

O DAC converte os dados digitais em um sinal analógico que é uma reprodução elétrica da música original. Esse sinal é amplificado e enviado ao auto-falante para que as pessoas apreciem. Quando a música é gravada originalmente no CD, um processo essencialmente contrário ao que descrevemos aqui acontece usando um **conversor analógico-digital** (ADC – *analog-to-digital converter*).

SEÇÃO 1-1 REVISÃO

As respostas estão no final do capítulo.

1. Escreva o significado de *analógico*.
2. Escreva o significado de *digital*.
3. Explique a diferença entre uma grandeza digital e uma grandeza analógica.
4. Cite um exemplo de um sistema analógico e de um outro sistema que combina técnicas analógicas e digitais. Cite também um sistema totalmente digital.

1-2 DÍGITOS BINÁRIOS, NÍVEIS LÓGICOS E FORMAS DE ONDA DIGITAIS

A eletrônica digital envolve circuitos e sistemas nos quais existem apenas dois estados possíveis. Esses estados são representados por dois níveis de tensão diferentes: um ALTO e um BAIXO. Os dois estados também podem ser representados por níveis de corrente, bits e ressaltos num CD ou DVD, etc. Em sistemas digitais tais como computadores, as combinações de dois estados, denominadas *códigos*, são usadas para representar números, símbolos, caracteres alfabéticos e outros tipos de informações. O sistema de numeração de dois estados é denominado de *binário* e os seus dois dígitos são 0 e 1. Um dígito binário é denominado de *bit*.

Ao final do estudo desta seção você deverá ser capaz de:

- Definir *binário* ■ Definir *bit* ■ Especificar os bits num sistema binário ■ Explicar como os níveis de tensão são usados para representar bits ■ Explicar como os níveis de tensão são interpretados por um circuito digital ■ Descrever as características gerais de um pulso ■ Determinar a amplitude, o tempo de subida, o tempo de descida e a largura de um pulso ■ Identificar e descrever as características de uma forma de onda digital ■ Determinar a amplitude, o período, a frequência e o ciclo de trabalho de uma forma de onda digital ■ Explicar o que é um diagrama de temporização e dizer qual a finalidade dele ■ Explicar a transferência serial e paralela de dados e dizer quais são as vantagens e desvantagens de cada uma

Dígitos Binários

Cada um dos dois dígitos de um sistema **binário**, 1 e 0, é denominado **bit**, uma contração das palavras *binary digit* (dígito binário). Em circuitos digitais, dois níveis de tensão diferentes são usados para representar os dois bits. Geralmente, 1 é representado pela tensão maior, a qual chamamos de nível ALTO, e o 0 é representado pelo nível de tensão menor, o nível BAIXO. Essa forma de representação é denominada lógica positiva e é usada ao longo desse livro.

ALTO = 1 e BAIXO = 0

Um outro sistema no qual o 1 é representado por um nível BAIXO e o 0 é representado por um nível ALTO é chamado de *lógica negativa*.

Grupos de bits (combinação de 1s e 0s), denominados *códigos*, são usados para representar números, letras, símbolos, instruções e qualquer outro tipo de grupo necessário para uma determinada aplicação.

Níveis Lógicos

As tensões usadas para representar 1 e 0 são denominados *níveis lógicos*. Teoricamente, um nível de tensão representa um nível ALTO e o outro representa um nível BAIXO. Entretanto, em um circuito digital prático, um nível ALTO pode ser qualquer tensão entre um valor mínimo e um valor

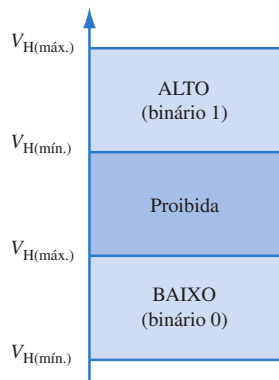
NOTA: COMPUTAÇÃO



O conceito de um computador digital pode nos levar de volta a Charles Babage, quem desenvolveu um dispositivo computacional mecânico primitivo nos anos de 1830. John Atanasoff foi o primeiro a aplicar o processamento eletrônico à computação digital em 1939. Em 1946, um computador digital eletrônico chamado ENIAC foi implementado com circuitos à válvula. Mesmo ocupando toda uma sala, o ENIAC não tinha o poder computacional das nossas calculadoras portáteis.

máximo especificados. Da mesma forma, um nível BAIXO pode ser qualquer valor de tensão entre um valor mínimo e máximo especificados. Não existe sobreposição entre as faixas aceitáveis para os níveis ALTO e BAIXO.

A Figura 1–5 ilustra as faixas dos níveis ALTO e BAIXO para um circuito digital. A variável $V_{H(máx.)}$ representa o valor máximo de tensão para o nível ALTO e $V_{H(mín.)}$ representa o valor mínimo de tensão para o nível ALTO. O valor máximo de tensão para o nível BAIXO é representado por $V_{L(máx.)}$ e o valor mínimo de tensão para o nível BAIXO é representado por $V_{L(mín.)}$. Os valores de tensão entre $V_{L(máx.)}$ e $V_{H(mín.)}$ são inaceitáveis para uma operação adequada. Uma tensão na faixa proibida pode ser interpretada tanto como um nível ALTO quanto um nível BAIXO por um determinado circuito sendo, portanto, valores inaceitáveis. Por exemplo, os valores referentes ao nível ALTO para um determinado circuito digital chamado de CMOS pode variar de 2 V a 3,3 V e os valores referentes ao nível BAIXO podem variar de 0 a 0,8 V. Assim, por exemplo, se uma tensão de 2,5 V for aplicada, o circuito interpretará como um nível BAIXO ou binário 0. Para esse tipo de circuito, as tensões entre 0,8 V e 2 V não são permitidas.

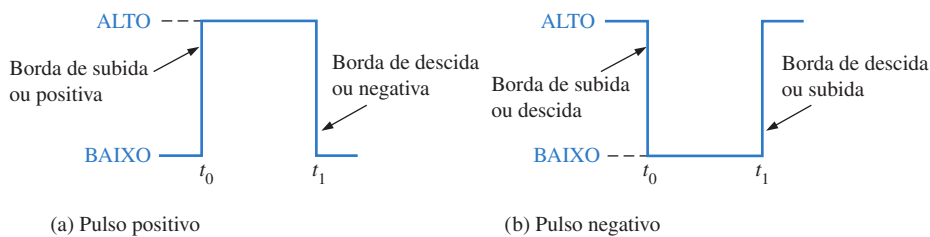


◀ FIGURA 1–5

Faixas de níveis lógicos de tensão para um circuito digital.

Formas de Onda Digitais

Formas de onda digitais consistem em níveis de tensão que comutam entre os níveis, ou estados, lógicos ALTO e BAIXO. A Figura 1–6(a) mostra que um único **pulso** positivo é gerado quando a tensão (ou corrente) passa do nível BAIXO normal para o nível ALTO e em seguida retorna para o nível BAIXO. O pulso negativo, visto na Figura 1–6(b), é gerado quando a tensão passa do nível ALTO normal para o nível BAIXO e retorna para o nível ALTO. Uma forma de onda digital é constituída de uma série de pulsos.

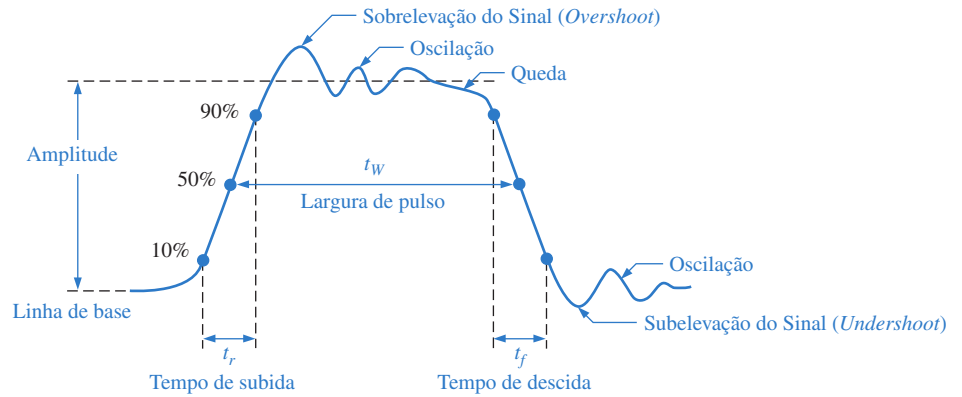


◀ FIGURA 1–6

Pulsos ideais.

O Pulso Conforme indicado na Figura 1–6, um pulso tem duas bordas: a **borda positiva**, que ocorre primeiro no instante t_0 , e uma **borda negativa**, que ocorre depois no instante t_1 . Para um pulso positivo, a borda positiva é uma borda de subida e a borda negativa é uma borda de descida. Os pulsos vistos na Figura 1–6 são ideais porque se considera que as bordas de subida e descida comutam num tempo zero (instantaneamente). Na prática, essas transições nunca ocorrem instantaneamente, embora para a maioria dos circuitos digitais funcionarem consideramos pulsos ideais.

A Figura 1–7 mostra um pulso não-ideal. Na realidade, todos os pulsos exibem algumas, ou todas, essas características. A sobrelevação do sinal (*overshoot*) e oscilações são produzidas al-



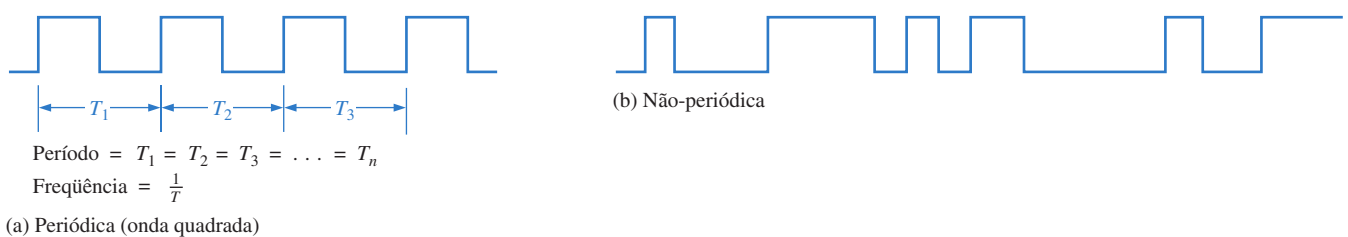
► FIGURA 1-7

Características de um pulso não ideal.

gumas vezes por efeitos de indutância e capacitância parasitas. A inclinação pode ser causada por capacitância parasita e circuitos resistivos que formam um circuito RC com uma pequena constante de tempo.

O tempo necessário para um pulso passar do nível BAIXO para o nível ALTO é denominado **tempo de subida** (t_r – rise time) e o tempo necessário para a transição do nível ALTO para o nível BAIXO é denominado **tempo de descida** (t_f – fall time). Na prática, é comum medir o tempo de subida a partir de 10% da amplitude do pulso (altura a partir da linha de base) até 90% da amplitude do pulso e para medir o tempo de descida consideramos o tempo de 90% a 10% da amplitude do pulso, conforme indicado na Figura 1-7. Os 10% da parte inferior e os 10% da parte superior não são incluídos nos tempos de subida e descida devido a não-linearidade da forma de onda nessas áreas. A **largura de pulso** (t_w – pulse width) é a medida da duração do pulso e é frequentemente definida como o intervalo de tempo entre os pontos de 50% das bordas de subida e descida, conforme indicado na Figura 1-7.

Características de uma Forma de Onda A maioria das formas de onda encontradas em sistemas digitais são compostas de uma série de pulsos, algumas vezes denominados *trem de pulsos*, podendo ser classificadas como periódicas ou não-periódicas. Uma forma de onda **periódica** é aquela que se repete num intervalo fixo, denominado de **período** (T). A **frequência** (f) é a taxa com que ela se repete e é medida em hertz (Hz). Uma forma de onda não-periódica, é claro, não se repete em intervalos fixos e pode ser composta de pulsos com larguras aleatórias e/ou intervalos aleatórios de tempo entre os pulsos. Um exemplo de cada tipo é mostrado na Figura 1-8.



▲ FIGURA 1-8

Exemplos de formas de onda digitais.

A frequência (f) de uma forma de onda digital é o inverso do período. A relação entre frequência e período é expressa como:

Equação 1-1

$$f = \frac{1}{T}$$

Equação 1-2

$$T = \frac{1}{f}$$

Uma característica importante de uma forma de onda digital periódica é o **ciclo de trabalho**, a razão entre a largura de pulso (t_w) e o período (T). O ciclo de trabalho pode ser expresso em porcentagem.

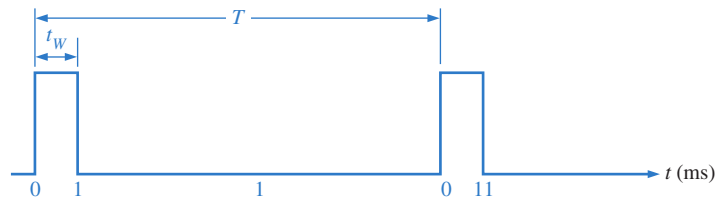
$$\text{Ciclo de trabalho} = \left(\frac{t_w}{T} \right) 100\%$$

Equação 1-3

EXEMPLO 1-1

Uma parte de uma forma de onda digital periódica é mostrada na Figura 1-9. As medidas estão em milissegundos. Determine:

- (a) período (b) frequência (c) ciclo de trabalho



▲ FIGURA 1-9

Solução (a) O período é medido a partir da borda de um pulso até a borda correspondente do próximo pulso. Nesse caso T é medido entre duas bordas positivas, conforme indicado. T é igual a **10 ms**.

(b) $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{10 \text{ ms}} = \mathbf{100 \text{ Hz}}$

(c) Ciclo de trabalho = $\left(\frac{t_w}{T} \right) 100\% = \left(\frac{1 \text{ ms}}{10 \text{ ms}} \right) 100\% = \mathbf{10\%}$

Problema relacionado* Uma forma de onda digital periódica tem uma largura de pulso de $25 \mu\text{s}$ e um período de $150 \mu\text{s}$. Determine a frequência e o ciclo de trabalho.

* As respostas estão no final do capítulo.

Uma Forma de Onda Digital Transporta Informação Binária

Uma informação binária manipulada por sistemas digitais aparece como formas de onda que representam seqüências de bits. Quando a forma de onda está em nível ALTO, um número binário 1 está presente; quando a forma de onda está em nível BAIXO, um binário 0 está presente. Cada bit na seqüência ocupa um intervalo de tempo definido denominado **tempo de bit**.

O Clock Em sistemas, todas as formas de onda são sincronizadas com uma forma de onda de temporização de referência denominada **clock**. O clock é uma forma de onda periódica na qual cada intervalo entre os pulsos (período) é igual ao tempo de um bit.

Um exemplo de uma forma de onda de clock é mostrado na Figura 1-10. Observe que, nesse caso, cada mudança de nível na forma de onda *A* ocorre na borda positiva da forma de onda do clock. De outra forma, as mudanças de nível ocorreriam na borda negativa do clock. Durante cada tempo de bit do clock, a forma de onda *A* é nível ALTO ou nível BAIXO. Esses ALTOS e BAIXOS representam uma seqüência de bits conforme indicado. Um grupo de vários bits pode ser usado como parte de uma informação binária, tal como um número ou uma letra. A forma de onda do clock por si só não transporta informação.

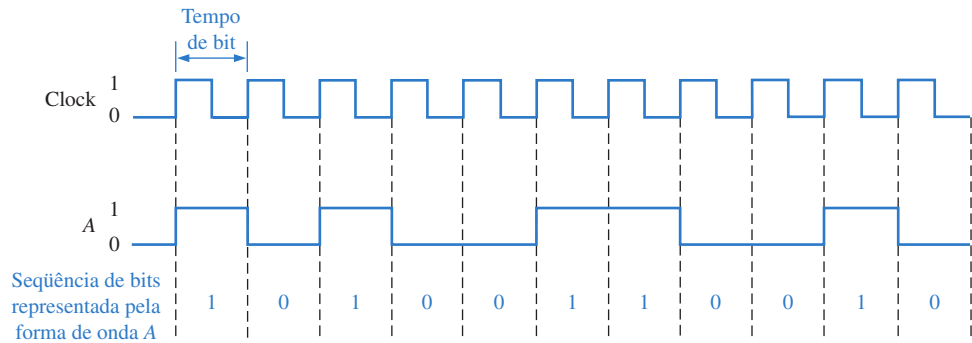
NOTA: COMPUTAÇÃO

A velocidade na qual um computador pode operar depende do tipo do microprocessador usado no sistema. A especificação de velocidade, por exemplo 3,5 GHz, de um computador é a máxima frequência de clock na qual o microprocessador pode operar.

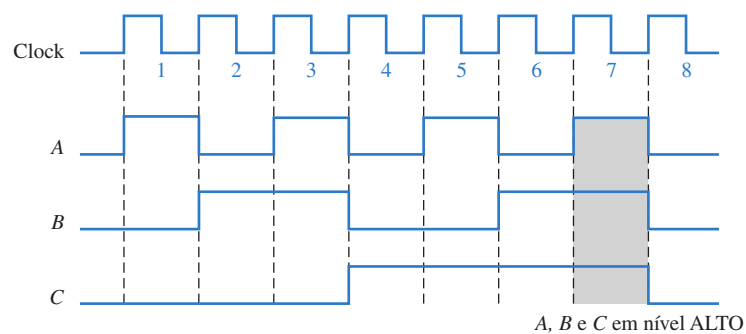


► FIGURA 1-10

Exemplo de uma forma de onda de clock sincronizada com uma forma de onda que representa uma seqüência de bits.



Diagramas de Temporização Um **diagrama de temporização** é um gráfico de formas de onda digitais que mostra a relação atual de tempo de duas ou mais formas de onda e como cada forma de onda muda em relação às outras. Observando um diagrama de temporização, podemos determinar os estados (ALTO ou BAIXO) de todas as formas de onda em qualquer instante especificado e o momento exato que uma forma de onda muda de estado em relação às outras formas de onda. A Figura 1-11 é um exemplo de um diagrama de temporização composto de quatro formas de onda. A partir desse diagrama de temporização podemos ver, por exemplo, que as três formas de onda A, B e C são nível ALTO apenas durante o tempo de bit 7 e todas elas retornam para o nível BAIXO no final do tempo de bit 7 (área sombreada).



► FIGURA 1-11

Exemplo de um diagrama de temporização.

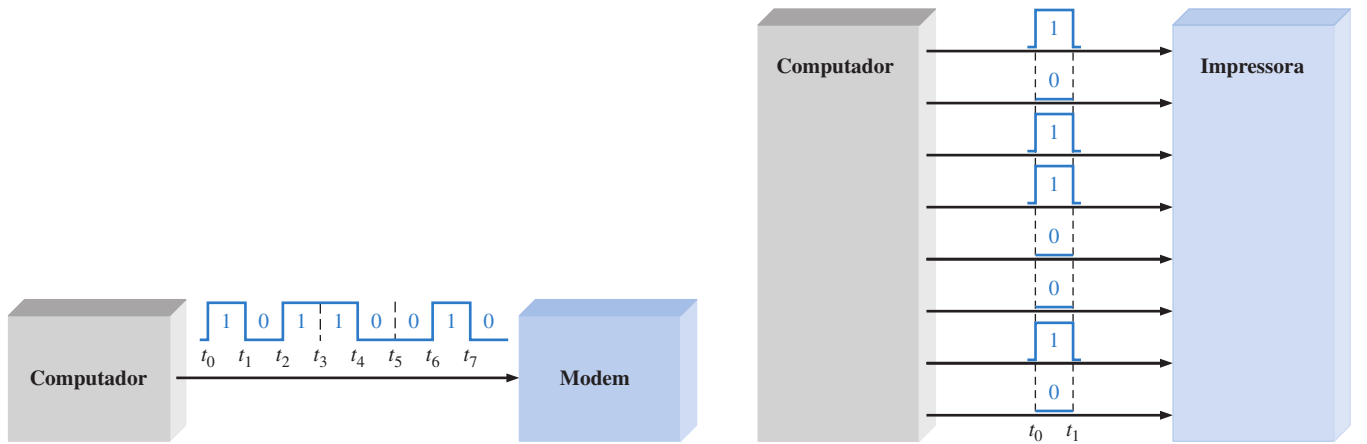
Transferência de Dados

Dados se referem a grupos de bits que transportam algum tipo de informação. Dados em binário, que são representados por formas de onda digitais, têm que ser transferidos de um circuito para outro dentro de um sistema digital ou de um sistema para outro para cumprir um determinado propósito. Por exemplo, números armazenados em binário a partir de uma memória de computador têm que ser transferidos para a unidade central de processamento do computador para serem somados. O resultado da adição tem que ser transferido para um monitor e/ou transferido de volta para a memória. Em sistemas computacionais, conforme ilustrado na Figura 1-12, dados em binário são transferidos de duas formas: em série e em paralelo.

Quando bits são transferidos na forma **serial** de um ponto para outro, eles são enviados um bit de cada vez ao longo de uma única linha, conforme ilustrado na Figura 1-12(a) para o caso da transferência de um computador para um modem. Durante o intervalo de tempo de t_0 a t_1 , o primeiro bit é transferido. Durante o intervalo de tempo de t_1 a t_2 , o segundo bit é transferido, e assim por diante. Para transferir oito bits em série, se gastam oito intervalos de tempo.

Quando bits são transferidos no formato **paralelo**, todos os bits de um grupo são enviados em linhas separadas ao mesmo tempo. Existe uma linha para cada bit, conforme mostra a Figura 1-12(b) para o exemplo de oito bits sendo transferidos de um computador para uma impressora. Para transferir oito bits em paralelo, se gasta um intervalo de tempo comparado aos oito intervalos de tempo gastos na transferência serial.

Resumindo, uma vantagem da transferência serial de dados em binário é que um número mínimo de linhas é necessário. Na transferência em paralelo, é necessário um número de linhas igual



(a) Transferência serial de um dado Binário de 8 bits a partir de um Computador para um modem. O intervalo de t_0 a t_1 é enviado primeiro.

(b) Transferência paralela de um dado binário de 8 bits a partir de um computador para uma impressora. O instante inicial é t_0 .

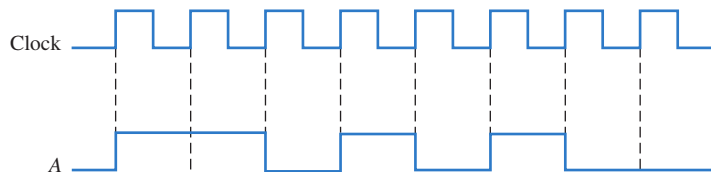
▲ FIGURA 1-12

Ilustração de transferências serial e paralela de dados binários. Apenas as linhas de dados são mostradas.

ao número de bits. Uma desvantagem da transferência serial é que ela gasta um tempo maior, para transferir um determinado número de bits, que a transferência paralela. Por exemplo, se um bit pode ser transferido em $1 \mu s$, então a transferência serial gasta $8 \mu s$ para transferir oito bits, porém gasta apenas $1 \mu s$ para a transferência paralela de oito bits. Uma desvantagem da transferência paralela é que ela necessita de mais linhas que a transferência serial.

EXEMPLO 1-2

- (a) Determine o tempo total necessário para a transferência serial de oito bits contidos na forma de onda A vista na Figura 1-13 e indique a sequência de bits. O bit mais à esquerda é o primeiro a ser transferido. Um clock de 100 kHz é usado como referência.
- (b) Qual é o tempo total de transferência dos mesmos oito bits em paralelo?



▲ FIGURA 1-13

Solução (a) Como a frequência do clock é 100 kHz, o período é

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{100 \text{ kHz}} = 10 \mu s$$

Se gasta $10 \mu s$ para transferir cada bit da forma de onda. O tempo total de transferência para 8 bits é

$$8 \cdot 10 \mu s = 80 \mu s$$

Para determinar a sequência de bits, examine a forma de onda apresentada na Figura 1-13 durante cada tempo de bit. Se a forma de onda A for nível ALTO durante o tempo

de bit, um 1 é transferido. Se a forma de onda for nível BAIXO durante o tempo de bit, um 0 é transferido. A sequência de bits é ilustrada na Figura 1–14. O bit mais à esquerda é o primeiro a ser transferido.



▲ FIGURA 1–14

(b) Uma transferência paralela gastaria **10 μ s** para todos os oito bits.

Problema relacionado

Se dados em binário são transferidos a uma taxa de 10 milhões de bits por segundo (10 Mbits/s), quanto tempo é gasto para uma transferência paralela de 16 bits em 16 linhas? E para uma transferência serial de 16 bits?

SEÇÃO 1–2 REVISÃO

1. Defina *binário*.
2. O que significa *bit*?
3. O que são os bits em um sistema binário?
4. O que é o tempo de subida e o tempo de descida de um pulso medido?
5. Conhecendo o período de uma forma de onda, como se determina a frequência?
6. Explique o que é uma forma de onda de clock.
7. Qual é a finalidade de um diagrama de temporização?
8. Qual é a principal vantagem da transferência paralela sobre a transferência de dados em binário?

I-3 OPERAÇÕES LÓGICAS BÁSICAS

Em sua forma básica, a lógica é o campo do raciocínio humano que nos diz que uma certa proposição (declaração) é verdadeira se certas condições forem verdadeiras. Proposições podem ser classificadas como verdadeiras ou falsas. Muitas situações e processos que encontramos em nossas vidas diariamente podem ser expressos na forma de funções proposicionais ou lógicas. Como tais funções são declarações verdadeiro/falso ou sim/não, os circuitos digitais com suas características de dois estados são aplicáveis.

Ao final do estudo desta seção você deverá ser capaz de:

- Fazer uma lista com as três operações lógicas básicas
- Definir a operação NOT
- Definir a operação AND
- Definir a operação OR

Diversas proposições, quando combinadas, formam funções proposicionais ou lógicas. Por exemplo, a declaração proposicional “A luz está ligada” será verdadeira se “A lâmpada não está queimada” for verdadeira e se “A chave está ligada” for verdadeira. Portanto, a declaração lógica a seguir pode ser feita: *A luz está ligada apenas se a lâmpada não está queimada e a chave está ligada*. Nesse exemplo, a primeira declaração é verdadeira apenas se as duas últimas forem verdadeiras. A primeira declaração (“A luz está ligada”) é a proposição básica e as outras duas declarações são as condições das quais a proposição depende.

Em 1850, o matemático e logicista irlandês Georg Boole desenvolveu um sistema matemático para formulação de declarações lógicas com símbolos de forma que pudessem ser resolvidos de uma forma similar à álgebra comum. A álgebra Booleana, como é conhecida hoje em dia, é aplicada no projeto e análise de sistemas digitais e será abordada em detalhes no Capítulo 4.