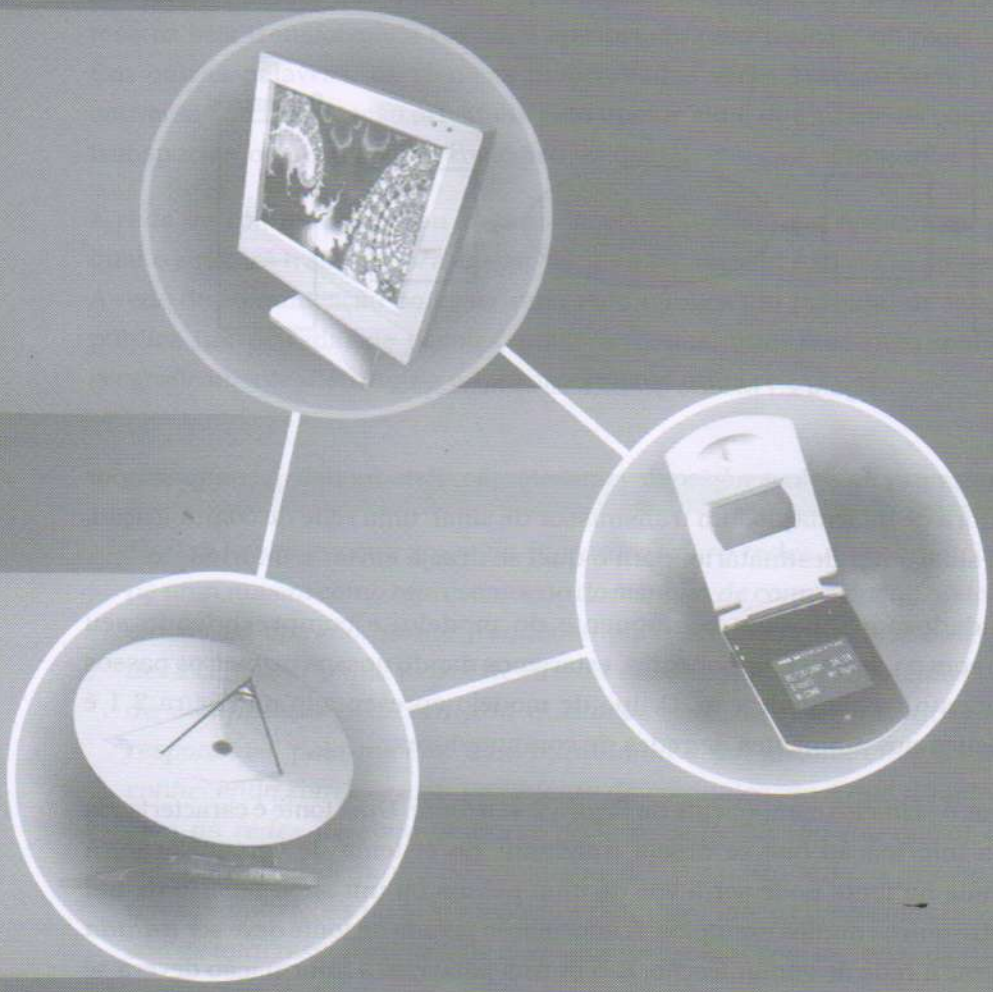
Capítulo 2

Conceitos Básicos de Comunicação de Dados



Introdução

Neste capítulo, vamos apresentar de maneira geral os conceitos básicos de comunicação de dados, enfatizando alguns pontos que são importantes para as tecnologias de redes de computadores. É sempre relevante ressaltar que estes princípios são necessários para todos aqueles que desejam conhecer mais rigorosamente as redes de computadores. Assim, estaremos aptos para uma discussão mais formal da operação e interfuncionamento das redes em seus diversos níveis e funções, que serão apresentados nos próximos capítulos.

Desta forma, apresentamos a seguir alguns princípios de comunicação, conceitos básicos das redes de comunicação e de computadores, conceitos sobre freqüência e sinal, transmissão analógica e digital, modulação e codificação.

Princípios de Comunicação

A melhor forma de iniciarmos nossos estudos sobre os princípios de comunicação é através do completo entendimento da figura a seguir.

Figura 2.1 Modelo genérico de comunicação.

A Figura 2.1 ilustra um modelo genérico de comunicação. Este modelo é composto por uma fonte geradora de informação, um transmissor de sinal, uma rede de comunicação, um receptor de sinal e um destinatário, para o qual se deseja enviar a informação.

Analisando cuidadosamente cada componente do modelo, e compreendendo seu relacionamento com os demais componentes, estaremos dando nossos primeiros passos para o entendimento da comunicação. O tipo de modelo apresentado na Figura 2.1 é muito característico nos ambientes de redes de computadores.

Vamos considerar o primeiro componente da Figura 2.1: a *fonte*. Uma fonte é caracterizada pela geração da informação que se deseja transmitir no sistema de comunicação. A informação gerada na fonte pode ser a voz de uma pessoa ou um sinal binário de um computador, entre outros muitos exemplos. A informação gerada na fonte deve ser *tratada* antes de se utilizar a rede de comunicação. Em outras palavras, a informação deverá se

adequar ao meio de comunicação para que possa ser transmitida. É bastante comum ouvirmos a afirmação de que a voz de uma determinada pessoa é diferente ao telefone (a voz humana pode variar em freqüência entre 20 Hz até 32.000 Hz). A explicação mais simples para este fenômeno é que a voz, que é a informação, foi *tratada* e então colocada no sistema. Como os sistemas de comunicação são projetados considerando-se determinados parâmetros de custo e desempenho, estes não poderão abrigar todas as freqüências das vozes de todas as pessoas. Em outras palavras, um limite de sinal é estabelecido (os projetos dos sistemas de comunicação geralmente suportam o intervalo de freqüência entre 300 Hz até 3.400 Hz para a transmissão da voz). Desta forma, a voz da pessoa será representada de modo apropriado para ser transportada.

O *transmissor* em nosso modelo é o elemento responsável por converter, de alguma maneira, e que estudaremos mais adiante, a informação gerada na fonte para uma forma de sinal. O *sinal* é a entidade que é transmitida num sistema de comunicação (em outras palavras, para nós da área de redes – seja esta de comunicação ou de computadores – o sinal é a porção que é transmitida). Exemplos de transmissores clássicos são os aparelhos telefônicos, modems, codecs (codificadores/decodificadores) e transmissores digitais. É nos transmissores que ocorre a modulação, ou codificação, da informação para que a mesma seja transformada em sinal apropriado para trafegar na rede de comunicação. Em outras palavras, as técnicas mencionadas serão responsáveis pelo trabalho de conversão da informação orientada pelo tipo de sinal que a rede de comunicação deverá transportar, ou seja, o sinal analógico ou digital.

A *rede de comunicação* (ou sistema de comunicação), na nossa figura, é a porção na qual o sinal irá trafegar para chegar ao receptor remoto e só então ao destino solicitado. A rede de comunicação pode ser uma rede pública (ou privada) de telefonia, uma rede pública (ou privada) de pacotes/quadros/células, uma rede metropolitana, uma rede geograficamente distribuída ou, simplesmente, uma rede local.

NOTA

Muitas vezes encontramos na literatura sobre redes de comunicação a figura de uma nuvem como representação do sistema de comunicação. Esta abordagem, em nossa opinião, muito freqüentemente leva a um descaso de quem é que deve conhecer o que existe dentro da nuvem. Aqueles envolvidos com as redes de computadores acreditam que o pessoal de telecomunicação é o único responsável pela nuvem. Este paradigma é um grande engano, pois somente conhecendo com clareza o ambiente de comunicação é que aqueles envolvidos com as redes de computadores poderão solicitar um (ou outro) determinado serviço mais adequado de comunicação. Por outro lado, o pessoal da área de telecomunicações pode ser levado a acreditar que os protocolos de comunicação são de total responsabilidade daqueles envolvidos com as redes de computadores.

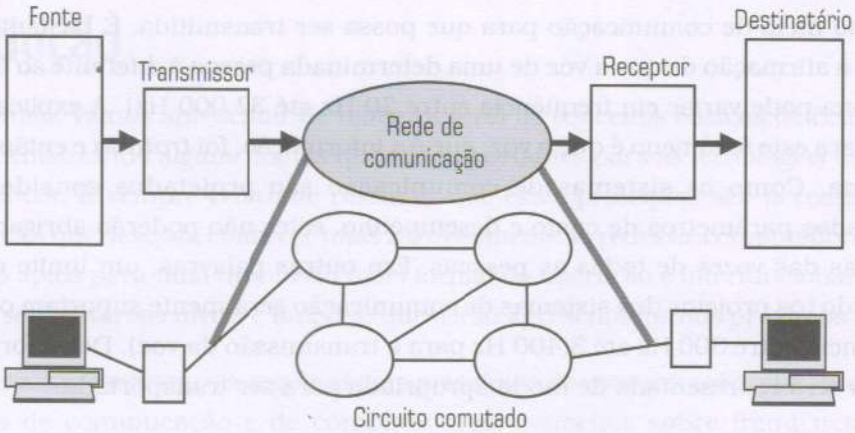


Figura 2.2 Circuito comutado.

As Figuras 2.2 e 2.3 ilustram alguns exemplos de casos das redes de comunicação. A nuvem, que representa uma rede de comunicação, pode significar, como no caso da Figura 2.2, um circuito comutado de comunicação de uma concessionária de telecomunicação. Por outro lado, na Figura 2.3, temos o exemplo de um caso no qual a rede de comunicação é uma rede local baseada em uma topologia de barra.

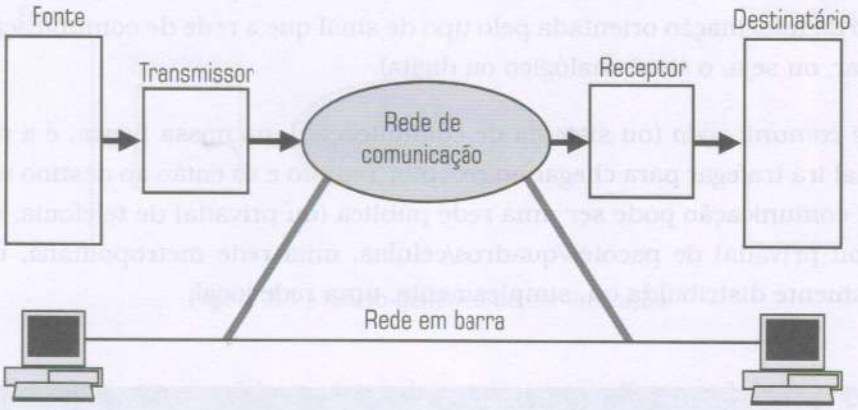


Figura 2.3 Rede em barra.

O próximo componente do modelo da Figura 2.1 é o elemento *receptor*. Este elemento é o dispositivo que recebe o sinal da rede de comunicação e faz o tratamento necessário para que o mesmo seja recebido pelo destinatário como informação. O processo de conversão do sinal em informação, ou tratamento do sinal como denominamos anteriormente, é dependente do tipo de sinal que é utilizado na rede de comunicação. Em outras palavras, o processo de tratamento do sinal poderá ser um processo de demodulação (caso o sinal seja analógico) ou um processo de decodificação do sinal (caso este seja digital). Os conceitos de modulação e codificação serão apresentados posteriormente neste capítulo.

O último dos componentes do nosso modelo genérico de comunicação é o *destinatário*, que é o elemento para o qual a informação da fonte foi endereçada. Assim, após a informação ter sido originada na fonte, transformada (modulada ou codificada) em um sinal (analógico ou digital) pelo transmissor, ter trafegado pela rede de comunicação como um sinal e ter sido retransformada (demodulada ou decodificada) pelo receptor em informação, é, então, recebida pelo destinatário.

Finalizando nossas observações sobre o modelo genérico de comunicação, a Figura 2.4 ilustra a forma simplificada do modelo. Esta simplificação apresentada e entendida, ao final de todas as etapas que comentamos, é salutar. Todavia, muitas vezes a simplificação, sem a compreensão de todas as fases que comentamos, leva o leitor ao mau entendimento do ambiente de comunicação ilustrado na Figura 2.4.

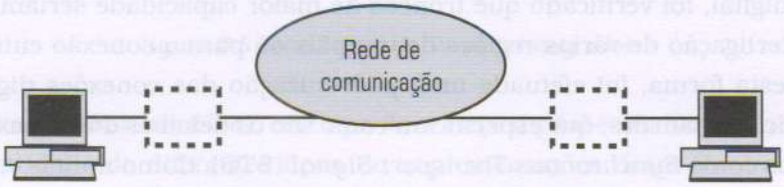


Figura 2.4 Modelo simplificado de comunicação.

Conceitos Básicos

Nesta seção, apresentamos alguns conceitos básicos que são importantes para entendermos melhor as redes de comunicação e as redes de computadores. Os conceitos que vamos abordar têm por objetivo familiarizar o leitor com o ambiente que discutiremos ao longo do livro. Assim, vale a pena ressaltar que todos os tópicos abordados nesta seção serão estudados com detalhes em outros capítulos.

É importante observar que, primeiro, vamos apresentar os conceitos de uma maneira convencional. Logo após, introduziremos uma pequena discussão para melhor assimilação dos conceitos abordados.

Conceitos relativos às redes de comunicação:

- Circuit switching: é um ambiente de comunicação caracterizado primeiro pela comutação dos circuitos, para então permitir o uso exclusivo da comunicação entre *nós* de uma rede de telefonia (entendemos por *nós* qualquer elemento endereçável e com poder de processamento computacional).
- Transmissão digital: as redes de telefonia estão, cada vez mais, sendo implementadas empregando a transmissão digital. Neste tipo de transmissão, a voz é enviada na rede de comunicação como sendo um conjunto de bits. Este tipo de transmissão tem

baixos níveis de ruído, permite com mais facilidade a comutação de sinais e permite que vários sinais sejam transmitidos num mesmo enlace.

- Canal comum de sinalização (CCS – *Common Channel Signaling*): este tipo de técnica permite a transmissão de sinais de controle nos equipamentos telefônicos de comutação. Assim, muitos serviços podem ser implementados nas redes de comunicação. Exemplos clássicos são o redirecionamento de chamadas (ou mais conhecido como siga-me), chamadas a serviços com tarifação reversa (exemplo: números 0800) e cobrança por cartões de crédito. A facilidade de CCS é bastante interessante, pois, por exemplo, podemos estabelecer quais linhas serão dedicadas aos serviços de telefonia.
- Synchronous Transport Signal (STS) e Optical Carrier (OC): as empresas de telefonia denominam de *tronco* um circuito de alta capacidade. Com o crescimento do uso da telefonia digital, foi verificado que troncos de maior capacidade seriam necessários para a interligação de várias regiões de um país ou para a conexão entre diferentes países. Desta forma, foi efetuada uma padronização das conexões digitais de alta capacidade. Os padrões, que especificam como são os detalhes das conexões, ficaram conhecidos como *Synchronous Transport Signal* (STS). Como muitas vezes as redes de alta capacidade empregam a fibra óptica, o termo *Optical Carrier (OC)* é freqüentemente usado. Exemplos de OC são: OC-1 à 51.840 Mbps, OC-3 à 155.520 Mbps e OC-12 à 622.080 Mbps.
- Synchronous Optical Network (Sonet) e Synchronous Digital Hierarchy (SDH): nos EUA ocorreu uma padronização mais detalhada da transmissão digital, que foi denominada de *Sonet (Synchronous Optical Network)*. O enquadramento dos dados – como é efetuada a multiplexação dos circuitos de baixa velocidade dentro dos de alta velocidade –, e como as informações síncronas são enviadas junto com os dados são características abordadas pelo padrão Sonet. O *Synchronous Digital Hierarchy* é o padrão adotado na Europa.
- Redes Digitais de Serviços Integrados (RDSI): as também conhecidas redes ISDN (*Integrated Services Digital Network*) são um empreendimento de algumas concessionárias de comunicação de prover os serviços digitais para seus assinantes. O fornecimento de voz e dados digitalizados para os assinantes é um serviço efetuado através do cabeamento de *loop local* convencional. O *loop local*, ou *linha de assinante local*, é como as concessionárias denominam as ligações de alta velocidades disponíveis para os assinantes em suas empresas (ou até residências). A Figura 2.5 ilustra um ambiente de RDSI (ou ISDN).

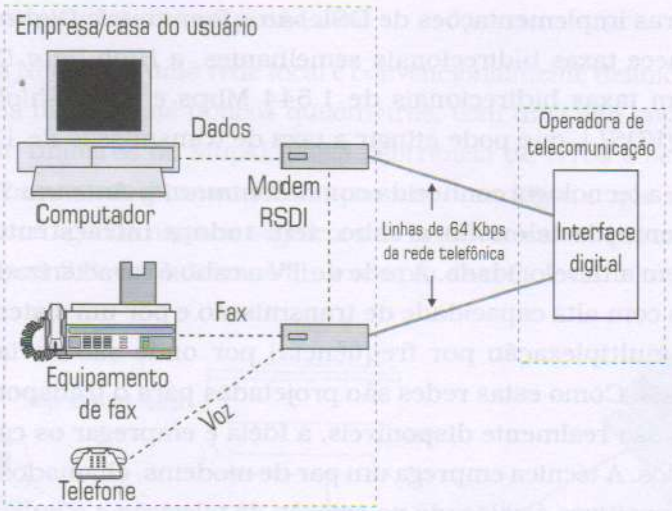


Figura 2.5 Rede Digital de Serviços Integrados.

- DSL (*Digital Subscriber Line*): este tipo de serviço digital é um *loop local*. Existe uma certa quantidade de diferentes tipos de implementações desta técnica. Portanto, é comum a referência *xDSL*. Um exemplo da tecnologia é o *Asymmetric Digital Subscriber Line* (ADSL). Esta implementação de *loop local* tem seu nome baseado no fato de que a taxa de transferência da rede para o usuário (*downstream*) é bastante alta quando comparada com taxa de transferência do usuário para a rede (*upstream*). A taxa de *downstream* pode atingir 6.144 Mbps, enquanto a taxa de *upstream* chega a 640 Kbps (destes 640 Kbps somente 576 Kbps representam a taxa efetiva de transferência *upstream*, pois 64 Kbps são empregados para controle). Outra característica interessante do ADSL é que pode utilizar o cabeamento de par trançado já instalado para a telefonia analógica. A Figura 2.6 ilustra um ambiente de ADSL.

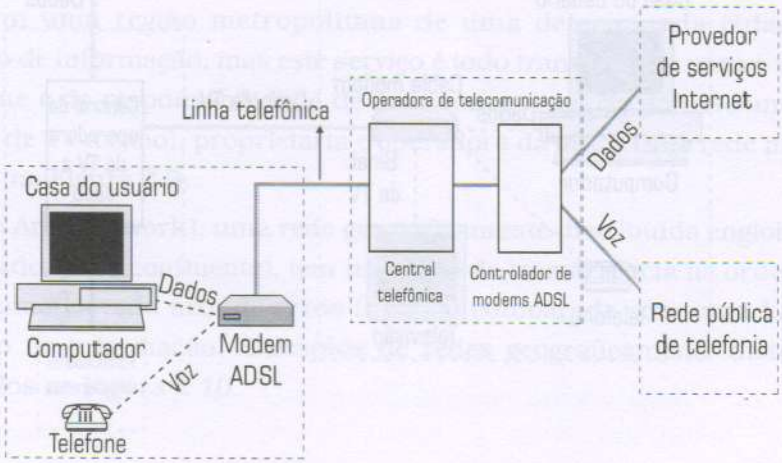


Figura 2.6 Linha de Assinante Digital Assimétrico (ADSL).

Exemplos de outras implementações de DSL são a *Symmetric Digital Subscriber Line* (SDSL), que fornece taxas bidirecionais semelhantes, a *High-Rate Digital Subscriber Line (HDSL)*, com taxas bidirecionais de 1.544 Mbps e a *Very-high bit rate Digital Subscriber Line (VDSL)*, que pode atingir a taxa de transmissão de 13, 26 e 52 Mbps.

- Cable Modem: a tecnologia conhecida como *Community Antenna TeleVision (CATV)*, ou simplesmente de televisão a cabo, tem toda a infraestrutura para o envio *downstream* em alta velocidade. A rede de TV a cabo é caracterizada pela conexão de cabos coaxiais com alta capacidade de transmissão e por um sistema de banda larga (utilizando a multiplexação por freqüência) por onde são enviados os sinais de múltiplos canais. Como estas redes são projetadas para o transporte de mais canais do que os que são realmente disponíveis, a idéia é empregar os canais ociosos para transmitir dados. A técnica emprega um par de modems, chamados de *cable modem*. Um destes dispositivos é colocado na estação de televisão e o outro no local (casa ou trabalho) determinado pelo assinante. Esta tecnologia permite que até 36 Mbps sejam usados como taxa efetiva de transferência de dados. O compartilhamento de uma conexão não pode ser efetuado através de uma freqüência exclusiva para um determinado assinante. Vale a pena lembrar que as empresas de TV a cabo dispõe de milhares de assinantes, o que inviabilizaria o emprego diferenciado de freqüência por usuário. Desta forma, a solução é o uso de uma freqüência para um determinado número de assinantes e uma identificação por assinante. Como temos o compartilhamento por vários assinantes numa determinada freqüência, a taxa efetiva de transferência deve ser da ordem de 1/*NA* (onde *NA* significa o *Número de Assinantes* usando esta mesma freqüência). A Figura 2.7 ilustra uma solução de cable modem.

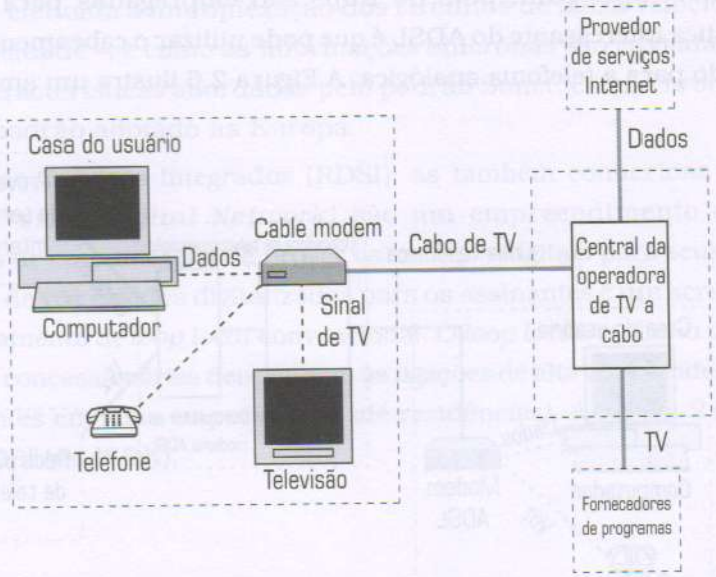


Figura 2.7 Cable Modem.

Conceitos relativos às redes de computadores:

- LAN (Local Area Network): uma rede local é convencionalmente definida como uma rede com abrangência física de até poucos quilômetros, com uma alta taxa de transferência (centenas ou até milhares de Mbps), baixa ocorrência de erros e sem roteamento da informação (o roteamento é caracterizado por um *broadcast*, o que significa dizer que todos os elementos ligados naquele segmento de LAN irão saber que uma informação foi enviada). Na Figura 2.8, encontramos um exemplo de rede local.

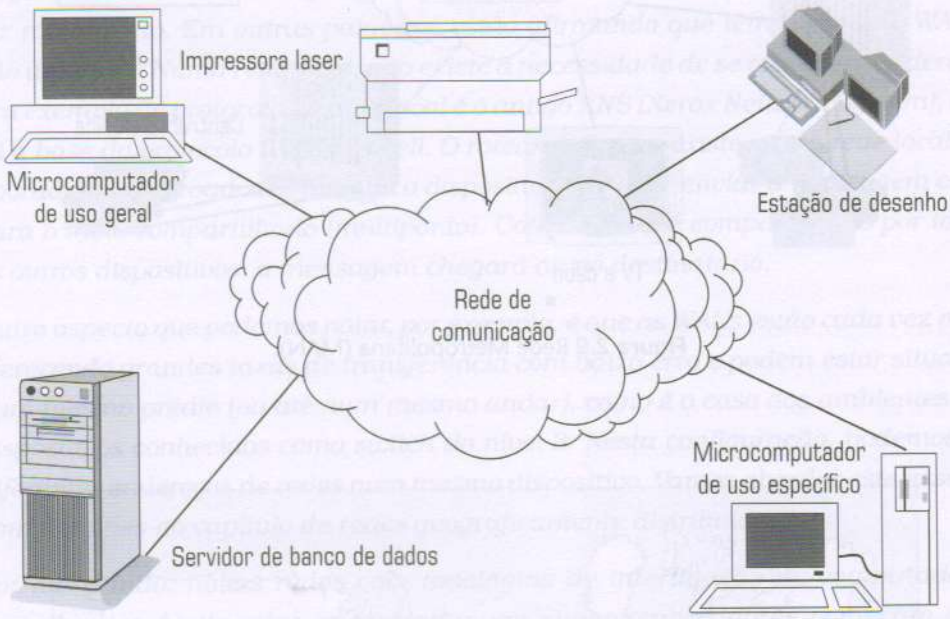


Figura 2.8 Rede Local (LAN).

- MAN (Metropolitan Area Network): as redes metropolitanas são caracterizadas por abrangerem uma região metropolitana de uma determinada cidade. Existe o roteamento de informação, mas este serviço é todo transparente para o usuário final, uma vez que é de responsabilidade de uma concessionária de telecomunicação (ou operadora de TV a cabo), proprietária e operadora da MAN. Uma rede metropolitana é ilustrada na Figura 2.9.
- WAN (Wide Area Network): uma rede geograficamente distribuída engloba uma vasta região (estado, país, continente), tem uma taxa de transferência na ordem de dezena de Mbps, uma elevada taxa de erros (quando comparada com uma LAN), e tem o roteamento de informação. Exemplos de redes geograficamente distribuídas são apresentados na Figura 2.10.

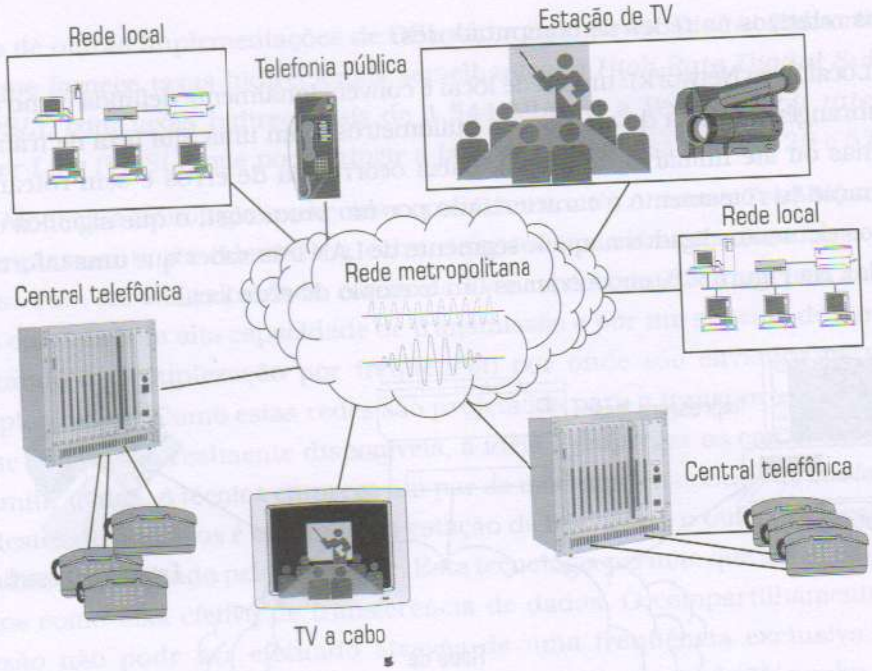


Figura 2.9 Rede Metropolitana (MAN).

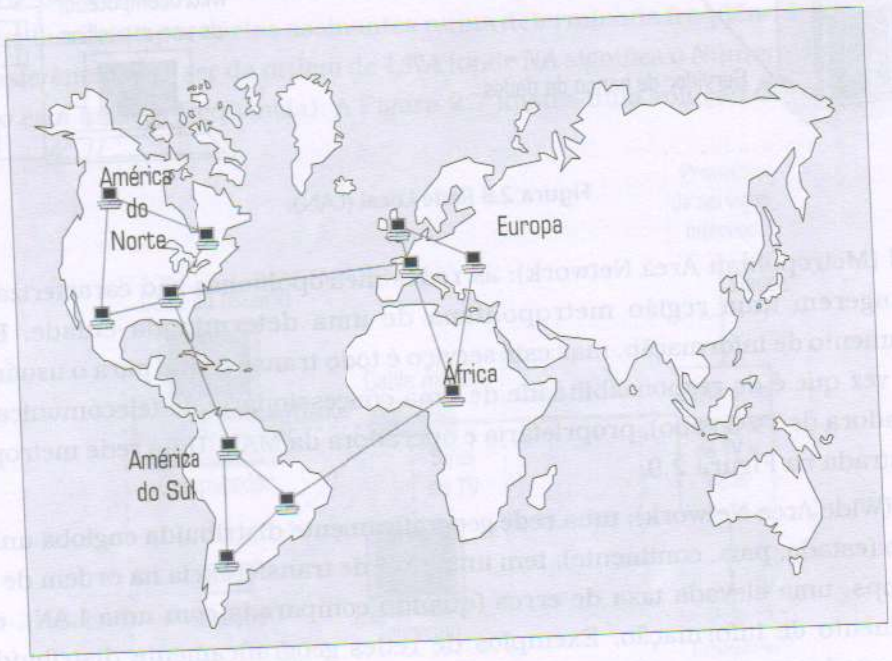


Figura 2.10 Rede Geograficamente Distribuída (WAN).

NOTA

Em nossa visão (e vamos aumentar a discussão nos respectivos capítulos em que abordamos as LANs, MANs e WANs), os conceitos acima apresentados devem ser melhor compreendidos no contexto das redes modernas. Acreditamos que uma das características fundamentais que diferenciam as LANs, MANs e WANs são: (1), seu suporte (ou não) ao roteamento de mensagem; (2), as taxas de transferência de dados; (3), a taxa de erro. Um exemplo clássico são aqueles que, usualmente, confundem os conceitos e afirmam que a sua rede local está ligada a outra rede e faz roteamento. Em outras palavras, estão afirmando que têm uma rede WAN e não uma LAN. Numa rede local, não existe a necessidade de se rotear um endereço. Um exemplo de protocolo de rede local é o antigo XNS (Xerox Network System), que foi a base do protocolo IPX da Novell. O roteamento que existe numa rede local é a abordagem de broadcast, na qual o dispositivo que quer enviar a mensagem o faz para o meio compartilhado (multiponto). Como o meio é compartilhado por todos os outros dispositivos, a mensagem chegará ao nó destinatário.

Outro aspecto que podemos notar, por exemplo, é que as WANs estão cada vez mais oferecendo grandes taxas de transferência com baixo erro e podem estar situadas num mesmo prédio (ou até num mesmo andar), como é o caso dos ambientes dos dispositivos conhecidos como switch do nível 3. Nesta configuração, podemos ter diferentes endereços de redes num mesmo dispositivo. Vamos abordar este assunto com detalhes no capítulo de redes geograficamente distribuídas.

Por outro lado, novas redes com topologias de interligação de computadores semelhantes às ligações encontradas em supercomputadores começam a se popularizar. Estas configurações são denominadas de SANs (System Area Networks) e têm uma abrangência de poucos metros, altíssimas taxas de transferências com uma ocorrência de erros muito baixa. Um exemplo conhecido deste tipo de configuração é a rede Myrinet, que será abordada no capítulo de redes de alto desempenho.

Acreditamos que os conceitos de LAN e WAN devem ser repensados de forma mais moderna. Em outras palavras, devemos levar em conta o atual desenvolvimento tecnológico. Nossos conceitos eram, até então, baseados na tecnologia de redes à cabo, como por exemplo a clássica Ethernet. Neste tipo de tecnologia de rede (apresentada a seguir), todos os computadores estavam ligados direto a um cabo coaxial de uma forma multiponto. As sinalizações da rede ocorriam neste meio físico. Atualmente, as funções de acesso ao meio das redes de computadores estão implementadas, muitas vezes, em dispositivos centrais, denominados de concentradores (conhecidos por hub ou switches). A diferença entre os hubs e os switches é baseada em como é efetuada a implementação de comunicação dos computadores interligados aos mesmos. Nos hubs, temos uma rede com comunicação tipo broadcast. Já nos switches, a

comunicação é comutada, o que significa dizer que podemos ter mais de um par de computadores se comunicando. Alguns switches permitem que tenhamos uma rede geograficamente distribuída num único prédio. Mais uma vez o conceito antigo de WAN fica comprometido, pois a dispersão geográfica é pequena.

- *Ethernet: rede local em barra, cuja concepção inicial foi idealizada por Robert Metacalf e implementada em conjunto pelas empresas Digital, Intel e Xerox (DIX). Este tipo de rede implementa um protocolo de acesso ao meio (MAC – Medium Access Control) com contenção, o que pode ser traduzido como a não existência de um determinismo de acesso ao meio. Em outras palavras, quando um computador quer transmitir, este "escuta" o meio e verifica se está vazio (um meio, no caso do Ethernet, é um cabo coaxial, e estar vazio é não ter computadores trocando mensagens). Em caso de o meio estar vazio, começa sua transmissão. Por outro lado, ocorrerá uma colisão se um outro computador, ao mesmo instante, obteve "resposta" de que a rede estava vazia e começou a sua transmissão. Os dois computadores, ao perceberem a colisão, vão esperar por um tempo aleatório para iniciar a operação. O processo de retransmissão dos computadores deverá obedecer ao protocolo de acesso ao meio específico. Discutiremos em detalhes no capítulo de redes locais sobre os protocolos de acesso ao meio com contenção.*
- *Token-Ring: rede local com passagem de permissão em anel, idealizada na IBM da Alemanha, visando a interligação de dispositivos de rede com o acesso ordenado. Em outras palavras, o acesso ao meio estabelecido por esta rede é determinístico.*
- *Packet Switching: técnica que não considera uma exclusividade da ligação entre pontos de uma rede de comunicação, mas que se utiliza da mesma para enviar pequenos conjuntos de bits (pacotes) de uma maneira não seqüencial. Assim, os pacotes são numerados e enviados na rede com o endereço do destinatário, podendo chegar fora de ordem.*
- *Frame-Relay: tecnologia de comunicação na qual quadros (frames) de tamanho variável trafegam com taxas de transmissão de até 2 Mbps, não existindo todo o controle de erro encontrado nas redes de comutação de pacotes.*
- *ATM (Asynchronous Transfer Mode): técnica também conhecida com cell-relay. Esta técnica de transferência é o amadurecimento das tecnologias de circuit switching e packet switching. Células fixas de 53 bytes trafegam pela rede, evitando um overhead de processamento, chegando a centenas de Mbps.*
- *Protocolos: conjunto de regras que definem como a troca de informação entre entidades de uma rede de comunicação (e de computadores) deve ser realizada com sucesso e como os erros deverão ser tratados.*
- *Arquitetura de protocolos: é a estrutura representativa não só dos protocolos disponíveis numa dada arquitetura, mas também das funções e interações de cada protocolo no seu nível de atribuição.*

Os termos pacotes, quadros e células são as unidades que as técnicas de packet, frame e cell switching utilizam para denominar o elemento de transmissão transportado em suas redes.

Quanto aos protocolos de comunicação e arquitetura de protocolos, é muito freqüente a confusão destes termos e sua abrangência. O leitor deve observar que um protocolo é como se fosse um jogador num determinado tipo de esporte coletivo. Por outro lado, a arquitetura é o time como um todo. Assim, é errado mencionar que entre este ponto e aquele estamos falando do protocolo SNA (System Network Archicteture) da IBM, por exemplo. O acrônimo SNA já diz que este é uma arquitetura. O que se pode dizer é que estamos entre os pontos A e B empregando um determinado protocolo do SNA. Podemos pensar em outros exemplos semelhantes em outras arquiteturas conhecidas, como é o caso típico da arquitetura TCP/IP. Podemos ter um caso (um exemplo é a utilização do protocolo de aplicação NFS, que permite que possamos ter um sistema de arquivos montado num determinado computador e acessado remotamente) onde entre um determinado ponto A e outro B temos o protocolo UDP trafegando e não o TCP.

Freqüência e Sinal

Freqüência

Um conceito fundamental na área de comunicação é a freqüência de um sinal. Logo, o leitor deve estar pronto para responder de forma precisa a pergunta: "O que é freqüência?"

Para entendermos os conceitos de comunicação de forma mais abrangente, é importante que tenhamos conhecimento sobre freqüência e alguns dos parâmetros relacionados (exemplos são a banda, largura de banda, tamanho de onda, período e fase, entre outros).

O IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), que é uma das organizações normativas mais respeitadas na área de redes de comunicação e de computadores, define a freqüência como "número completo de variações dos ciclos de uma senoide por unidade de tempo".

A unidade de tempo que podemos considerar é o segundo. Na Figura 2.11, apresentamos uma onda senoidal da função y = sin x.

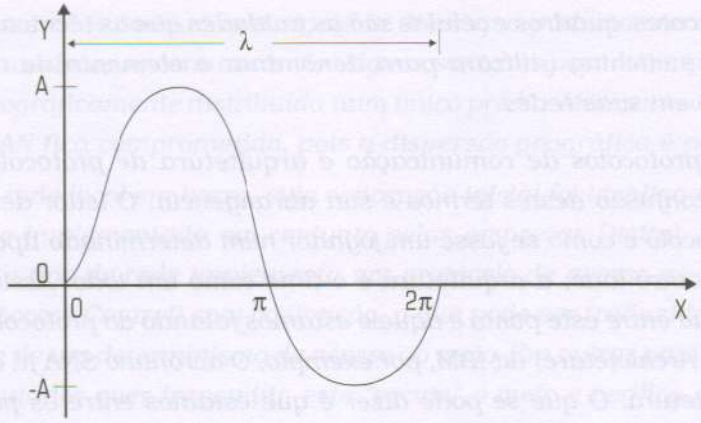


Figura 2.11 Representação de uma onda senoidal.

Na Figura 2.12, duas ondas com diferentes freqüências são ilustradas. Temos uma onda com menor freqüência (y1), quando comparada com a outra onda (y2). Da figura, também podemos falar sobre a *amplitude*. Nos exemplos da figura, consideramos que a amplitude medida em volts é igual a +5V e –5V. Em outras palavras, a grandeza amplitude é caracterizada pelo *tamanho* da onda numa direção no eixo y. Como nas duas figuras temos a variação de 5V para cima e para baixo no gráfico, podemos afirmar que temos a mesma amplitude. Todavia, a freqüência é diferente.

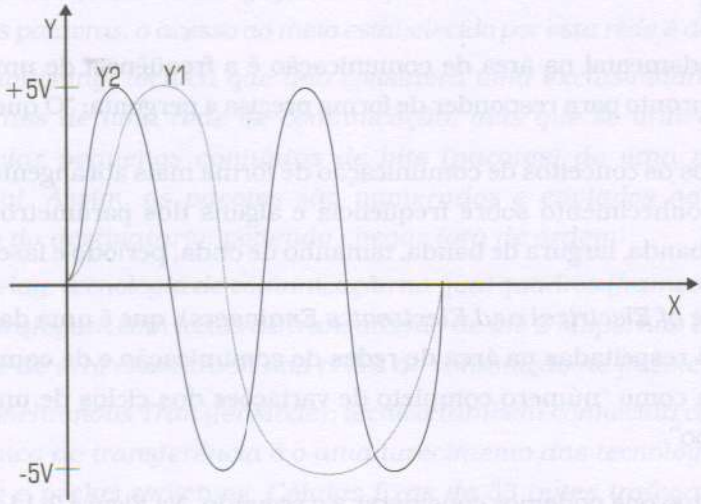


Figura 2.12 Ondas com freqüências diferentes.

O tamanho de onda é convencionalmente mensurado em metros e representado pelo símbolo λ. A medida é efetuada entre picos (ou depressões) de uma onda senóide. As ondas de rádio, por exemplo, têm uma velocidade de propagação no vácuo da ordem de 3 x 10^8 m/s. Se multiplicarmos a freqüência em Hz pelo tamanho da onda em metros, vamos obter uma constante denominada de velocidade de propagação ($F\lambda = 3 \times 10^8$ m/s).

Quando estamos ouvindo uma estação de rádio numa banda AM, podemos estar recebendo o sinal numa freqüência, por exemplo, em 710 kHz. Se o rádio está sintonizado numa estação de banda FM, poderemos ter a recepção numa freqüência, por exemplo, de 102.9 MHz. Os dois exemplos das estações de rádio são representativos para bandas de rádio. Existe na área de comunicação uma atribuição padrão de faixa de freqüências. Apresentamos, na Figura 2.13 (veja encarte colorido no final do livro), uma idéia geral de distribuição de faixas de freqüências, segundo a Resolução 79 da ANATEL (Agência NAcional de TELecomunicação) de dezembro de 1998. Na tabela de distribuição de faixas de freqüências da ANATEL, é fácil entender que, do exemplo das estações de rádio, a estação AM teria sua faixa entre 535 kHz e 1.625 kHz. Já a estação FM estaria entre 88 MHz e 108 MHz. Você saberia dizer qual é a faixa de freqüência do canal 4 ou do canal 40 de televisão?

Tabela 2.1 Divisão de banda de freqüências.

Banda de Freqüência	Nome	Exemplo de Aplicação
300-3000 kHz	MF (Medium Frequency)	Rádio AM convencional
3-30 MHz	HF (High Frequency)	Rádio de ondas curtas
30-300 MHz	VHF (Very High Frequency)	TV VHF e Radio FM
300-3000 MHz	UHF (Ultra High Frequency)	TV UHF e microondas terrestre
3-30 GHz	SHF (Super High Frequency)	Microondas terrestre e satélite
30-300 GHz	EHF (Extremely High Frequency)	Industriais, Científicas e Médicas

A Tabela 2.1 apresenta a divisão de banda de freqüências, seu nome e um exemplo de aplicação. Esta tabela serve como uma ferramenta auxiliar para que o leitor possa entender sem dúvida a Figura 2.13, na qual se encontra a distribuição de faixas de freqüências da ANATEL.

Exemplo: Vamos supor que, consultando a tabela da ANATEL (Figura 2.13), nos deparemos com a freqüência de 500 kHz. Esta é uma freqüência alocada como freqüência internacional de chamada e socorro. Como poderíamos calcular o tamanho da onda?

Empregando a velocidade de propagação, teríamos:

$F\lambda = 3 \times 10^8$ m/s

$500\ 000\ \lambda = 3 \times 10^8$

$\lambda = 3/5 \times 10^8 \times 10^{-5}$

$\lambda = 600$ m

Ainda com relação ao estudo de freqüência, o leitor deve entender que existe todo um embasamento matemático. Assim, ao final deste capítulo, recomendamos algumas leituras que cobrem importantes aspectos matemáticos da área de comunicação; um bom exemplo é o detalhamento do teorema de Nyquist.

Outro parâmetro importante que devemos conhecer é a *fase*. Novamente, vamos usar a definição do IEEE para introduzir o conceito. Segundo o IEEE, a fase pode ser entendida como: "Medida relativa que descreve um relacionamento temporal entre dois sinais que têm a mesma freqüência".

Na Figura 2.14, ilustramos uma onda senoidal com suas respectivas variações de fase (0°, 90°, 180°, 270° e 360°).

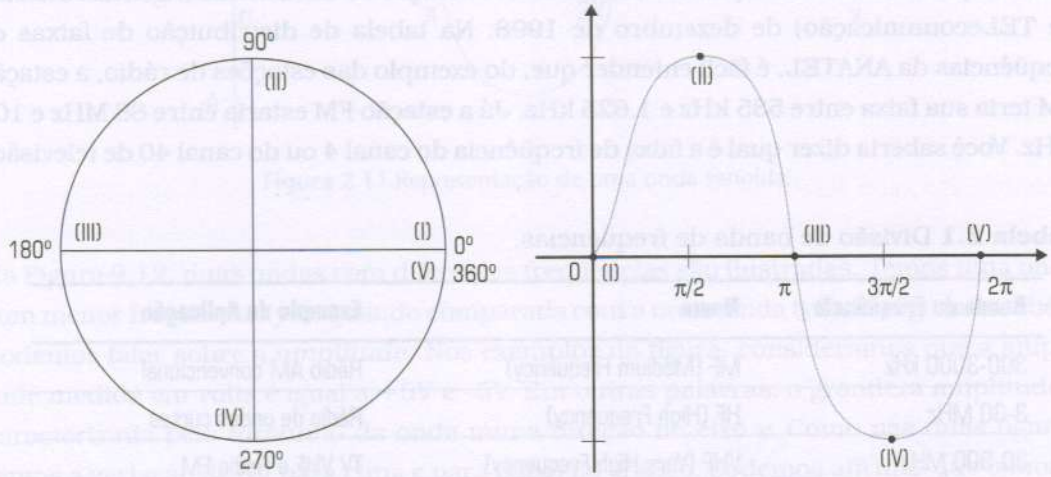


Figura 2.14 Variações de fase da senoide.

Finalizando, os gráficos apresentados na Figura 2.15 ilustram os casos em que temos (a) duas ondas com a mesma fase de freqüência, mas com diferentes amplitudes. Já na figura (b), temos duas ondas com a mesma amplitude e diferentes fases de freqüências.

Sinais Analógicos e Digitais

Numa rede de comunicação, os dados são propagados de um determinado ponto A para outro B como um sinal elétrico, que pode estar numa forma analógica ou digital.

O sinal analógico é caracterizado pela contínua variação da onda eletromagnética, que pode ser transmitida por uma gama diferentes de meios. Em outras palavras, o sinal analógico pode ser transmitido empregando-se meios guiados (cabos de par trançado, cabos coaxiais e cabos de fibra óptica) e meios não-guiados (a atmosfera terrestre ou o espaço).

O sinal digital, por outro lado, é uma seqüência de pulsos de voltagem que podem ser transmitidos sobre meios guiados (cabos de par trançado, cabos coaxiais e cabos de fibra óptica). Na Figura 2.16, ilustramos a transmissão dos sinais analógicos e digitais.

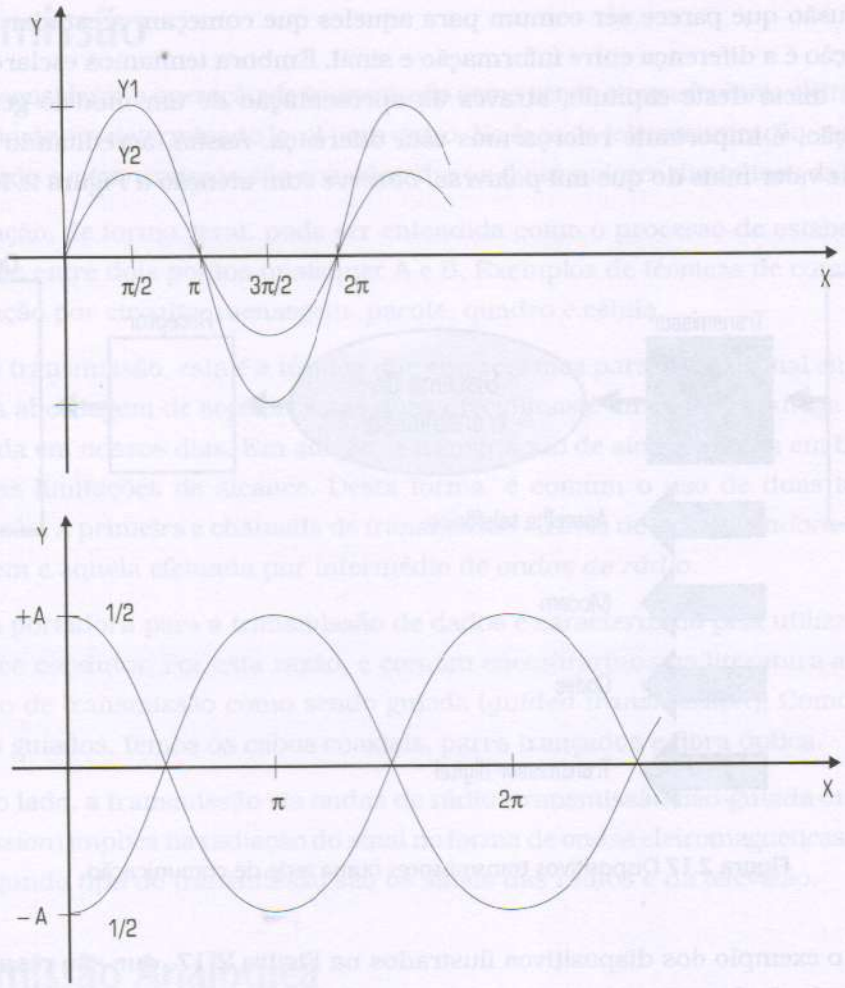


Figura 2.15 Freqüência e amplitude de senoides.

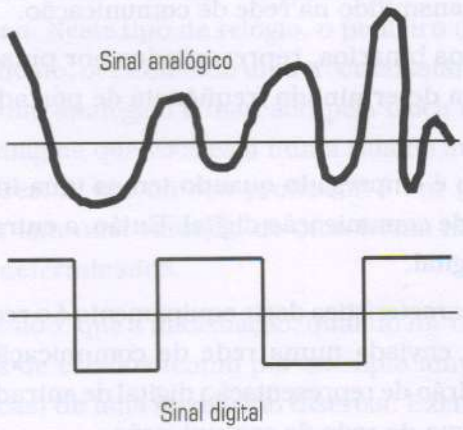


Figura 2.16 Sinais analógicos e digitais.

Uma confusão que parece ser comum para aqueles que começam a estudar a área de comunicação é a diferença entre informação e sinal. Embora tenhamos esclarecido esta dúvida no início deste capítulo, através da apresentação de um modelo genérico de comunicação, é importante reforçarmos esta diferença. Assim, acreditando que uma figura pode valer mais do que mil palavras, observe com atenção a Figura 2.17.

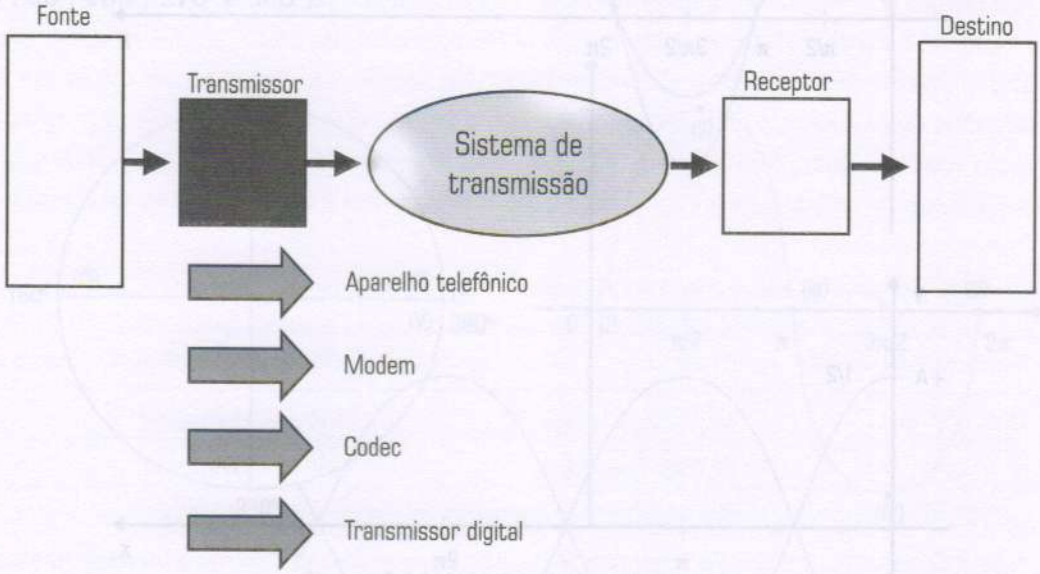


Figura 2.17 Dispositivos transmissores numa rede de comunicação.

Utilizando o exemplo dos dispositivos ilustrados na Figura 2.17, que são responsáveis pela conversão de determinadas informações (ou dados) nos sinais apropriados para a rede de comunicação, fica mais fácil a compreensão. Desta forma, vale lembrar:

- Telefone: efetua a transformação das freqüências de onda da voz em sinal analógico apropriado para ser transmitido na rede de comunicação.
- Modem: aceita os dados binários, representados por pulsos de voltagem, e efetua a modulação para uma determinada freqüência de portadora da rede de comunicação analógica.
- Codec: este dispositivo é empregado quando temos uma informação analógica que deverá usar uma rede de comunicação digital. Então, a entrada é um dado analógico e a saída é um sinal digital.
- Transmissor digital: a característica deste equipamento é o recebimento da informação digital que deverá ser enviada numa rede de comunicação digital. É importante compreender que o padrão de representação digital de entrada não é necessariamente compatível com o sistema da rede de comunicação.

Transmissão

Podemos considerar a operação de transmissão como sendo a transferência elétrica de uma informação de um determinado local para outro. Na área de telecomunicação, muitas vezes a *comutação* e a *transmissão* são consideradas as duas maiores disciplinas da área.

A comutação, de forma geral, pode ser entendida como o processo de estabelecimento de conexão entre dois pontos quaisquer A e B. Exemplos de técnicas de comutação são a comutação por circuito, mensagem, pacote, quadro e célula.

Quanto à transmissão, esta é a técnica que empregamos para levar o sinal entre os dois pontos. A abordagem de separar estas duas disciplinas é uma prática antiga não muito empregada em nossos dias. Em adição, a transmissão de sinal baseada em banda base tem sérias limitações de alcance. Desta forma, é comum o uso de duas técnicas de transmissão. A primeira é chamada de transmissão através de uma *portadora*. A segunda abordagem é aquela efetuada por intermédio de *ondas de rádio*.

O uso da portadora para a transmissão de dados é caracterizado pela utilização de um meio físico condutor. Por esta razão, é comum encontrarmos na literatura a referência deste tipo de transmissão como sendo guiada (*guided transmission*). Como exemplos de meios guiados, temos os cabos coaxiais, pares trançados e fibra óptica.

Por outro lado, a transmissão via ondas de rádio (transmissão não-guiada ou *unguided transmission*) implica na radiação do sinal na forma de ondas eletromagnéticas. Exemplos deste segundo tipo de transmissão são os sinais das rádios e da televisão.

Transmissão Analógica

A forma de transmissão analógica é caracterizada por uma constante troca de estado. Um exemplo clássico de comparação para melhor entendermos como o sinal analógico opera: basta imaginarmos como o antigo relógio de ponteiros (também chamado de relógio analógico) funciona. Neste tipo de relógio, o ponteiro dos segundos sempre está continuamente em movimento, ocasionando uma troca constante da informação da hora. Em outras palavras, o sinal analógico é marcado pela troca constante de estado. Você deseja outro exemplo? Imagine que você está numa sala de aula ouvindo seu professor de redes de computadores. A voz do seu professor é um perfeito exemplo de sinal analógico, pois a mesma tem uma variação de uma forma não precisa, ou seja, oscila entre altos e baixos não determinados.

Podemos dizer, simplificando, que a informação, quando for transmitida como um sinal analógico, terá variações de estados (como por exemplo amplitude, freqüência e fase, entre outras características) de uma forma não discreta. Exemplos de sinais analógicos típicos são as ondas das estações de rádio (AM e FM) e TV. Interessante de se comentar que o vídeo utiliza a modulação por amplitude, o som faz a modulação por freqüência e a cor é modulada por fase. Todos os sinais comentados estão em formato analógico.

Transmissão Digital

Na transmissão analógica, efetuamos a transmissão do sinal e, no elemento receptor, é preciso comparar a magnitude do sinal com um padrão. Por outro lado, a forma de transmissão digital consiste no envio de sinais com estados discretos (ou precisos). Exemplos são os estados ligado ou desligado, 0 ou 1, aberto ou fechado, e assim por diante (não podemos ter uma situação em que o estado é meio aberto ou meio fechado). Este fato permite que tenhamos, na transmissão digital, circuitos de decisão mais simples, o que nos leva a ambientes de transmissão menos dispendiosos.

Os dois tipos de sinais considerados na comunicação de dados são correspondentes aos dois tipos de representação dos dados, o analógico e o digital.

Na Figura 2.16, é possível notar que a mudança de estado na curva do sinal analógico é contínua, enquanto que no sinal digital temos um mudança quase instantânea entre dois estados (em cima/embaixo quase no mesmo instante).

NOTA

Uma vez que os computadores são tipicamente equipamentos digitais, a maioria das redes de computadores implementa a tecnologia digital para a comunicação entre dispositivos conectados às mesmas.

Um exemplo prático (e simples) que demonstra a utilização dos sinais de transmissão é o acesso a um provedor de serviços de Internet (ISP – Internet Service Provider) de um microcomputador pessoal. Na Figura 2.18, o usuário está em casa trabalhando no seu computador pessoal ligado a seu provedor de serviços de Internet. A ligação é efetuada através de um modem acoplado à linha telefônica convencional.

Figura 2.18 Exemplo de acesso a um ISP (Internet Service Provider).

O modem é um equipamento eletrônico que faz a *MO*dulação do sinal digital do computador para o sinal analógico da rede de comunicação (neste caso representada pela rede pública de telefonia). Na outra ponta, isto é, do lado do prestador de serviço de Internet, outro modem faz a *DEM*odulação do sinal analógico para o sinal digital usado nos computadores do prestador de serviço.

É importante o leitor observar que algumas simplificações nesta figura foram feitas para melhor visualização do ambiente sem aumentar o grau de complexidade. Entre as simplificações, é relevante citar que (1) todos os computadores/servidores do prestador de serviços de Internet têm ligação com um modem e (2) todos os modems devem ter conexão com a rede pública de telefonia.

Representação Binária

Para que não tenhamos uma ambigüidade na transmissão do sinal e que possamos aproveitar melhor os enlaces de comunicação das redes, é necessário que códigos padronizados sejam utilizados entre as entidades que estão se comunicando numa rede.

Visando uma padronização na forma de se representar univocamente os caracteres, códigos com 7 e 8 bits são geralmente utilizados. Exemplo de códigos bastante empregados na representação de caracteres são o *EBCDIC* e o *ASCII / IA5*.

Posição dos Bits																	
			4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
			3	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1
			2	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
			1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
8	7	6	5														
0	0	0	0	NUL	SOH	STX	ETX	PF	HT	LC	DEL			SMM	VT	FF	CR	SO	SI
0	0	0	1	DLE	DC1	DC2	DC3	RES	NL	BS	IL	CAN	EM	CC		IFS	IGS	IRS	IUS
0	0	1	0	DS	SOS	FS		BYP	LF	EOB	PRE			SM			ENQ	ACK	BEL
0	0	1	1			SYN		PN	RS	UC	EOT					DC4	NAK		SUB
0	1	0	0	SP										¢	.	<	(	+	|
0	1	0	1	&										!	$	*	)	;	¬
0	1	1	0		/									¦	%	–	>	?	
0	1	1	1											:	#	@	'	=	"
1	0	0	0		a	b	c	d	e	f	g	h	i						
1	0	0	1		j	k	l	m	n	o	p	q	r						
1	0	1	0			s	t	u	v	w	x	y	z						
1	0	1	1																
1	1	0	0		A	B	C	D	E	F	G	H	I						
1	1	0	1		J	K	L	M	N	O	P	Q	R						
1	1	1	0			S	T	U	V	W	X	Y	Z						
1	1	1	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9						

Figura 2.19 Código EBCDIC.

O EBCDIC (Extended Binary Coded Decimal Interchange Code), representado na Figura 2.19, é um código de 8 bits desenvolvido pela IBM. Por causa do largo uso de equipamentos IBM, este código é bastante empregado nos computadores de grande porte (*mainframes*). Por outro lado, o ASCII (American Standards Committee for Information Interchange) é um código desenvolvido visando uma certa padronização e utiliza 7 bits. O ITU-T (International Telecommunication Union – T) padronizou o ASCII denominado-o de IA5 (International Alphabet Number 5). A Figura 2.20 ilustra uma tabela do código ASCII/IA5.

Posição dos Bits			7	0	0	0	0	1	1	1	1
			6	0	0	1	1	0	0	1	1
			5	0	1	0	1	0	1	0	1
4	3	2	1								
0	0	0	0	NUL	DLE	SP	0	@	P	\	p
0	0	0	1	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
0	0	1	0	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
0	0	1	1	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
0	1	0	0	EOT	DC4	$	4	D	T	d	t
0	1	0	1	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
0	1	1	0	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
0	1	1	1	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
1	0	0	0	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
1	0	0	1	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
1	0	1	0	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
1	0	1	1	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
1	1	0	0	FF	FS	,	<	L	\	l	|
1	1	0	1	CR	GS	–	=	M	]	m	}
1	1	1	0	SO	RS	.	>	N	^	n	~
1	1	1	1	SI	US	/	?	O	_	o	DEL

Figura 2.20 Código ASCII/IA5.

Tanto o EBCDIC quanto o ASCII/IA5 cobrem todos os caracteres alfabéticos, numéricos e sinais de pontuação. Estes caracteres são conhecidos como caracteres que podem ser impressos. Existem outros caracteres que não podem ser impressos; todavia, também são contemplados nos dois códigos. Entre os caracteres que não podem ser impressos estão, por exemplo, o espaço em branco, o caractere, *del*, a representação do caractere *escape*, o caractere de nova linha e outros.

Exemplo: Suponha que você queira representar a palavra *mensagem* para um dada transmissão qualquer. Na utilização do código ASCII/IA5, a-palavra *mensagem* seria representada como visto na Figura 2.21 (A).

Por outro lado, caso o código utilizado fosse o EBCDIC, teríamos a representação da palavra *mensagem* como ilustrado na Figura 2.21 (B).

A)

Bit	M	E	N	S	A	G	E	M
1	1	1	0	1	1	1	1	1
2	0	0	1	1	0	1	0	0
3	1	1	1	0	0	1	1	1
4	1	0	1	0	0	0	0	1
5	0	0	0	1	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1	1	1	1	1	1	1	1

B)

Bit	M	E	N	S	A	G	E	M
1	0	1	1	1	1	1	1	0
2	0	0	0	1	0	1	0	0
3	1	1	1	0	0	1	1	1
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	1	0	0	1	1	1	0
6	0	0	0	1	0	0	0	0
7	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1

Figura 2.21 Representação da palavra *mensagem*.

Os códigos ASCII/IA5 (American Standard Code for Information Interchange/International Alphabet Number 5) e EBCDIC (Extended Binary Coded Decimal Interchange Code) foram usados no exemplo devido a maior utilização na prática destes dois códigos.

Transmissão em Banda Base e Banda Larga

O termo *largura de banda* é definido nas redes de comunicação de dados como sendo a quantidade máxima de transmissão de diferentes sinais num meio físico (exemplos de meio físico são um cabo ótico ou um cabo coaxial). A largura de banda de um cabo pode ser subdividida em *canais*. Um canal é definido como uma porção de largura de banda que pode transmitir dados.

Nas redes de computadores, o termo *largura de banda* é, usualmente, definido como sendo a capacidade máxima de transmissão de bits, através de um determinado meio, por segundo. Assim dizemos que uma determinada rede funciona a 100 Mbps, 1 ou 30 Gbps.

O conceito de largura de banda apresentado para as redes de computadores parece ser diferente do conceito empregado nas redes de comunicação de dados. Neste segundo ambiente, a largura de banda é definida como sendo a quantidade máxima de transmissão de diferentes sinais num mesmo meio físico. Assim, qual seria a razão para esta (aparente) diferença de conceito?

As duas formas de se utilizar a capacidade de transmissão de um meio físico são:

- Banda base: neste tipo de transmissão, toda a largura de banda é usada por um único canal. Esta tecnologia é freqüentemente usada para transmissão digital (embora possa ser também empregada em transmissão analógica). Por esta razão, a maioria das redes locais é implementada sob esta técnica.
- Banda larga: este modelo de transmissão é caracterizado pela divisão da largura de banda em múltiplos canais, podendo cada canal transmitir diferentes sinais analógicos.

Por este motivo, redes com largura de banda larga podem transmitir múltiplos sinais simultâneos.

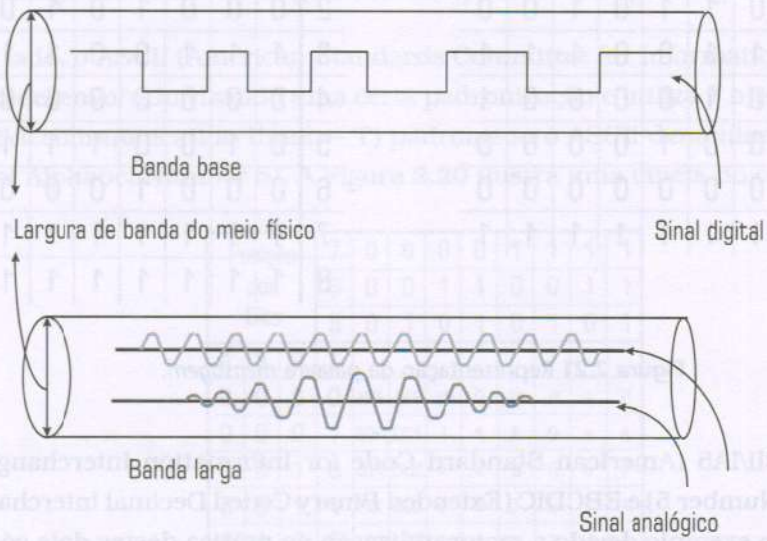


Figura 2.22 Transmissão em banda base e banda larga.

A Figura 2.22 ilustra um exemplo de transmissão em banda base e outro em banda larga considerando-se como meio físico um cabo. No primeiro caso, temos um cabo no qual somente uma transmissão digital é realizada. Assim, neste exemplo, a largura de banda é do tipo banda base. No outro caso, dois sinais analógicos são transmitidos em paralelo. Este caso caracteriza a divisão da banda em dois canais de transmissão, ou seja, em banda larga.

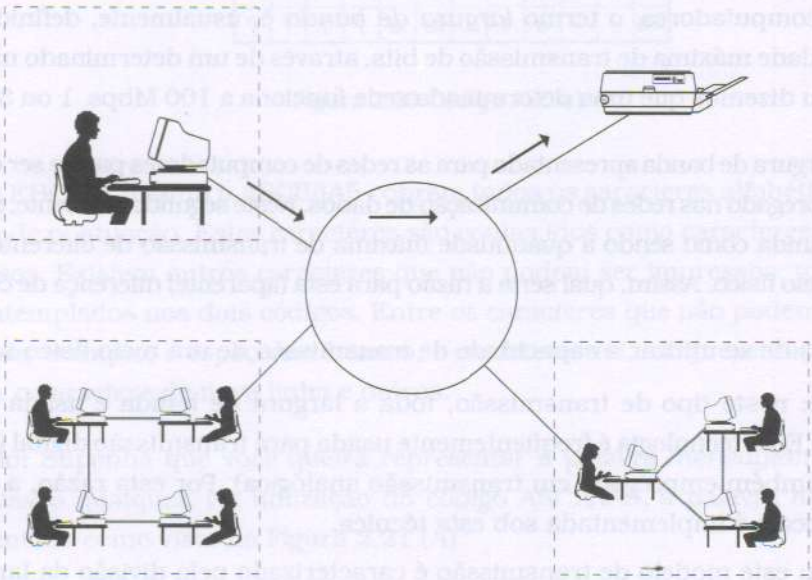


Figura 2.23 Exemplo de um ambiente de banda base.

O exemplo de configuração de rede, mostrado na Figura 2.23, fornece uma idéia do uso da técnica de banda base numa rede. Na situação ilustrada nesta figura, temos uma rede local para a qual o usuário do departamento de finanças, por exemplo, envia do seu microcomputador um trabalho para ser impresso na impressora de uso geral da empresa. Outros usuários da rede devem esperar que a transmissão termine para que comecem a ter sua solicitação atendida. Esta operação de espera é totalmente transparente, uma vez que a arquitetura de protocolo de rede efetua a gerência de controle de acesso à rede e transmissão. Explicaremos, ao longo deste livro, como são implementadas as políticas de gerenciamento de acesso às redes, que permitem, entre outras facilidades, a transparência no uso de recursos.

No nosso próximo exemplo, ilustrado na Figura 2.24, consideramos um ambiente de rede metropolitana usando a tecnologia de banda larga.

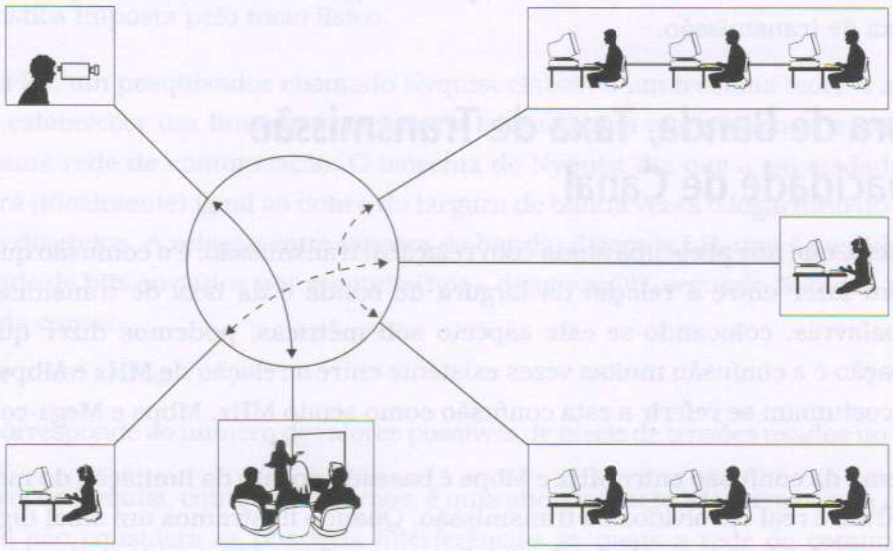


Figura 2.24 Exemplo de um ambiente de banda larga.

A rede com capacidade banda larga é empregada, pois permite que diferentes tipos de sinais (imagem, dados, som, voz e outros) circulem pelo meio físico no mesmo instante. No exemplo, temos a comunicação entre duas redes locais, a conexão da rede de telefonia pública, a conexão entre duas centrais telefônicas (privadas ou públicas) e ainda uma transmissão de sinal de TV a cabo.

Nesta configuração, são necessários amplificadores para a geração de diferentes sinais e interfaces de alto custo para interligação à rede dos equipamentos da configuração. É importante ressaltar que esta solução não é geralmente empregada em rede locais. Conforme comentamos anteriormente, uma vez que os computadores são tipicamente equipamentos digitais, a maioria das redes implementa a tecnologia digital para a comunicação entre dispositivos conectados às mesmas.

Outros fatores que inibem a utilização de banda larga em rede locais é o elevado custo operacional envolvido na utilização desta técnica quando comparado com a banda base. Engenheiros e técnicos com larga experiência são necessários no planejamento e instalação dos amplificadores, que geram os diferentes sinais, além de haver uma constante necessidade de manutenção do sistema para calibragem dos amplificadores. Adicionado-se a este aspecto, há o elevado custo das interfaces de ligação computador/rede quando comparadas com interfaces usadas em rede com tecnologia banda base.

Com os pontos expostos anteriormente, podemos concluir que a diferença aparente de definição do que é largura de banda para as redes de comunicação e redes de computadores é compreensível. Enquanto, na primeira configuração, estamos nos referindo às redes de banda larga, nas redes de computadores é usual que estejamos nos referindo à rede em banda base na qual a largura de banda está suportando uma única taxa de transmissão.

Largura de Banda, Taxa de Transmissão e Capacidade de Canal

Um aspecto, que nos preocupa ainda com relação à transmissão, é a confusão que alguns costumam fazer entre a relação da largura de banda e da taxa de transmissão. Em outras palavras, colocando-se este aspecto sob métricas, podemos dizer que nossa preocupação é a confusão muitas vezes existente entre a relação de MHz e Mbps (alguns autores costumam se referir a esta confusão como sendo MHz, Mbps e Mega-confusão).

O problema da confusão entre MHz e Mbps é baseado no fato da limitação do meio físico e do hardware real envolvidos na transmissão. Quando ilustramos um sinal digital com a representação de valores de 1 e 0 com formas perfeitas, é importante lembrar que é uma aproximação ideal. Na prática, a sinalização dos 0s e 1s não pode ser efetuada instantaneamente. Então, existe uma certa tolerância de quando podemos admitir a amostragem para entender a representação efetuada.

Mas, caso o leitor ainda não tenha se preocupado com este problema, deve observar os exemplos de meios de transmissão, taxa de transmissão e largura de banda que a Tabela 2.2 apresenta seguir:

Tabela 2.2 Exemplo da relação de largura de banda e taxa de transmissão.

Meio de transmissão	Taxa de transmissão	Largura de banda
Par trançado	4 Mbps	3MHz
Cabo coaxial	550 Mbps	350 MHz
Fibra óptica	2 Gbps	2 Gbps

Na tabela do exemplo anterior, é possível notar que a largura de banda (expressa em MHz) é menor que a taxa de transmissão (expressa em Mbps). Em uma primeira observação da tabela, podem surgir as seguintes dúvidas:

- Estaria esta tabela correta?
- Poderíamos encontrar uma outra tabela com uma relação inversa entre MHz e Mbps?
- Como poderíamos explicar de forma precisa a relação de largura de banda e taxa de transmissão?

A limitação na transmissão dos bits enviados em sistema de comunicação é decorrente da limitação física imposta pelo meio. De outra forma, num sistema de comunicação qualquer, independente de como o sinal será transportado (ou seja, através de ondas de corrente elétrica, rádio ou luz), a largura de banda não será infinita devido à limitação característica imposta pelo meio físico.

Nos anos 20, um pesquisador chamado Nyquist elaborou um teorema teórico no qual é possível estabelecer um limite teórico para a taxa máxima que podemos transmitir os sinais numa rede de comunicação. O teorema de Nyquist diz que a capacidade de um canal será (idealmente) igual ao dobro da largura de banda vezes o logaritmo do número de níveis discretos. A relação entre largura de banda, digamos *LB*, que é medida Hz, e a quantidade de bits enviados por segundo (bps), digamos *QB*, segundo Nyquist, pode ser formulada como:

$$QB = 2 \times LB \times (\log_2 N)$$

onde *N* corresponde ao número de valores possíveis de níveis de tensões usados no sistema.

A proposta de Nyquist, como comentamos, é uma abordagem teórica; em outras palavras, o mesmo não considera as possíveis interferências às quais a rede de comunicação é exposta. Assim, além da consideração dos limites físicos do meio, o sistema está exposto às interferências externas que podem causar perda de desempenho no ambiente. No final dos anos 40, Claude Shannon propôs uma extensão ao teorema de Nyquist na qual seria considerada a parcela do ruído. O Teorema de Shannon é então expresso como:

$$C = LB \times \log_2 (1 + S/R)$$

onde C é a capacidade do canal em bits por segundo (bps), S representa a potência média do sinal, e R a parcela do ruído. A relação S/R é geralmente expressa em decibéis (dB). A quantidade de decibéis significa dizer que a taxa de sinal-ruído é equivalente a expressão:

$$10 \log_{10} S/R$$

Dos teoremas de Nyquist e Shannon podemos concluir que:

- Uma melhor codificação nos leva a uma transmissão mais eficiente.
- Mesmo com uma codificação mais eficiente teremos as leis físicas como um fator limitador na transferência dos bits.

Exemplo: Um caso clássico de cálculo de capacidade de canal é a consideração do teorema de Shannon aplicado a um canal comum de voz. Suponhamos uma largura de banda (*LB*) de 3.000 Hz e uma parcela de sinal-ruído (S/R) da ordem de 1.023 (ou seja, 30 dB). Calcule a capacidade do canal para transmissão de dados em bps.

1° Passo – É interessante que seja primeiro calculada a parcela $\log_2 (1+ S/R)$:

$$= \log_2 (1 + S/R)$$
$$= \log_2 (1+ 1023)$$
$$= 10$$

2° Passo – Com a parcela $\log_2 (1+ S/R)$ já calculada, a aplicação é direta da fórmula da capacidade do canal.

$$C = LB \times \log_2 (1 + S/R)$$
$$C = 3.000 \times 10$$
$$C = 30.000 \text{ bps}$$

Do cálculo do exemplo anterior, podemos concluir que a taxa máxima de transmissão num canal de voz de 3.000 Hz é de 30.000 bps. Nossa intenção, ao utilizar este exemplo clássico, é ajudar a evitar a confusão entre MHz e bps num dado ambiente de rede.

Bps, Baud e Símbolos

Uma confusão bastante comum entre os estudantes e profissionais na área de telecomunicação e redes (em geral) é a terminologia e os conceitos de bps (bits por segundo), *baud* e símbolos.

A abordagem de bps já é clara por si só, ou seja, temos a quantidade de bits por segundo. Por outro lado, *baud* é a medida de transições por segundo ou, em outras palavras, a grandeza se refere a quantas vezes por segundo ocorreu uma transição de estado do sinal. Assim, num ambiente onde temos a taxa de sinalização de 400 bauds com 3 bits por elemento de sinalização, teremos uma taxa de transferência de 1.200 bps.

Quanto ao uso de símbolos e baud de maneira intercambiável, é preciso tomarmos certo cuidado. É preferível que utilizemos símbolos quando estivermos nos referindo à saída de um dispositivo. Um exemplo é o caso de um canal codificado, onde uma certa quantidade de bits é a base da entrada e saída em símbolos. Em outras palavras, porque podemos ter mais símbolos por segundo do que bits por segundo na entrada, é preciso tomar cuidado ao empregar baud e símbolo de maneira única. Em um caso onde a taxa de codificação é metade (a técnica conhecida por *FEC – Forward Acting Error Correction* é um exemplo), teremos a entrada de 4.800 bps e a saída será de 9.600 símbolos por segundo.

Sentidos de Transmissão

Quando um professor está ministrando um curso, a informação é passada em uma única direção (isto é, professor → aluno). Quando a sessão de perguntas é aberta, a comunicação torna-se bidirecional, ou seja, aluno/professor e professor/aluno.

Em comunicação de dados, quando dois equipamentos trocam informações, temos os possíveis sentidos de transmissão:

- Simplex: neste modo de comunicação temos os dados fluindo em uma única direção. Exemplos são a recepção dos sinais de uma estação de rádio AM, FM e de um canal de TV.
- Half-Duplex: os equipamentos que trabalham em modo half-duplex são capazes de transmitir dados nos dois sentidos (isto é, receber e enviar), porém em um sentido de cada vez. Numa operação de transmissão half-duplex, um equipamento envia uma solicitação para obter uma informação ou serviço a um outro equipamento na outra ponta do enlace de comunicação. O segundo equipamento ouve a solicitação, retornando ao remetente a informação ou serviço assim que o remetente pára de comunicar. Em outras palavras, não há uma sobreposição na comunicação. Um exemplo clássico é dos transmissores conhecidos por *walk-talk*, muito usados para segurança e controle. Assim que um indivíduo transmite sua mensagem, ele sinaliza para o destinatário através de uma expressão tipo câmbio, e a ação de liberar o botão de transmissão. Desta forma, com a liberação do canal o destinatário poderá responder.
- Duplex: este modo de comunicação, também conhecido como *full-duplex*, é caracterizado pela informação fluindo em paralelo em ambas as direções ao mesmo tempo. Um equipamento pode enviar uma solicitação e no mesmo instante o outro equipamento pode estar respondendo. Os telefones se encaixam nos tipos de dispositivos que ilustram a comunicação full-duplex.

A Figura 2.25 ilustra os três sentidos de transmissão do sinal.

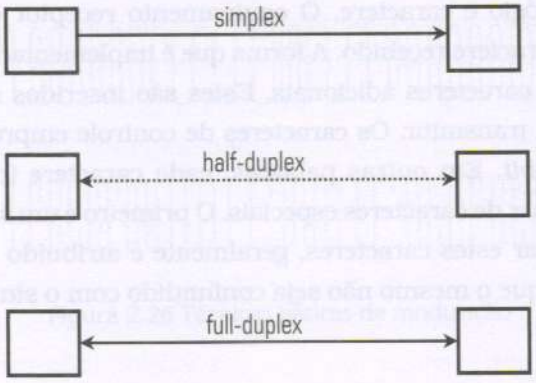


Figura 2.25 Sentidos de transmissão do sinal.

Modos de Transmissão

Nas redes de comunicação, normalmente, os dados são transmitidos entre dois equipamentos quaisquer (chamados de DTE – *Data Terminal Equipment* – ou ETD – Equipamento Terminal de Dados) em múltiplas unidades de tamanho fixo, geralmente de 8 bits, através dos equipamentos de comunicação (denominados de DCE – *Data Communication Equipment* – ou ECD – Equipamento de Comunicação de Dados).

O modo de transmissão de dados entre dois equipamentos pode ser efetuado considerando-se o sincronismo, ou não, dos relógios dos equipamentos envolvidos na transmissão (cada computador tem como parte de sua configuração um dispositivo eletrônico que controla o tempo, ou relógio, de operações efetuadas pelo computador). No primeiro caso, com sincronismo dizemos que a transmissão é *síncrona*. No segundo, dizemos que a transmissão é *assíncrona*.

A transmissão síncrona é caracterizada pela transferência de qualquer bloco de caracteres entre dois equipamentos de uma forma contínua. Isto é, o equipamento receptor garante que o bloco de caracteres enviados pelo remetente será recebido da mesma forma que foi enviado.

Para que a transmissão dos sinais de maneira síncrona seja efetuada com sucesso entre dois equipamentos, podemos utilizar vários níveis de sincronização. Dentre estas técnicas, podemos destacar as seguintes:

- O conjunto de bits transmitidos está codificado de uma forma que o receptor pode manter o sincronismo em nível de bit;
- Todos os quadros são precedidos de um ou mais conjunto de bytes (ou caracteres) que asseguram que o receptor vai corretamente receber a informação enviada pelo remetente;
- O conteúdo de cada quadro está encapsulado entre um par de caracteres reservados que garante a sincronização (é o caso da transmissão assíncrona que explicamos a seguir).

Na transmissão assíncrona, temos cada caractere tratado de uma forma independente quanto à sincronização de relógio e caractere. O equipamento receptor é responsável pela re-sincronização a cada caractere recebido. A forma que é implementada nesta técnica leva em consideração o uso de caracteres adicionais. Estes são inseridos no início e no final do caractere que se deseja transmitir. Os caracteres de controle empregados são conhecidos como *start bit* e *stop bit*. Em outras palavras, cada caractere (ou byte) transmitido é acompanhado por um par de caracteres especiais. O primeiro é um *start bit* e o último é um *stop bit*. Para diferenciar estes caracteres, geralmente é atribuído um tempo duas vezes maior ao *stop bit* para que o mesmo não seja confundido com o *start bit*.

Modulação, Codificação e Multiplexação

Modulação

A modulação é um processo no qual certas características de uma onda, denominada de *portadora*, são modificadas segundo uma *função modulante*. As funções modulantes são caracterizadas pelas informações de freqüência que discutimos anteriormente. As três formas genéricas de modulação são: por amplitude (AM), por freqüência (FM) e por fase (PM).

Na Figura 2.26, existem três exemplos de técnica de modulação. Estas são utilizadas para a conversão dos sinais binários em formas admissíveis para transmissão em uma rede pública de comutação telefônica (PSTN – *Public Switched Telephone Network*). Da figura, é possível entender que na modulação AM, Figura 2.26 (a), é efetuada uma modificação na onda portadora em termos de amplitude. Já no caso da modulação FM, Figura 2.26 (b), a portadora é alterada em sua freqüência segundo o sinal recebido (0 ou 1). Por fim, na modulação por fase, Figura 2.26 (c), temos diferentes fases para cada conjunto de sinais transmitidos.

As três técnicas básicas de modulação funcionam bem para sinais analógicos. Todavia, estas técnicas requerem pelo menos um ciclo de onda portadora para enviar um bit. Visando aumentar o número de bits transmitidos num intervalo de tempo, quando consideramos a transmissão de sinais digitais, é usual a utilização das técnicas de modulação FSK, PSK e DPSK. O motivo de se empregar estas técnicas é que podemos de uma maneira precisa quantificar mais bits (0s e 1s) num determinado espaço de tempo.

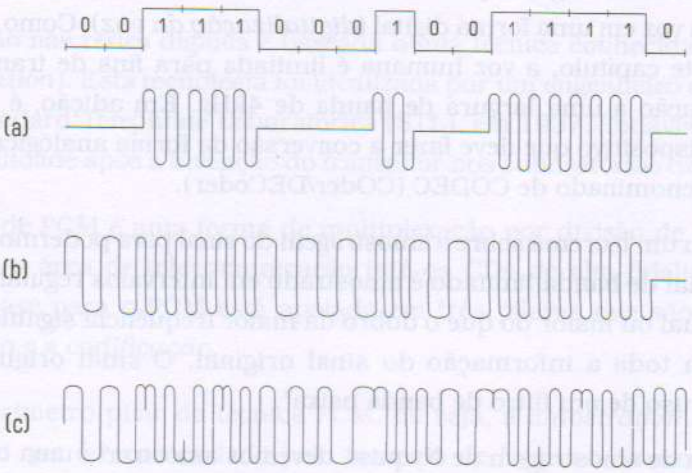


Figura 2.26 Técnicas básicas de modulação

A modulação por desvio de freqüência (FSK) consiste em alterar a freqüência do sinal da portadora de acordo com a informação a ser transmitida. Em outras palavras, temos freqüências diferentes para a transmissão de 0s e 1s.

A modulação por desvio de fase (PSK) consiste em alterar a fase do sinal da portadora de acordo com a informação a ser transmitida. Em outras palavras, temos as fases diferentes para a transmissão de 0s e 1s.

A modulação por desvio de fase diferencial (DPSK) é uma forma de modulação derivada da PSK. Esta técnica consiste em: (1), alterar a fase do sinal da portadora de acordo com a mudança da mesma fase quando a informação a ser transmitida for 0; (2), no fato de na transmissão de 1s não se alterar a fase.

Codificação

Toda a informação que usualmente trafega numa rede de comunicação hoje em dia, seja voz ou dados, é transportada em redes digitais. Em adição, existem ainda vários esforços no sentido de se levar o acesso digital às residências dos usuários, como é o caso das redes digitais de serviços integrados (RDSI). Desta forma, devemos de alguma maneira dispor de técnicas que façam com que a representação digital numa linha de comunicação seja eficiente. Estas técnicas são denominadas de *codificação*.

A codificação é uma mudança na representação da informação de entrada para que esta possa ser transportada num sistema de comunicação digital. A informação de entrada pode ser analógica (como a voz humana) ou digital (proveniente de um computador). Em outras palavras, o objetivo da codificação é a transformação de uma informação (como a forma analógica da voz humana ou proveniente de um equipamento digital como um computador) em um sinal digital adequado às condições de um rede de comunicação digital.

Na utilização de circuitos digitais para a transmissão da voz precisamos modificar a forma analógica da voz em uma forma digital (*digitalização da voz*). Como comentamos anteriormente neste capítulo, a voz humana é limitada para fins de transmissão nas redes de comunicação a uma largura de banda de 4kHz. Em adição, é sempre bom relembrar que o dispositivo que deve fazer a conversão da forma analógica da voz para a forma digital é denominado de CODEC (COder/DECoder).

Nyquist estabeleceu um teorema sobre a amostragem do sinal para podermos reconstituir o sinal: "Se um sinal de banda limitado é amostrado em intervalos regulares de tempo, e com uma taxa igual ou maior do que o dobro da maior freqüência significativa, então, a amostra contém toda a informação do sinal original. O sinal original pode ser reconstituído pelo uso de um filtro de banda baixa".

Segundo o teorema de amostragem de Nyquist, devemos amostrar a uma taxa do dobro do sinal de uma determinada freqüência para podermos reconstituir o sinal original. Então, podemos dizer que para um canal de voz de 4 kHz, a taxa de amostragem deverá ser igual a 8.000 vezes por segundo (ou seja, 2 x 4.000). Interessante observar que, se temos que fazer 8.000 amostragens, deveremos fazê-las a cada 125 μ segundos. De outra forma, temos que efetuar a amostragem na taxa de 1/8.000 unidades de tempo (125 μ segundos) para reconstituir o sinal original na saída do sistema de comunicação.

Um outro exemplo que podemos citar para ilustrar a necessidade de amostragem para reconstituir um sinal original seria num canal analógico de um radar de 56 kHz, no qual, a taxa de amostragem deverá ser equivalente a 112.000 vezes por segundo (ou seja 2 x 56.000).

A Figura 2.27 mostra um esboço de um esquema geral de conversão da voz analógica para um sistema digital, sua transmissão e reconversão para a forma analógica.

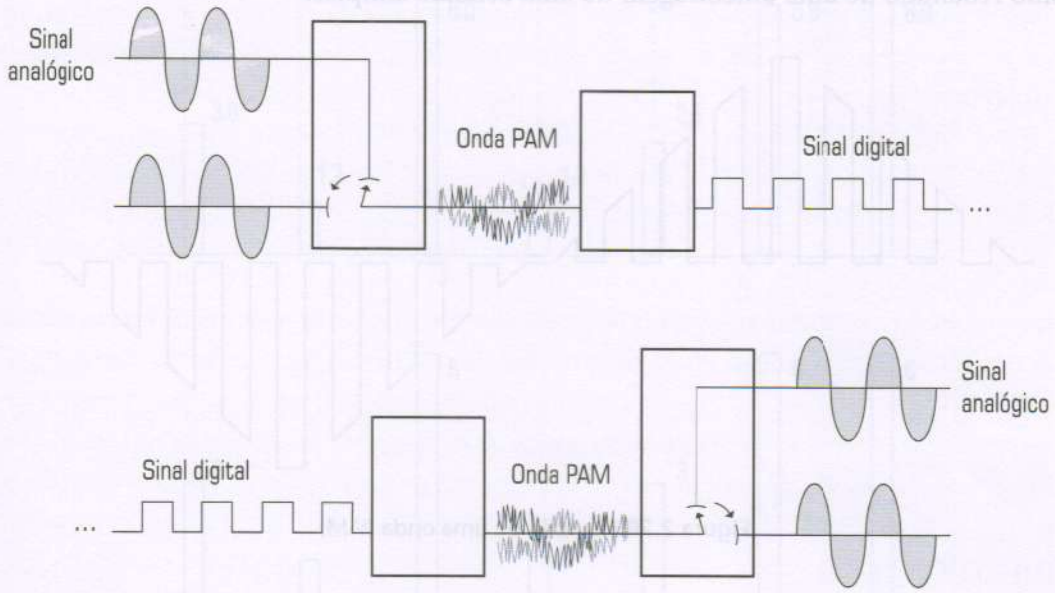


Figura 2.27 Digitalização da voz.

A transmissão nas redes digitais é baseada numa técnica conhecida como PCM (*Pulse Code Modulation*). Esta tecnologia foi idealizada por um engenheiro chamado Reeve, da empresa Standard Telephone Laboratories (STL), em 1937. Todavia, o uso do PCM só se tornou realidade após a invenção do transistor nos Laboratórios da Bell por Shockley.

A tecnologia de PCM é uma forma de multiplexação por divisão de tempo (TDM), que revolucionou a área de telecomunicação (até os CDs de alta fidelidade utilizam esta técnica). A base para o PCM está apoiada em três pilares que são a *amostragem*, a *quantificação* e a *codificação*.

Quanto ao primeiro pilar da técnica PCM, ou seja, a *amostragem*, o leitor já possui uma idéia do que é recomendado pelo teorema de Nyquist. Assim, vamos analisar a Figura 2.27. Após o sinal analógico de voz ter sido inserido no circuito de amostragem (ou dispositivo de amostragem), este sinal é transformado num sinal conhecido como Pulse Amplitude Modulated (PAM).

Na maioria dos sistemas PCMs, a multiplexação por divisão de tempo (TDM) é empregada, pois temos um tronco de transmissão digital e devemos compartilhar este meio físico

para transmitir vários sinais digitais. Nestes sistemas, a amostragem não envolve apenas um único canal de voz. Em outras palavras, porque temos um único canal de transmissão com vários sinais que são multiplexados, devemos lembrar que a amostragem não será exclusiva para um único canal exclusivo de voz. O resultado desta amostragem é conhecido como uma onda de PAM (Pulse Amplitude Modulated). A técnica de amostragem é denominada de Pulse Amplitude Modulation. Na Figura 2.28, é ilustrada uma onda PAM como resultado de uma amostragem de uma senóide simples.

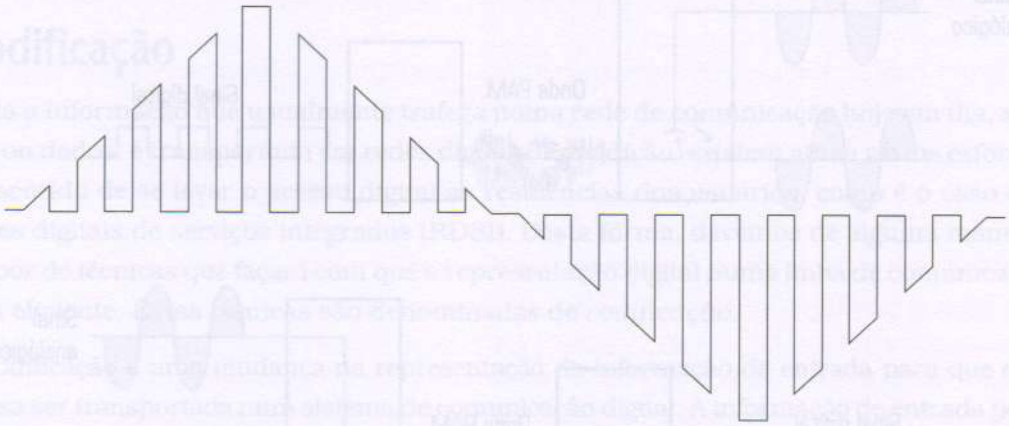


Figura 2.28 Exemplo de uma onda PAM.

É interessante notar que uma onda PAM ainda é um sinal analógico, ou seja, sua amplitude pode variar entre um intervalo de amplitudes.

A *quantificação* é o segundo pilar considerado pelo PCM, o qual converte através de uma operação de quantificação (Figura 2.27) todos os pulsos de uma PAM numa forma digital equivalente. Oito dígitos binários são usados para quantificar cada pulso PAM, o qual inclui 1 bit para indicação do sinal do pulso (positivo ou negativo). Com os 8 bits temos o uso de 256 níveis distintos, ou seja, temos desde 8 bits 0s até 8 bits 1s. Do resultado desta quantificação, temos um sinal digital denominado de PCM (Pulse Code Modulated). O sinal PCM tem uma taxa de bits de 64 kbps, ou seja, 8.000 amostras por segundo de cada 8 bits, que representa a mínima unidade de transmissão disponível num circuito digital. A Figura 2.29 apresenta um sinal original, seus pulsos PAM respectivos e sua posterior quantificação para PCM.

Quando os sinais PCM são transmitidos através do meio físico da rede de comunicação digital, estes estão numa forma bipolar, ou seja, temos dois níveis de tensão. Um nível para representar os sinais 0s e outro para a representação dos 1s. O sinal representado por 1 é denominado de marca e o 0 por espaço. A *codificação* de sinais digitais para uma linha digital é uma forma de assegurar que podemos fazer transmissão digital com um melhor desempenho. Na Tabela 2.3, ilustramos algumas técnicas de codificação e como estas se comportam em relação à representação de nível dos 0s e 1s.

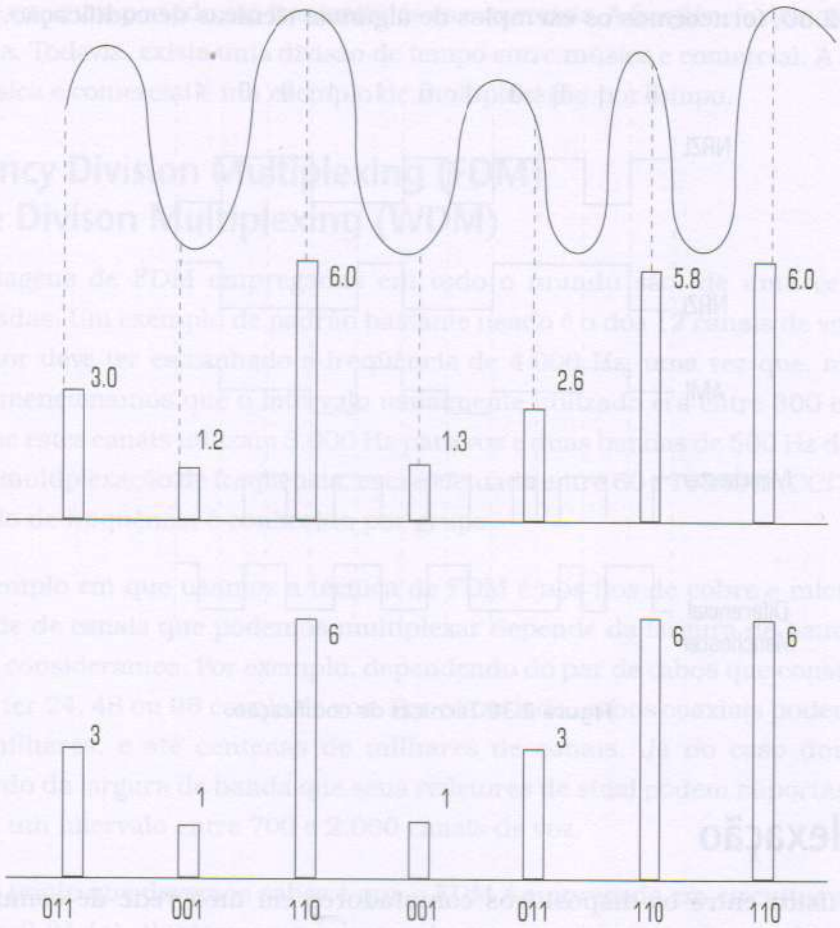


Figura 2.29 Sinal, pulsos PAM e PCM.

Tabela 2.3 Exemplos de técnicas de codificação.

Codificação	Como representa o 0	Como representa o 1
NRZ-L (NonReturn-to-Zero-Level)	Nível alto	Nível baixo
NRZI (NonReturn to Zero Inverted)	Sem transição no começo do intervalo.	Com transição no início do intervalo.
AMI (Alternative Mark Inversion)	Sem sinal de linha.	Positivo ou negativo, alternadamente.
Manchester	Transição do alto para o nível mais baixo no meio do intervalo.	Transição do baixo para o alto nível no meio do intervalo.
Diferencial Manchester	Transição no início do intervalo.	Sem transição no início do intervalo.

Na Figura 2.30, fornecemos os exemplos de algumas técnicas de codificação.

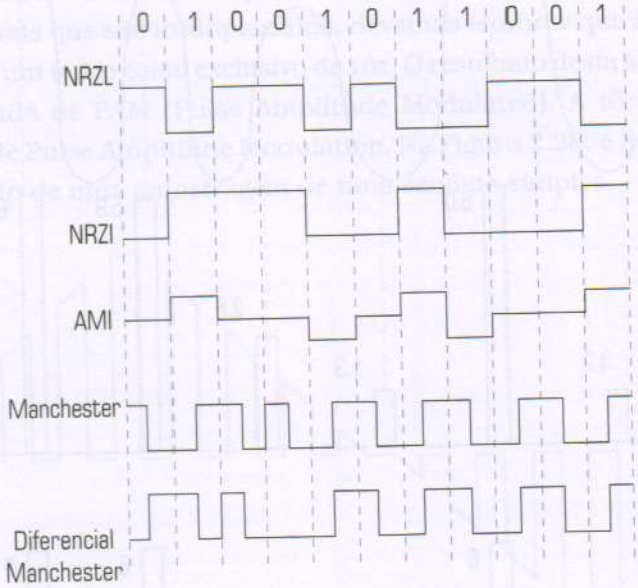


Figura 2.30 Técnicas de codificação.

Multiplexação

A ligação física entre os dispositivos comutadores em uma rede de comunicação é conhecida como tronco. Os troncos de banda larga têm o mesmo custo operacional de instalação do que os troncos de banda base. Desta forma, as concessionárias de comunicação utilizam os troncos de banda larga empregando técnica de multiplexação em cima de um único tronco físico. Em outras palavras, temos uma pluralidade de canais lógicos em cima de um único canal físico. Os canais lógicos podem ser usados para transmitir voz, dados e imagem, entre outros exemplos.

As duas técnicas básicas de multiplexação são as conhecidas como FDM (Frequency Division Multiplexing) e a TDM (Time Division Multiplexing).

Um exemplo que nos ajuda a visualizar a diferença entre multiplexação por freqüência e por tempo é a operação de rádio AM. Recordando a atribuição de faixa de freqüências no Brasil, atribuída pela ANATEL e ilustrada na Figura 2.13, observamos que o intervalo de freqüência entre 535 e 1.625 kHz é reservado para as rádios AM. Cada rádio recebe uma determinada freqüência (com um espaço de segurança para evitar interferência com outra rádio) dentro do intervalo mencionado. Em outras palavras, temos a alocação para canais lógicos dentro do espectro de freqüências para este tipo de serviço para cada rádio. Este tipo de atribuição de freqüência é um exemplo da técnica FDM. Por outro lado, podemos imaginar que cada rádio AM tenha dois subcanais. Num dado instante, são executadas as

músicas e em outro período são transmitidos os comerciais. A freqüência do nosso exemplo é a mesma. Todavia, existe uma divisão de tempo entre música e comercial. A alternância entre música e comercial é um exemplo de multiplexação por tempo.

Frequency Division Multiplexing (FDM) e Wave Divison Multiplexing (WDM)

As abordagens de FDM empregadas em todo o mundo são, de uma certa forma, padronizadas. Um exemplo de padrão bastante usado é o dos 12 canais de voz de 4.000 Hz. O leitor deve ter estranhado a freqüência de 4.000 Hz, uma vez que, no início do capítulo, mencionamos que o intervalo usualmente utilizado era entre 300 e 3.400 Hz. Ocorre que estes canais utilizam 3.000 Hz para voz e duas bandas de 500 Hz de proteção. Quanto à multiplexação de freqüência, esta é efetuada entre 60 e 108 kHz (CCITT Group). O intervalo de freqüência é conhecido por grupo.

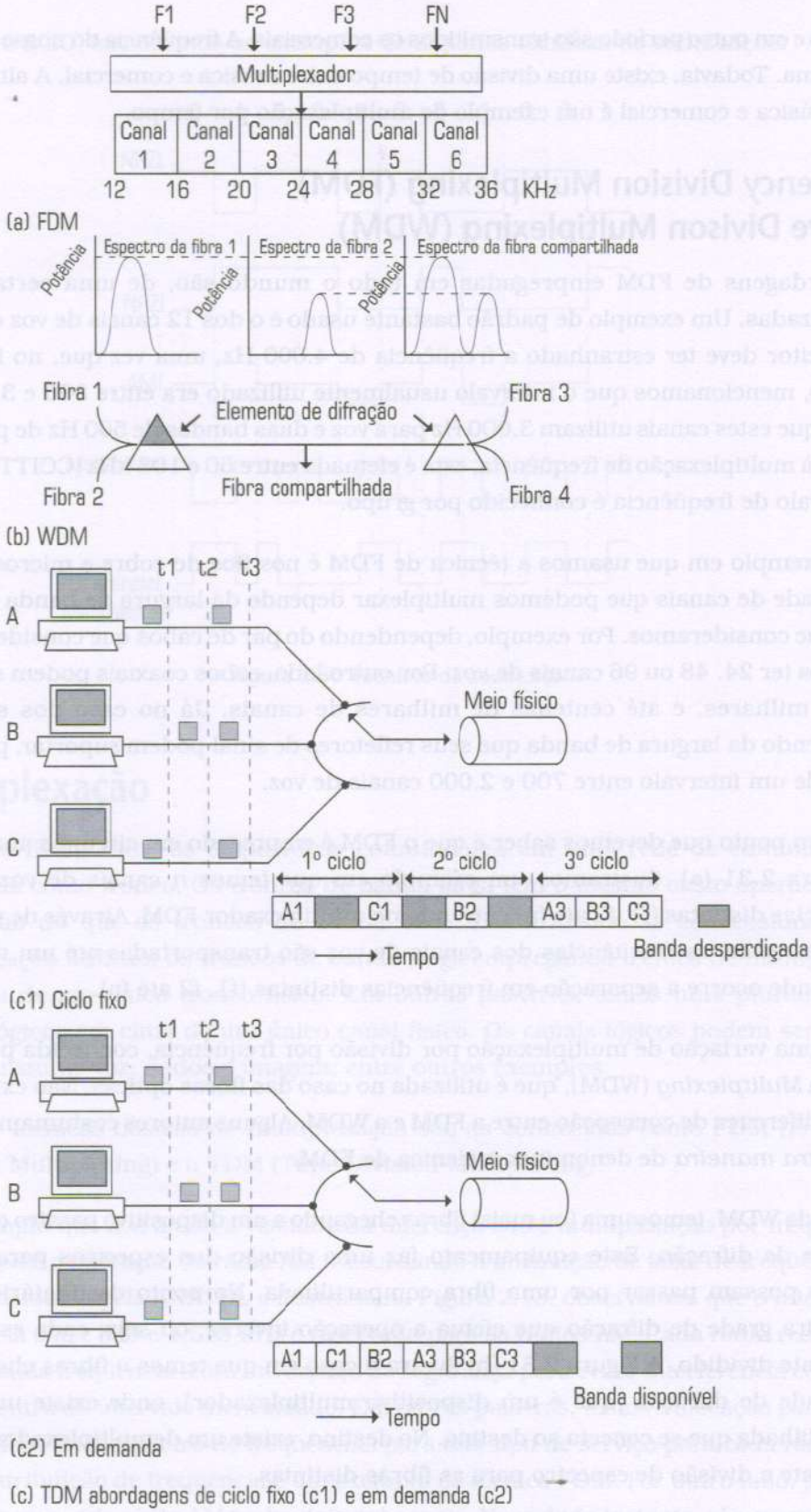
Outro exemplo em que usamos a técnica de FDM é nos fios de cobre e microondas. A quantidade de canais que podemos multiplexar depende da largura de banda do meio físico que consideramos. Por exemplo, dependendo do par de cabos que considerarmos, podemos ter 24, 48 ou 96 canais de voz. Por outro lado, cabos coaxiais podem suportar muitos milhares, e até centenas de milhares de canais. Já no caso dos satélites, dependendo da largura de banda que seus refletores de sinal podem suportar, podemos dispor de um intervalo entre 700 e 2.000 canais de voz.

Um outro ponto que devemos saber é que o FDM é empregado em circuitos analógicos. Na Figura 2.31 (a), ilustramos um exemplo em que temos *n* canais de voz, com *n* freqüências distintas (f1, f2 até fn) entrando no multiplexador FDM. Através de um meio de transmissão, as freqüências dos canais de voz são transportadas até um multiplexador, onde ocorre a separação em freqüências distintas (f1, f2 até fn).

Existe uma variação de multiplexação por divisão por freqüência, conhecida por *Wave Division Mulitplexing* (WDM), que é utilizada no caso das fibras ópticas. Não existe uma grande diferença de concepção entre a FDM e a WDM. Alguns autores costumam chamar *de a outra maneira* de denominar a técnica de FDM.

No caso da WDM, temos uma (ou mais) fibras chegando a um dispositivo passivo chamado de grade de difração. Este equipamento faz uma divisão dos espectros para que os mesmos possam passar por uma fibra compartilhada. No ponto destinatário, existe uma outra grade de difração que efetua a operação inversa, ou seja, cada espectro é novamente dividido. A Figura 2.31 (b) ilustra o caso em que temos *n* fibras chegando a uma grade de difração (que é um dispositivo multiplexador), onde existe uma fibra compartilhada que se conecta ao destino. No destino, existe um demultiplexador que faz novamente a divisão de espectro para as fibras distintas.

A Figura 2.31 ilustra estes três tipos de multiplexação: FDM, WDM e TDM.



(c) TDM abordagens de ciclo fixo (c1) e em demanda (c2)

Figura 2.31 Multiplexação FDM, WDM e TDM.

Time Division Multiplexing (TDM)

A multiplexação TDM pode ser trabalhada direta por componentes digitais. Desta forma, o TDM trata dados digitais. Existem duas técnicas de TDM:

- Síncrona: neste tipo de abordagem TDM, também conhecido por ciclo fixo, cada usuário possui acesso ao canal de uma maneira precisa em termos de intervalos de tempo.
- Assíncrona: na TDM em demanda, cada usuário faz um acesso aleatório ao canal e, uma vez adquirindo o canal, somente ele poderá fazer uso do meio para o tempo necessário de uso do canal. Este tipo de TDM é usado nas redes locais. Também é importante saber que nestes ambientes alguns mecanismos conhecido por *jabber* existem para que um computador não tenha acesso infinito à rede.

Na Figura 2.31 (c), ilustramos o método de TDM para as abordagens em ciclo fixo (c1) e em demanda (c2).

Exercícios

1) Qual a diferença entre informação e sinal?
2) Considerando dispositivos transmissores (tais como o telefone, modem, codec e transmissor digital) numa rede de comunicação semelhante a da Figura 2.1, faça uma tabela com a relação dos tipos possíveis de informação de entrada e o sinal esperado de saída para a rede de comunicação.
3) Descreva as diferenças entre:
   - Os ambientes de comutação por circuito, pacote, quadro e células.
   - RDSI, ADSL e Cable Modem.
   - LAN, MAN e WAN.
   - Ethernet e Token-Ring.
   - Frame-Relay e ATM.
   - Protocolo e Arquitetura de Protocolos.
4) Qual é o intervalo de freqüência atribuído pela ANATEL para:
   - Rádios AM.
   - Rádios FM.
   - TV Canais 2 e 4.
   - TV Canais 38-69.
   - Chamadas e Socorro.
   - Aplicações industriais, científicas e médicas.
5) Qual a diferença entre os sinais analógicos e digitais?
6) Qual a diferença entre bps e bauds?

7) Como você representaria a palavra BRASIL em ASCII e EBCDIC?

8) Qual a diferença de transmissão em banda base e larga?

9) Qual a capacidade de um canal de transmissão com largura de banda de 3.000 Hz e taxa de Sinal-Ruído igual a 20 dB?

10) Explique o que é multiplexação e as diferenças entre FDM, WDM e TDM.

11) Explique como funciona a digitalização da voz e sua transmissão num circuito digital.

Referências

Neste capítulo, tratamos de um assunto interessante e complexo que é a comunicação de dados. Todavia, nossa abordagem foi dar uma ênfase básica em alguns princípios mais relacionados às redes.

Caso o leitor queira se aprofundar em algum assunto de comunicação de maneira geral, recomendamos a leitura de Held (1999), Halsall (1996), Freedman (1999) e Stalling (1997). Em Held, encontra-se uma abordagem tecnológica geral de comunicação de dados. Por outro lado, Halsall, Freedman e Stalling são boas referências para um enfoque de engenharia de comunicação, em especial de telecomunicação. Outro aspecto interessante destas últimas referências é o detalhamento matemático de alguns tópicos.

Finalizando nossas sugestões de referências para este capítulo, o site da ANATEL na Web é, com certeza, tratando-se de Brasil, uma boa fonte de informação na área de telecomunicação. Foi deste site que, com autorização, retiramos a Figura 2.13 mostrada neste capítulo. O site da revista do IEEE de Comunicação (IEEE Communication Magazine) é uma outra referência interessante.

Bibliografia

ANATEL, http://www.anatel.gov.br

FREEDMAN, R. *Fundamentals of Telecommunications*. Wiley, 1999.

HALSALL, F. *Data Communications, Computer Networks and Open Systems*. 4th ed. Addison Wesley, 1996.

HELD, G. *Understanding Data Communication*, 6th ed. News Riders, 1999.

IEEE. *IEEE Communication Magazine*. http://www.comsoc.org.

STALLING, W. *Data and Computer Communications*. 5th ed. Prentice Hall, 1997.