o número que desejemos contar.

É importante notar que, na contagem decimal, a posição correspondente às unidades (LSD) troca de valor a cada passo da contagem; a posição correspondente às dezenas muda a cada 10 passos da contagem, a posição correspondente às centenas muda a cada 100 passos da contagem e assim por diante.

Outra característica do sistema decimal é que, se utilizarmos dois dígitos, podemos contar até  $10^2 = 100$  números diferentes (0 a 99);\* utilizando 3 dígitos, podemos contar



**Fig. 1-3** Contagem decimal.

\*Zero é contado como um número.

até 1000 números (0 a 999), e assim sucessivamente. De modo geral, com  $N$  dígitos, podemos contar até  $10^N$  números distintos, começando do zero e incluindo-o na contagem. O maior número possível será sempre igual a  $10^N - 1$ .

## Sistema Binário

Infelizmente, o sistema decimal não se presta para ser implementado satisfatoriamente em sistemas digitais. Por exemplo: é bastante difícil projetar um equipamento eletrônico que possa trabalhar com 10 níveis diferentes de tensão (um para cada algarismo decimal, do 0 ao 9). Por outro lado, é muito fácil implementar circuitos eletrônicos simples e precisos que operem somente com dois níveis de tensão. Por esta razão, quase todo sistema digital usa o sistema de numeração binário (base 2) como sistema de numeração básico para suas operações, embora outros sistemas de numeração, às vezes, sejam usados em conjunção com o sistema binário.

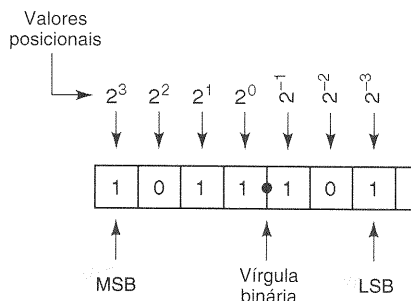
No **sistema binário** existem apenas dois símbolos ou valores possíveis para os dígitos, 0 e 1. Ainda assim, este sistema de base 2 pode ser usado para representar qualquer valor que possa ser representado no sistema decimal ou em qualquer outro sistema. Entretanto, de um modo geral, ele utilizará um número maior de dígitos binários para expressar um dado valor.

Todas as afirmações feitas anteriormente em relação ao sistema decimal são aplicáveis do mesmo modo ao sistema binário. O sistema binário também é um sistema de valor posicional, onde cada dígito binário possui seu próprio valor ou peso expresso como uma potência de dois. Isto é ilustrado na Fig. 1-4.

Na figura, as posições à esquerda da *vírgula binária* (contrapartida da vírgula decimal) representam as potências positivas de 2, e as posições à direita representam as potências negativas de 2. O número 1011,101 é mostrado na figura. Para encontrar o seu equivalente no sistema decimal, simplesmente fazemos a soma dos produtos de cada dígito (0 ou 1) pelo seu respectivo peso.

$$\begin{aligned} 1011,101_2 &= (1 \times 2^3) + (0 \times 2^2) + (1 \times 2^1) + (1 \times 2^0) \\ &\quad + (1 \times 2^{-1}) + (0 \times 2^{-2}) + (1 \times 2^{-3}) \\ &= 8 + 0 + 2 + 1 + 0,5 + 0 + 0,125 \\ &= 11,625_{10} \end{aligned}$$

Observe que na operação anterior os índices (2 e 10) são usados para indicar a base na qual o número em questão está expresso. Esta convenção é usada para evitar confusão



**Fig. 1-4** Valores posicionais do sistema de numeração binário são potências de 2.

sempre que mais de um sistema de numeração estiver sendo empregado.

No sistema binário, o termo *dígito binário* é geralmente abreviado para **bit** (*binary digit*), que usaremos daqui por diante. Assim, para o número mostrado na Fig. 1-4 existem quatro dígitos à esquerda da vírgula binária, representando a parte inteira do número, e três bits à direita, representando a parte fracionária. O bit mais significativo (MSB — *Most Significant Bit*) é o bit mais à esquerda (o de maior peso). O bit menos significativo (LSB — *Least Significant Bit*) é o bit mais à direita (o de menor peso). Estes bits estão indicados na Fig. 1-4.

## Contagem Binária

Quando lidamos com números binários, geralmente iremos nos restringir a um número específico de bits. Esta restrição é baseada no conjunto de circuitos que está sendo usado para representar estes números binários. Vamos usar números de 4 bits para ilustrar o método para a contagem em binário.

A sequência (mostrada na Fig. 1-5) começa com todos os bits em 0; é a chamada *contagem zero*. Para cada contagem sucessiva, a posição referente às unidades ( $2^0$ ) comuta, isto é, ela troca o seu valor binário pelo outro. Cada vez que o bit das unidades trocar de 1 para 0, a posição de peso dois ( $2^1$ ) vai comutar (trocar de estado). Cada vez que o bit da posição de peso dois mudar de 1 para 0, o bit da posição de peso quatro ( $2^2$ ) vai comutar (mudar de estado). Do mesmo modo, cada vez que o bit da posição de peso quatro mudar de 1 para 0, o bit da posição de peso oito ( $2^3$ ) comuta (muda de estado). Este processo continuaria para os bits de mais alta ordem, se o número binário tivesse mais do que quatro bits.

A sequência de contagem binária tem outra importante característica, como está mostrado na Fig. 1-5. O bit das unidades (LSB) muda de 0 para 1 ou de 1 para 0 a *cada* contagem. O segundo bit (posição de peso dois) fica em 0 por duas contagens e depois em 1 por duas contagens, e

Pesos →	$2^3 = 8$	$2^2 = 4$	$2^1 = 2$	$2^0 = 1$	Decimal equivalente
	0	0	0	0	0
	0	0	0	1	1
	0	0	1	0	2
	0	0	1	1	3
	0	1	0	0	4
	0	1	0	1	5
	0	1	1	0	6
	0	1	1	1	7
	1	0	0	0	8
	1	0	0	1	9
	1	0	1	0	10
	1	0	1	1	11
	1	1	0	0	12
	1	1	0	1	13
	1	1	1	0	14
	1	1	1	1	15

**Fig. 1-5** Sequência de contagem binária.

depois em 0 por mais duas contagens e assim sucessivamente. O terceiro bit fica em 0 por quatro contagens e depois fica em 1 por quatro contagens e assim sucessivamente. O quarto bit (posição de peso oito) fica em 0 por oito contagens e depois fica em 1 por oito contagens. Se desejássemos continuar a contagem, adicionaríamos mais bits, e este padrão continuaria com grupos de 0s e 1s alternando-se em grupos de  $2^{N-1}$ . Por exemplo: usando o quinto bit, teríamos este alternando dezesseis 0s com dezesseis 1s e assim por diante.

Como vimos no sistema decimal, também é verdade para o sistema binário que usando  $N$  bits possamos contar até  $2^N$  contagens. Por exemplo: com dois bits, podemos contar até  $2^2 = 4$  contagens ( $00_2$  até  $11_2$ ); com quatro bits, podemos contar até  $2^4 = 16$  contagens ( $0000_2$  até  $1111_2$ ), e assim por diante. A última contagem sempre terá todos os bits iguais a 1 e será igual a  $2^N - 1$  no sistema decimal. Por exemplo: usando quatro bits, a última contagem será  $1111_2 = 2^4 - 1 = 15_{10}$ .

### EXEMPLO 1-2

Qual é o maior número que pode ser representado usando oito bits?

#### Solução

$$2^N - 1 = 2^8 - 1 = 255_{10} = 11111111_2.$$

Esta foi uma breve introdução ao sistema de numeração binário e sua relação com o sistema decimal. Vamos despendar muito mais tempo nestes dois sistemas e em vários outros no próximo capítulo.

#### Questões de Revisão

1. Qual é o número decimal equivalente a  $1101011_2$ ?
2. Qual é o próximo número binário que se segue a  $10111_2$  na sequência de contagem?
3. Qual é o maior valor decimal que pode ser representado usando-se 12 bits?

## 1-4 REPRESENTAÇÃO DE QUANTIDADES BINÁRIAS

Em sistemas digitais, a informação que está sendo processada geralmente se apresenta sob forma binária. Quanti-

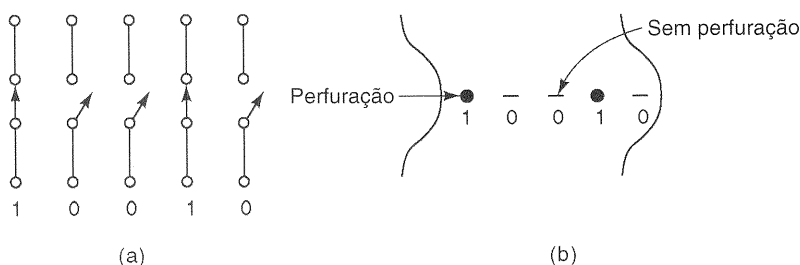
dades binárias podem ser representadas por qualquer dispositivo que apresente apenas dois estados de operação ou condições possíveis. Por exemplo: uma chave possui apenas dois estados: aberta ou fechada. Podemos arbitrar que uma chave aberta represente o dígito binário 0, ou simplesmente binário 0, e a chave fechada represente o binário 1. A partir destas indicações, podemos representar qualquer número binário como está mostrado na Fig. 1-6(a), em que os estados das várias chaves representam  $10010_2$ .

Um outro exemplo é mostrado na Fig. 1-6(b), em que as perfurações no papel são usadas para representar números binários. Um furo representa o binário 1, e a ausência de furo representa o binário 0.

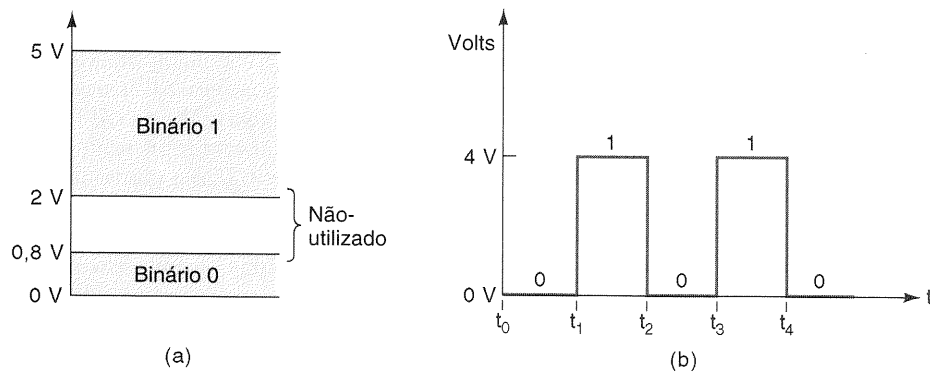
Existem vários outros dispositivos que possuem apenas dois estados de operação, ou que podem ser operados apenas em condições extremas. Entre estes podemos citar: lâmpada elétrica (acesa ou escura), diodo (conduzindo ou não conduzindo), relé (energizado ou desenergizado), transistor (cortado ou saturado), célula fotoelétrica (iluminada ou escura), termostato (aberto ou fechado), embreagem mecânica (engrenada ou desengrenada) e um ponto específico de um disco magnético (magnetizado ou desmagnetizado).

Em sistemas digitais eletrônicos, a informação binária é representada por tensões (ou correntes) que estão presentes nas entradas e saídas dos vários circuitos. Tipicamente, os 0 e 1 binários são representados por dois níveis de tensão. Por exemplo: zero volts (0 V) poderia representar o binário 0, e +5 V poderia representar o binário 1. Na verdade, devido a variações nos circuitos, os binários 0 e 1 são representados por intervalos de tensão. Isto está mostrado na Fig. 1-7(a), onde qualquer tensão entre 0 e 0,8 V representa o binário 0 e qualquer tensão entre 2 e 5 V representa o binário 1. Todas as entradas e saídas normalmente estarão em um destes intervalos, exceto durante transições de um nível para o outro.

Agora, podemos notar uma significativa diferença entre sistemas analógicos e digitais. Nos sistemas digitais, o valor exato da tensão *não* é importante. Assim, para as tensões mostradas na Fig. 1-7(a), uma tensão de 3,6 V significa o mesmo que uma tensão de 4,3 V. Em sistemas analógicos, o valor exato da tensão *é* importante. Por exemplo, se uma tensão é proporcional à temperatura medida por um transdutor, 3,6 V representaria uma temperatura diferente de 4,3 V. Em outras palavras, o valor da tensão possui informação significativa. Esta característica significa que o projeto de circuitos analógicos precisos é geralmente mais difícil do que o projeto de circuitos digitais, em razão do modo pelo qual os valores exatos de tensões são afetados por variações em valores de componentes, pela temperatura e pelo ruído (flutuações randômicas de tensão).



**Fig. 1-6** Representação de números binários utilizando (a) chaves e (b) perfurações em uma fita de papel.



**Fig. 1-7** (a) Indicação de intervalos de tensão típicos para binários 0 e 1; (b) típico diagrama de tempo de um sinal digital.

## Sinais Digitais e Diagramas de Tempo

A Fig. 1-7(b) mostra um sinal digital típico e como este varia no tempo. Isto é na verdade um gráfico de tensão *versus* tempo ( $t$ ) e é chamado de **diagrama de tempo**. A escala horizontal do tempo é graduada em intervalos regulares, começando em  $t_0$  e depois em  $t_1$ ,  $t_2$  e assim por diante. Para o exemplo de diagrama de tempo mostrado aqui, o sinal começa em 0 V (0 binário) em  $t_0$  e aí permanece até  $t_1$ . Em  $t_1$ , o sinal faz uma rápida transição (um salto) até atingir 4 V (1 binário). Em  $t_2$ , ele volta a 0 V. Transições semelhantes ocorrem em  $t_3$  e  $t_4$ .

As transições no diagrama de tempo são desenhadas como linhas verticais, de modo que elas parecem ser instantâneas quando na realidade não o são. Entretanto, em muitas situações a duração das transições é tão pequena quando comparada com o intervalo de tempo decorrido entre transições que podemos representar essas últimas como linhas verticais no diagrama. Encontraremos mais tarde situações em que será necessário mostrar as transições de modo mais exato, em uma escala de tempo expandida.

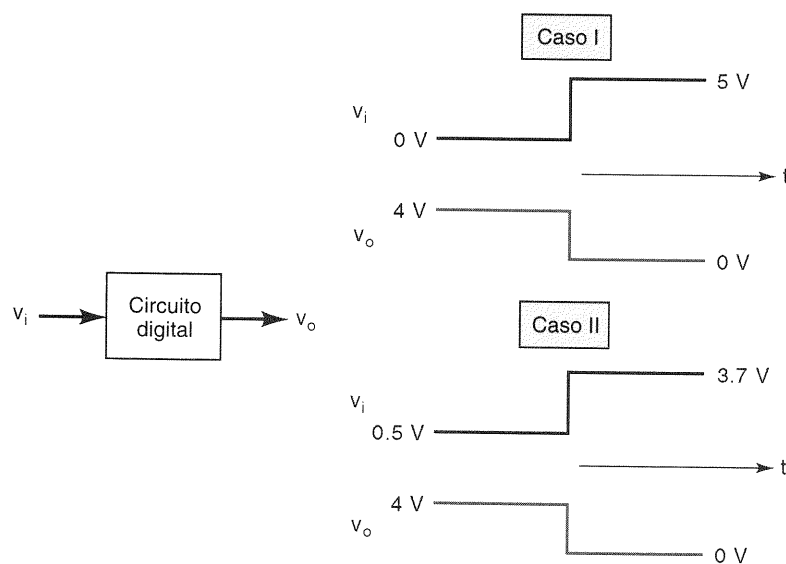
Diagramas de tempo são bastante utilizados para mostrar como os sinais digitais variam com o tempo, e especialmente para mostrar a relação entre dois ou mais sinais digitais no

mesmo circuito ou sistema. Utilizando um *osciloscópio* ou um *analisador lógico* para observar os sinais digitais, podemos compará-los com o diagrama de tempo esperado. Este procedimento é uma parte muito importante dos métodos de teste e reparo usados em sistemas digitais.

## 1-5 CIRCUITOS DIGITAIS/CIRCUITOS LÓGICOS

**Circuitos digitais** são projetados para produzir tensões de saída que estejam dentro dos intervalos determinados para os binários 0 e 1, como aqueles definidos na Fig. 1-7. Da mesma maneira, circuitos digitais são projetados para responder, de modo previsível, a tensões de entrada que estejam dentro dos intervalos definidos para 0 e 1. Isto significa que um circuito digital responderá do mesmo modo a todas as tensões de entrada que estiverem dentro do intervalo permitido para o 0; de maneira semelhante, ele não distinguirá entre tensões de entrada que estejam dentro do intervalo permitido para 1.

Para ilustrar este fato, a Fig. 1-8 representa um típico circuito digital, com entrada  $v_i$  e saída  $v_o$ . Mostramos a saída



**Fig. 1-8** Um circuito digital responde a um nível binário (0 ou 1), e não ao valor exato da tensão de entrada.



correspondente a dois sinais de entrada diferentes. Observe que  $v_o$  é o mesmo em ambos os casos, porque embora as duas formas de onda de entrada possuam diferentes valores de tensão, elas possuem o mesmo valor binário.

## Circuitos Lógicos

A maneira pela qual um circuito digital responde a uma entrada é chamada de *lógica* do circuito. Cada tipo de circuito digital obedece a um determinado conjunto de regras lógicas. Por esta razão, circuitos digitais também são chamados **circuitos lógicos**. Usaremos ambos os termos de modo intercambiável ao longo do texto. No Cap. 3, veremos mais claramente o que se quer dizer por “lógica” de um circuito.

Estudaremos todos os tipos de circuitos lógicos que são atualmente utilizados em circuitos digitais. Inicialmente, nossa atenção estará concentrada apenas nas operações lógicas que estes circuitos realizam, isto é, estaremos interessados apenas na relação entre a entrada e a saída do circuito. Adiaremos qualquer discussão de como os circuitos lógicos operam internamente até termos desenvolvido uma boa compreensão das suas operações lógicas.

## Circuitos Integrados Digitais

Quase todos os circuitos digitais existentes nos sistemas digitais modernos são circuitos integrados (CIs). A grande variedade de CIs lógicos disponível tornou possível a construção de sistemas digitais complexos menores e mais confiáveis do que aqueles construídos com circuitos lógicos discretos.

Existem diversas tecnologias de fabricação utilizadas para produzir CIs digitais, e as mais comuns são: TTL, CMOS, NMOS e ECL. Cada uma difere da outra no tipo de circuitos que são utilizados para obter a operação lógica desejada. Por exemplo, a tecnologia TTL (*Transistor-Transistor Logic*) utiliza o transistor bipolar como elemento principal, enquanto a CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) usa o MOSFET do tipo enriquecimento como elemento principal. Aprenderemos sobre as várias tecnologias de CIs, suas características, suas vantagens e desvantagens após termos dominado os tipos básicos de circuitos lógicos.

### Questão de Revisão

1. *Verdadeiro ou falso:* O valor exato da tensão de entrada é crítico para um circuito digital.
2. Um circuito digital pode produzir a mesma tensão de saída para diferentes valores de tensão de entrada?
3. Um circuito digital também é chamado de circuito —
4. Um gráfico que mostra como um ou mais sinais digitais variam em função do tempo é chamado —

## 1-6 TRANSMISSÃO PARALELA E SERIAL

Uma das operações mais comuns que ocorrem em sistemas digitais é a transmissão da informação de um lugar para ou-

tro. A informação pode ser transmitida através de uma distância tão pequena quanto alguns centímetros, numa mesma placa de circuito, ou tão grande quanto uma distância de muitos quilômetros quando um operador, num terminal de computador, está se comunicando com um computador em outra cidade. A informação que é transmitida está na forma binária e é geralmente representada por tensões nas saídas de um circuito emissor, que estão conectadas nas entradas de um circuito receptor. A Fig. 1-9 ilustra os dois métodos básicos para transmissão da informação digital: o **paralelo** e o **serial**.

A Fig. 1-9(a) mostra como o número binário 10110 é transmitido do circuito *A* para o circuito *B*, usando transmissão paralela. Cada bit do número binário é representado por uma das saídas do circuito *A*, onde a saída  $A_4$  é o MSB e  $A_0$  é o LSB. Cada uma das saídas do circuito *A* está conectada na entrada correspondente do circuito *B*, portanto todos os cinco bits de informação são transmitidos simultaneamente (em paralelo).

Na Fig. 1-9(b) existe apenas uma conexão do circuito *A* para o circuito *B*, quando a transmissão serial é usada. Neste caso, a saída do circuito *A* produzirá um sinal digital cujo nível de tensão mudará em intervalos regulares de acordo com o número binário transmitido. Desse modo, a informação está sendo transmitida na base de um bit por vez (serialmente), através de uma linha de sinal. O diagrama de tempo na Fig. 1-9(b) mostra como o nível do sinal varia com o tempo. Durante o primeiro intervalo de tempo,  $T_0$ , o sinal está no nível 0; durante o intervalo  $T_1$ , o sinal está no nível 1, e assim por diante.

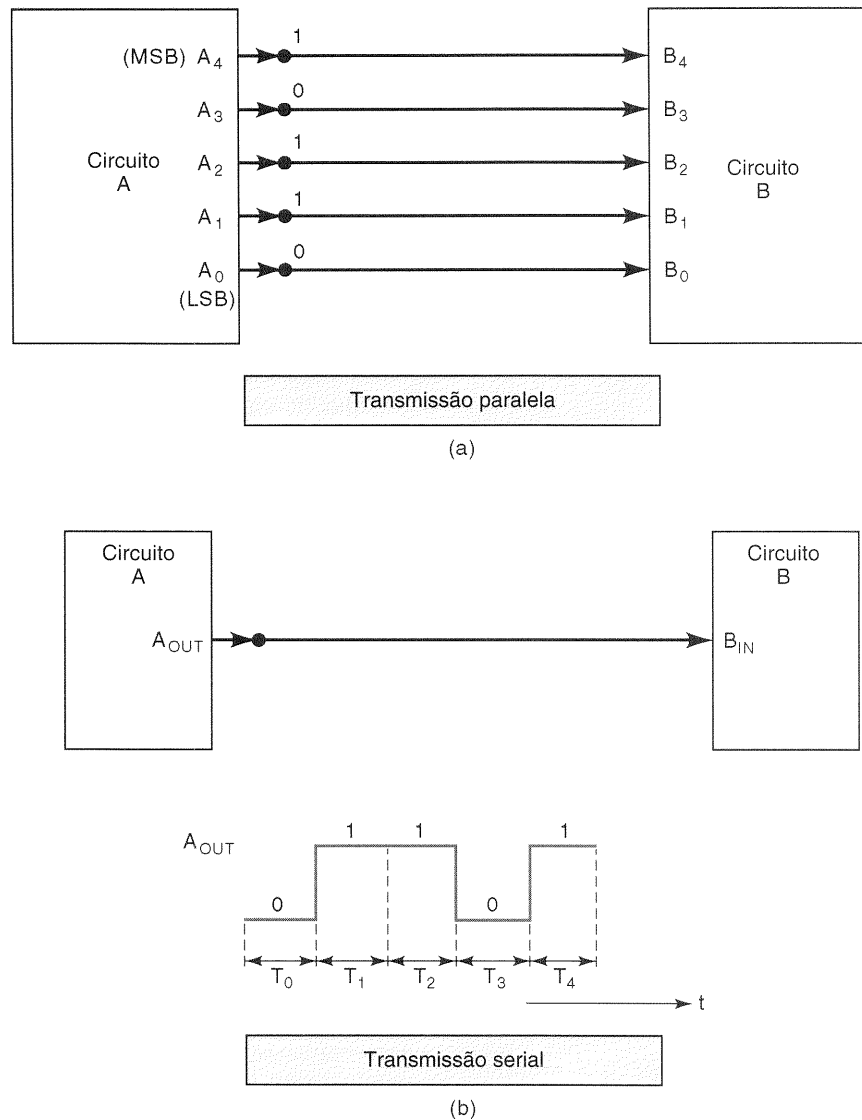
O principal compromisso entre as representações paralela e serial está relacionado com a velocidade e a simplicidade do circuito. A transmissão de dados binários, de uma parte de um sistema digital para outra, pode ser feita mais rapidamente usando a representação paralela, porque todos os bits são transmitidos simultaneamente, enquanto a representação serial transmite um bit por vez. Por outro lado, a paralela requer mais linhas de sinal conectadas entre o emissor e o receptor dos dados binários do que a serial. Em outras palavras, a paralela é mais rápida, e a serial requer menos linhas de sinal. Esta comparação entre os métodos paralelo e serial, para representar a informação binária, será encontrada muitas vezes em discussões ao longo do texto.

### Questão de Revisão

1. Descreva as vantagens relativas da transmissão paralela e serial de dados binários.

## 1-7 MEMÓRIA

Quando um sinal de entrada é aplicado na maioria dos dispositivos ou circuitos, a saída de algum modo muda em resposta à entrada, e quando o sinal de entrada é removido a saída retorna ao seu estado original. Estes circuitos não exibem a propriedade de *memória*, já que suas saídas voltam ao normal. Nos circuitos digitais, certos tipos de dispositivos e circuitos têm memória. Quando uma entrada é aplicada em tal circuito, a saída mudará seu estado, mas per-



**Fig. 1-9** (a) A transmissão paralela utiliza uma linha de conexão por bit, e todos eles são transmitidos simultaneamente; (b) a transmissão serial utiliza apenas uma linha de conexão, na qual cada bit é transmitido serialmente (um bit de cada vez).

manecerá neste novo estado mesmo após a entrada ter sido removida. Esta propriedade de reter sua resposta a uma entrada momentânea é chamada **memória**. A Fig. 1-10 ilustra as operações sem memória e com memória.

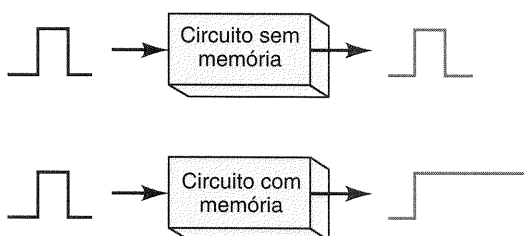
Dispositivos e circuitos de memória têm um importante papel em sistemas digitais, porque eles fornecem meios para armazenar números binários tanto temporária quanto per-

manentemente, com a capacidade de alterar a informação armazenada a qualquer momento. Como veremos, os vários elementos de memória incluem os tipos magnéticos e aqueles que utilizam circuitos eletrônicos de retenção (chamados *latches* e *flip-flops*).

## 1-8 COMPUTADORES DIGITAIS

As técnicas digitais são aplicadas em inúmeras áreas da tecnologia, mas a área dos **computadores digitais** é de longe a mais ampla e notável. Embora os computadores digitais afetem parte da vida de todos, muitos de nós não sabemos exatamente o que um computador faz. Em termos simples, *um computador é um sistema de hardware que realiza operações aritméticas, manipula dados (usualmente na forma binária) e toma decisões*.

Na maioria das vezes, os seres humanos podem fazer o que os computadores fazem, mas os computadores podem fazê-lo



**Fig. 1-10** Comparação de operações com e sem memória.

com uma velocidade e exatidão muito maiores. Isto ocorre apesar de os computadores realizarem todos os cálculos e operações em passos distintos e um de cada vez. Por exemplo: um ser humano pode pegar uma lista de 10 números e calcular a soma geral em uma operação, listando os números um sobre o outro e somando coluna a coluna. Um computador, por outro lado, pode somar os números apenas dois de cada vez; portanto, para somar a mesma lista de números ele executará, na verdade, nove passos de soma. Naturalmente, o fato de o computador necessitar de apenas um microssegundo ou menos para cada passo disfarça esta aparente ineficiência.

Um computador é mais rápido e mais exato do que pessoas, mas, diferentemente da maioria delas, deve ser dado a ele um conjunto completo de instruções que descreva *exatamente* o que fazer a cada passo de sua operação. Este conjunto de instruções, chamado um **programa**, é preparado por uma ou mais pessoas para cada tarefa que o computador deve fazer. Programas são colocados na unidade de memória do computador, codificados em forma binária, tendo cada instrução um código único. O computador toma estes códigos de instruções da memória *um por vez* e realiza a operação associada ao código. Diremos muito mais sobre isto mais adiante.

## Partes Principais de um Computador

Existem vários tipos de sistemas computacionais, mas cada um pode ser subdividido nas mesmas unidades funcionais. Cada unidade realiza funções específicas, e todas as unidades funcionam em conjunto para executar as instruções do programa. A Fig. 1-11 mostra as cinco principais partes funcionais de um computador digital e suas interações. As linhas sólidas com setas representam o fluxo de dados e informações. As linhas tracejadas com setas representam o fluxo de sinais de controle e temporização.

As principais funções de cada unidade são:

**1. Unidade de entrada.** Através desta unidade, um conjunto completo de instruções e dados é fornecido para o sistema computacional e para a unidade de memória, para ser armazenado enquanto for preciso. A informação é geralmente apresentada na unidade de entrada por um teclado ou por um disco.

**2. Unidade de memória.** A memória armazena as instruções e os dados recebidos da unidade de entrada. Ela armazena os resultados das operações aritméticas recebidos da unidade aritmética. Ela também fornece informação para a unidade de saída.

**3. Unidade de controle.** Esta unidade toma as instruções da unidade de memória, uma de cada vez, e as interpreta. Ela então gera os sinais apropriados a todas as outras unidades para causar a execução da instrução específica.

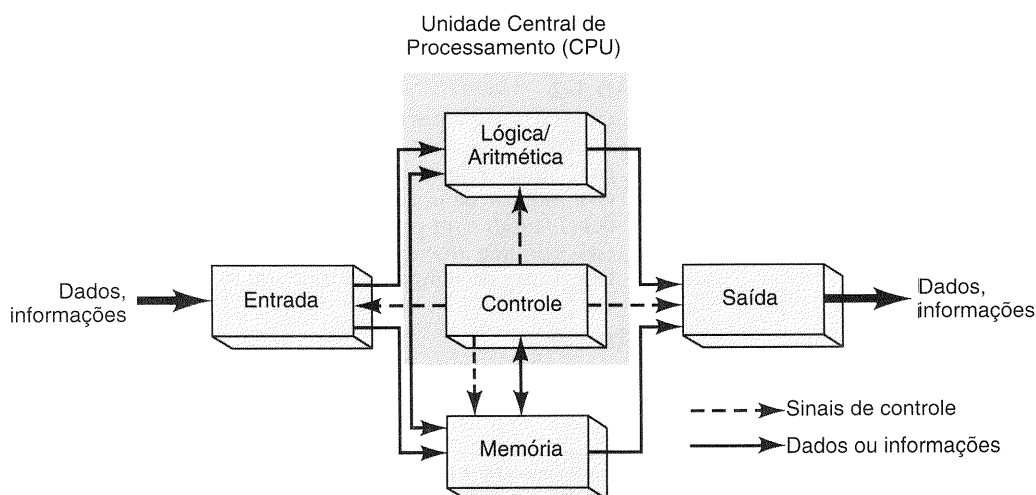
**4. Unidade lógica/aritmética.** Todos os cálculos aritméticos e as decisões lógicas são efetuados nesta unidade, cujos resultados podem então ser enviados para a unidade de memória para serem armazenados.

**5. Unidade de saída.** Esta unidade recebe dados da unidade de memória e imprime, mostra, ou então apresenta a informação para o operador (ou processo, no caso de um computador para controle de processos).

## Unidade Central de Processamento (CPU — Central Processing Unit)

Conforme mostra o diagrama na Fig. 1-11, as unidades de controle e lógica/aritmética são freqüentemente consideradas uma unidade chamada **unidade central de processamento (CPU)**. A CPU contém todos os circuitos para buscar e interpretar instruções e para controlar e realizar as várias operações requeridas pelas instruções.

**TIPOS DE COMPUTADORES** Todos os computadores são formados com as unidades básicas descritas anteriormente, mas podem diferir quanto ao tamanho físico, velocidade de operação, capacidade de memória e poder computacional, dentre outras características. Computadores são freqüentemente classificados de acordo com o tamanho físico, o que geralmente, mas nem sempre, é uma indicação de suas capacidades relativas. As três classificações básicas, do menor para o maior, são: *microcomputador*, *minicomputador (estação de trabalho)* e *mainframe*. Como os microcomputadores têm se tornado mais e mais poderosos, a distinção entre microcomputadores e minicomputadores tornou-se bastante nebulosa, e começou-se a distinguir apenas computadores pequenos — aqueles que cabem num escritório ou numa mesa ou no colo — e computadores grandes — aqueles que são grandes de-



**Fig. 1-11** Diagrama funcional de um computador digital.

mais para estes locais. Neste livro, trataremos principalmente dos microcomputadores.

Um **microcomputador** é o menor tipo de computador. Geralmente consiste em várias pastilhas de CIs, incluindo a do **microprocessador**, pastilhas de memória e pastilhas para interface de entrada e saída, além de dispositivos de entrada e saída, tais como teclado, monitor de vídeo, impressora e unidades de disco. Os microcomputadores foram desenvolvidos como resultado dos tremendos avanços na tecnologia de fabricação de CIs, os quais tornaram possível integrar mais e mais circuitos digitais numa pequena pastilha. Por exemplo: a pastilha do microprocessador contém — no mínimo — todos os circuitos que implementam a porção CPU do computador, isto é, a unidade de controle e a unidade lógica/aritmética. O microprocessador, em outras palavras, é uma “CPU em uma pastilha”.

A maioria das pessoas está familiarizada com os microcomputadores de propósito geral, como o IBM PC e seus compatíveis, e o Apple Macintosh, que são usados em mais da metade dos lares e em quase todos os ambientes de negócios. Estes microcomputadores podem realizar uma grande variedade de tarefas, numa larga faixa de aplicações, dependendo do software (programas) que eles executam. Existe um tipo mais especializado de microcomputador, denominado **microcontrolador**, que não é um computador de propósito geral. Ao contrário, ele é projetado para ser usado como um *controlador embutido* ou *dedicado*, que ajuda a monitorar e controlar a operação de uma máquina, uma parte de um equipamento ou um processo. Microcontroladores são microcomputadores porque usam uma pastilha de microprocessador como CPU, mas são bem menores do que microcomputadores de propósito geral, porque os dispositivos de entrada e saída que eles usam normalmente são muito menores. De fato, a entrada e a saída — assim como a memória — estão usualmente na mesma pastilha do microprocessador. Estes microcontroladores em uma única pastilha são empregados numa ampla variedade de aplicações de controle, tais como: controle de aparelhos, de máquinas que operam sobre metal, de videocassetes, de máquinas de atendimento automático, de fotocopiadoras, de sistemas de ignição de automóveis, de sistema contra travamento de freios, de instrumentação médica e muito mais.

### Questões de Revisão

1. Explique como um circuito digital que tem memória difere de um que não tem.
2. Relacione as cinco principais unidades funcionais de um computador.
3. Quais as duas unidades que compõem a CPU?
4. Uma pastilha de CI que contém uma CPU é chamada um \_\_\_\_\_.

## RESUMO

1. Os dois modos básicos de representar o valor numérico de quantidades físicas são o analógico (contínuo) e o digital (discreto).
2. A maioria das quantidades do mundo real é analógica, mas técnicas digitais são geralmente superiores a técnicas analógicas,

e a maioria dos avanços previstos deverá ocorrer no domínio digital.

3. O sistema de numeração binário (0 e 1) é o sistema básico usado em tecnologia digital.
4. Circuitos digitais ou lógicos operam com tensões que ficam restritas a faixas que representam ou 0 binário ou 1 binário.
5. Os dois modos básicos de transferir uma informação digital são o paralelo — todos os bits simultaneamente — e o serial — um bit de cada vez.
6. As partes principais de todos os computadores são as unidades de entrada, controle, memória, lógica/aritmética e de saída.
7. A combinação da unidade lógica/aritmética com a de controle forma a CPU (unidade central de processamento).
8. Um microcomputador usualmente tem uma CPU que está em uma única pastilha denominada *microprocessador*.
9. Um microcontrolador é um microcomputador especialmente projetado para aplicações de controle dedicado (não de propósito geral).

## TERMOS IMPORTANTES\*

representação analógica  
representação digital  
sistema digital  
sistema analógico  
conversor analógico-digital (conversor A/D)  
conversor digital-analógico (conversor D/A)  
sistema decimal  
sistema binário  
bit  
diagrama de tempo  
circuitos digitais/lógicos  
paralelo  
serial  
memória  
computador digital  
programa  
unidade de entrada  
unidade de memória  
unidade de controle  
unidade lógica/aritmética  
unidade de saída  
unidade central de processamento (CPU)  
microcomputador  
microprocessador  
microcontrolador

## PROBLEMAS

### SEÇÃO 1-2

- 1-1. Quais das seguintes quantidades são analógicas e quais são digitais?
- (a) Número de átomos numa amostra de material
  - (b) Altitude de um avião
  - (c) Pressão num pneu de bicicleta
  - (d) Corrente através de um alto-falante
  - (e) Ajuste do temporizador de um forno de microondas

### SEÇÃO 1-3

- 1-2. Converta os números binários a seguir em seus equivalentes valores decimais.

\*Estes termos podem ser encontrados em negrito no capítulo e estão definidos no Glossário ao final do livro.

- (a)  $11001_2$
- (b)  $1001,1001_2$
- (c)  $10011011001,10110_2$

- 1-3. Utilizando seis bits, mostre a sequência de contagem binária de 000000 até 111111.
- 1-4. Qual é o número máximo de uma contagem utilizando 10 bits?
- 1-5. Quantos bits são necessários para contar até um máximo de 511?

#### SEÇÃO 1-4

- 1-6. Faça o diagrama de tempo de um sinal digital que continuamente alterna entre 0,2 V (0 binário) durante 2 ms e 4,4 V (1 binário) por 4 ms.

#### SEÇÃO 1-6

- 1-7. Suponha que um valor inteiro decimal de 0 a 15 deve ser transmitido.
- (a) Quantas linhas serão necessárias se a representação paralela for usada?
  - (b) Quantas serão necessárias se a representação serial for usada?

#### SEÇÕES 1-7 E 1-8

- 1-8. Como um microprocessador difere de um microcomputador?
- 1-9. Como um microcontrolador difere de um microcomputador?

## RESPOSTAS PARA AS QUESTÕES DE REVISÃO DAS SEÇÕES

---

#### SEÇÃO 1-1

1. Quantidades analógicas podem assumir *qualquer* valor dentro de uma faixa contínua; quantidades digitais podem assumir apenas valores *discretos*.

#### SEÇÃO 1-2

1. Mais fácil de projetar; mais fácil de armazenar informação; maior exatidão e precisão; mais fácil de programar; menos afetadas por ruído; maior grau de integração
2. As quantidades físicas do mundo real são analógicas.

#### SEÇÃO 1-3

1.  $107_{10}$     2.  $11000_2$     3.  $4095_{10}$

#### SEÇÃO 1-5

1. Falso    2. Sim, desde que as duas tensões de entrada estejam dentro da mesma faixa do nível lógico    3. Lógico    4. Diagrama de tempo

#### SEÇÃO 1-6

1. A paralela é mais rápida; a serial requer apenas uma linha de sinal.

#### SEÇÃO 1-8

1. O que tem memória terá sua saída alterada e *permanecerá* alterada em resposta a uma mudança momentânea no sinal de entrada.    2. Entrada, saída, memória, lógica/aritmética, controle
3. Controle e lógica/aritmética    4. Microprocessador