

vados), a melhorias de desempenho e funcionalidade (até um certo limite superior) e a baixo custo de expansão. Com relação à utilização em larga escala de um conjunto de componentes básicos para a realização da rede, modularidade vai implicar não só em facilidade de projeto como também em facilidade de manutenção do sistema como um todo.

Um problema surge da facilidade de se adicionar equipamentos de computação em uma rede. A necessidade de um equipamento para um determinado setor de uma empresa, embora possa ser individualmente justificada, pode não ser adequada devido ao número total já existente na organização. Citamos em especial esse fator não técnico, ou quase técnico, por ser de ocorrência bastante comum.

Voltando à modularidade, ela está intimamente ligada às aplicações do sistema. Uma rede bem projetada deve poder se adaptar modularmente às várias aplicações a que é dedicada, como também prever futuras utilizações.

1.4.6 - Compatibilidade

De fundamental importância, a compatibilidade (ou interoperabilidade) será aqui utilizada como a capacidade que o sistema (rede) possui para se ligar a dispositivos de vários fabricantes, quer a nível de hardware quer a nível de software. Essa característica é extremamente importante na economia de custo de equipamentos já existentes. É ainda valiosa por dar ao usuário uma grande flexibilidade e poder de barganha perante os fabricantes.

1.4.7 - Sensibilidade Tecnológica

Sensibilidade tecnológica, em sua essência, diz respeito à modularidade, e foi aqui destacada devido a sua importância.

Uma rede deve ter a capacidade de suportar todas as aplicações para a qual foi dedicada, mais aquelas que o futuro possa requerer — incluindo transmissão de vídeo, voz, interconexões com outras redes etc. Quando possível, não deve ser vulnerável à tecnologia, prevendo a utilização de futuros desenvolvimentos, quer sejam novas estações, novos padrões de transmissão ou novas tecnologias de circuito integrado, transmissão etc.

Capítulo 2

Topologias

No Capítulo 1 apresentamos a estrutura geral de uma rede de computadores como sendo formada por um conjunto de módulos processadores e por um sistema de comunicação. O sistema de comunicação vai se constituir de um *arranjo topológico* interligando os vários módulos processadores através de enlaces físicos (*meios de transmissão*) e de um conjunto de regras com o fim de organizar a comunicação (*protocolos*). Dedicamos este capítulo à apresentação de uma das questões vitais na construção de qualquer sistema de comunicação: qual arranjo topológico deve ser utilizado e quais as alternativas existentes? Essas alternativas dependerão, naturalmente, do tipo de rede (LAN, MAN ou WAN). De fato, a topologia de uma rede irá, muitas vezes, caracterizar o seu tipo, eficiência e velocidade. A topologia de uma rede de comunicação refere-se à forma como os enlaces físicos e os nós de comunicação estão organizados, determinando os caminhos físicos existentes e utilizáveis entre quaisquer pares de estações conectadas a essa rede.

2.1 - Linhas de Comunicação

Ao organizar os enlaces físicos num sistema de comunicação, confrontam-nos com diversas formas possíveis de utilização das linhas de transmissão. Em primeiro lugar, as ligações físicas podem ser de dois tipos: ponto a ponto ou multiponto. *Ligações ponto a ponto* caracterizam-se pela presença de apenas dois pontos de comunicação, um em cada extremidade

do enlace ou ligação em questão. Nas *ligações multiponto* observa-se a presença de três ou mais dispositivos de comunicação com possibilidade de utilização do mesmo enlace (Figura 2.1).



Figura 2.1: Tipos de ligação.

A forma de utilização do meio físico que conecta estações dá origem à seguinte classificação sobre a comunicação no enlace (Figura 2.2):

- *Simplex*: o enlace é utilizado apenas em um dos dois possíveis sentidos de transmissão.
- *Half-duplex*: o enlace é utilizado nos dois possíveis sentidos de transmissão, porém apenas um por vez.
- *Full-duplex*: o enlace é utilizado nos dois possíveis sentidos de transmissão simultaneamente.

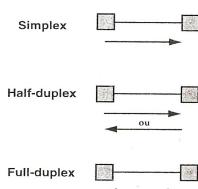


Figura 2.2: Comunicação simplex, half-duplex e full-duplex.

O leitor pode estar se perguntando como será possível obter-se comunicação full-duplex através de um único enlace físico. Note que, nessa classificação, nenhum comentário é feito acerca da implementação desses tipos de ligação. Um enlace pode ser formado, por exemplo, por dois pares de fios:

para a transmissão em cada um dos sentidos (muito embora esta não seja a única forma de implementação para um enlace onde se deseja obter comunicação full-duplex).

Enlaces como os classificados anteriormente serão utilizados pelas diferentes topologias que, por sua vez, irão variar de acordo com o tipo de rede utilizada.

2.2 - Redes Geograficamente Distribuídas

Uma primeira tentativa, bastante intuitiva, para a conexão de computadores em rede seria em uma *topologia totalmente ligada*, como a apresentada na Figura 2.3. Nessa topologia, todas as estações são interligadas duas a duas entre si através de um caminho físico dedicado. A troca de mensagens entre cada par de estações se dá diretamente através de um desses enlaces. Os enlaces utilizados poderiam ser ponto a ponto com comunicação full-duplex de forma a permitir a comunicação plena entre quaisquer pares de estações. Embora essa topologia apresente maior grau de paralelismo de comunicação, torna-se quase sempre impraticável, principalmente em redes com grande número de estações e fisicamente dispersas. Numa rede com N estações, por exemplo, seriam necessárias $N(N-1)/2$ ligações ponto a ponto para que se pudesse conectar todos os pares de estações através de linhas dedicadas. Dessa forma, o custo do sistema, em termos de instalação de cabos e de hardware específico para comunicação, cresceria com o quadrado do número de estações, tornando tal topologia economicamente inviável. A inviabilidade é principalmente observada quando os custos dos meios de comunicação é alto, como no caso das redes geograficamente distribuídas.

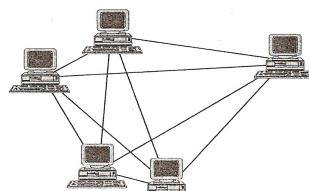


Figura 2.3: Topologia totalmente ligada.

Outro caso extremo, agora no sentido inverso ao da topologia totalmente ligada, é a topologia em anel (Figura 2.4). Nessa topologia procura-se diminuir ao máximo o número de ligações no sistema além de simplificar ao máximo o tipo de ligação utilizada. Dessa forma, utiliza-se, em geral, ligações ponto a ponto que operam num único sentido de transmissão (ligações simplex) fazendo com que o anel apresente uma *orientação ou sentido único* de transmissão como o indicado pelas setas na Figura 2.4. Uma mensagem deverá circular pelo anel até que chegue ao módulo de destino, sendo passada de estação em estação, obedecendo ao sentido definido pelo anel.

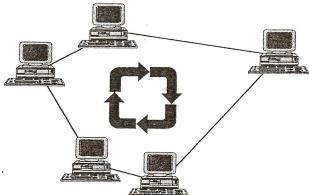


Figura 2.4: Topologia em anel.

Apesar de representar uma economia considerável no número de ligações, em sistemas geograficamente distribuídos tal topologia apresenta fatores limitantes que inviabilizam a sua utilização. O primeiro deles diz respeito ao aumento de pontos intermediários entre os pontos finais da comunicação. Em redes geograficamente distribuídas isso significa um aumento drástico no número de ligações pelas quais uma mensagem tem que passar até chegar ao seu destino final, ou seja, um aumento intolerável no retardio de transmissão, particularmente no caso de redes geograficamente distribuídas com meios de transmissão de baixa velocidade. Outro fator limitante refere-se à inexistência de caminhos alternativos para o tráfego das mensagens; em redes geograficamente distribuídas caminhos alternativos devem ser providenciados, principalmente se as linhas utilizadas forem de baixa velocidade e pouca confiabilidade, o que é o caso da maioria das redes existentes.

Considerando as limitações de velocidade e confiabilidade somos levados, naturalmente, à introdução de caminhos redundantes para um aumento tanto de confiabilidade quanto de desempenho através do paralelismo de comunicações, sem, no entanto, cairmos na topologia completamente ligada,

que possui as restrições antes apresentadas. Somos levados, assim, a uma topologia intermediária, que é utilizada pela maioria das redes geograficamente distribuídas: a *topologia parcialmente ligada* (Figura 2.5), também denominada de *topologia em grafo*.

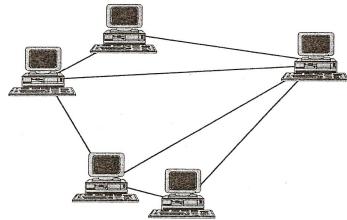


Figura 2.5: Topologia parcialmente ligada.

Nessa topologia, nem todas as ligações entre pares de estações estão presentes, mas caminhos alternativos existem e podem ser utilizados em casos de falhas ou congestionamentos em determinadas rotas. No caso em que estações sem conexão física direta desejem se comunicar, elas deverão, de alguma forma, encaminhar suas mensagens para alguma outra estação que possa fazer a entrega da mensagem para a estação de destino. Esse processo pode se repetir várias vezes, de forma que uma mensagem pode passar por vários sistemas intermediários até chegar ao seu destino final.

A comunicação entre dois módulos processadores (chamados *Equipamentos Terminais de Dados* — ETDs ou *Data Terminal Equipment* — DTEs) pode ser realizada por chaveamento de circuitos, chaveamento de mensagens ou chaveamento de pacotes (como veremos com mais detalhes no Capítulo 3). Em sistemas por chaveamento (ou comutação) de circuitos, um canal entre o ETD fonte e o ETD de destino é estabelecido para uso exclusivo dessas estações até que a conexão seja desfeita, de maneira idêntica a uma chamada telefônica. Chaveamento de mensagem ou de pacote vai otimizar o uso dos meios de comunicação, tentando evitar a monopolização de todo o caminho durante uma conversação.

Em sistemas por chaveamento de mensagem, a mensagem por completo é enviada ao longo de uma rota do ETD fonte ao ETD de destino. Em

cada nó do caminho, a mensagem é primeiro armazenada, e depois passada à frente, ao próximo nó, quando o canal de transmissão que liga esses nós estiver disponível. Sistemas por chaveamento de pacote diferem dos de chaveamento de mensagem pelo fato da mensagem ser quebrada em quadros ou pacotes antes da transmissão ser efetuada. A transmissão de cada pacote pode ser feita por um único caminho ou por caminhos diferentes, sendo a mensagem reagrupada quando chega ao destino, conforme pode ser visto na Figura 2.6. Tanto na comutação de pacotes quanto na comutação de mensagens não existe a alocação de um canal dedicado da estação fonte à de destino, de uso exclusivo da comunicação, como no caso da comutação de circuitos.

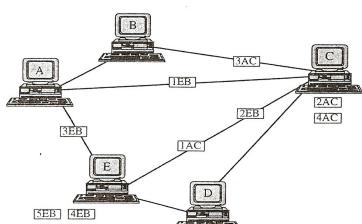


Figura 2.6: Comutação de pacotes.

A escolha do caminho fim a fim, isto é, do módulo (nó da rede) de origem ao nó de destino, por onde uma mensagem deve transitar (tanto na comutação de circuito, quanto na de mensagem ou de pacote), é comumente chamada de *roteamento*. A escolha da rota pode ser feita a priori, antes do envio da mensagem, ou ser realizada passo a passo. No primeiro caso, diz-se que é estabelecida uma *conexão* entre os nós de origem e destino e, neste estabelecimento, é definida a rota por onde deverão transitar as mensagens enquanto perdurar a conexão. No segundo caso, pode haver ou não o estabelecimento de conexão mas, independentemente disso, cada nó intermediário do caminho fim a fim é responsável pela escolha do próximo nó do caminho no instante que recebe a mensagem a despachar, e não a priori, como no caso anterior.

Vários algoritmos de roteamento já foram propostos e são, na sua maioria, baseados na manutenção de tabelas de rotas em cada um dos MPAs.

Voltaremos a falar de roteamento no Capítulo 10. Muitas das características desejáveis de uma comutação resultam do uso de roteamento adaptável. Nesse roteamento, o caminho de transmissão entre dois pontos da rede não é preestabelecido, mas escolhido dinamicamente, com base nas condições da rede no tempo de transmissão. Com essa capacidade de alocação de recursos (rotas) baseada nas condições correntes, a rede é capaz de contornar efeitos adversos tais como um canal ou dispositivo de comunicação sobrecarregado, ou ainda, uma falha de componentes.

Todos os módulos processadores (ou estações) devem ser capazes de reconhecer se uma mensagem ou pacote a eles entregue deve ser passado para uma outra estação, ou se tem como destino a própria estação. Qualquer rede com topologia diferente da totalmente ligada tem a necessidade de definir *mecanismos de endereçamento* que permitem aos MPAs decidir que atitude devem tomar ao receber uma mensagem ou pacote. Esse endereçamento irá consistir em uma forma de identificar univocamente cada uma das estações conectadas à rede. No caso de ser estabelecida uma conexão entre dois nós da rede antes da troca de qualquer mensagem, o endereço dos nós de origem e destino só são necessários quando do estabelecimento da conexão. A partir daí, basta que as mensagens ou pacotes transmitidos carreguem consigo a identificação da conexão para que o encaminhamento seja feito a contento. Por outro lado, caso não haja estabelecimento de conexão, cada pacote ou mensagem deve carregar o endereço do nó de destino e de origem.

Em redes por chaveamento de pacote, várias tarefas devem ser realizadas por uma estação. Uma delas é a escolha do caminho que deve seguir cada pacote, ao que demora o nome de roteamento; outra é o armazenamento dos pacotes recebidos de outras estações, que devem prosseguir seu caminho, e dos seus próprios pacotes a serem transmitidos; outra é a detecção de erros de transmissão e as retransmissões; outra ainda é o reagrupamento dos pacotes no destino, na ordem em que foram transmitidos — ao que damos o nome de sequenciação — e muitas outras tarefas, além do gerenciamento de todo o hardware de transmissão. A realização dessas tarefas é difícil, tem um custo elevado e afasta cada módulo processador (ETD) de seus objetivos primários, que são as aplicações do sistema. De um modo geral, em redes geograficamente distribuídas comutadas por pacotes, isso leva à inclusão de sistemas externos de controle responsáveis pela realização de várias das tarefas mencionadas (e outras). São os ECDs: *Equipamentos de Comunicação de Dados* (ou *Data Communicating Equipments* — DCEs). Equipamentos para concentrar o tráfego interno (denominados *nós de comutação* ou *Data Switching Equipments* — DSEs) e funcionar como pontos intermediários de restauração dos sinais no interior da rede também são comumente encontrados em redes geograficamente distribuídas.

Em uma rede geograficamente distribuída comutada por pacotes, um ECD é, em geral, compartilhado por vários ETDs. O arranjo topológico formado pelos ECDs juntamente com os nós de comutação e as regras de comunicação que executam é o que usualmente chamamos de *sub-rede de comunicação*. Essas sub-redes são, na sua grande maioria, operadas por empresas especializadas no fornecimento de serviços de comunicação. A topologia final utilizada em redes geograficamente distribuídas pode ser visualizada na Figura 2.7.

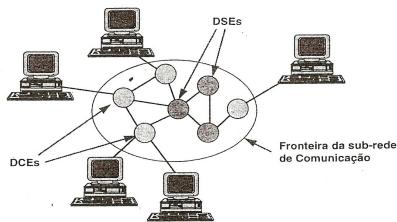


Figura 2.7: Rede geograficamente distribuída.

2.3 - Redes Locais e Metropolitanas

As características geográficas das redes locais e metropolitanas levam a considerações de custo e tecnologia bastante diferentes das redes de longa distância. Comentamos na seção anterior que os caminhos alternativos entre os nós da rede eram necessários para aumentar a confiabilidade e desempenho (velocidade efetiva do sistema). Ora, uma forma de aumentarmos a confiabilidade é utilizarmos meios de transmissão com taxas de erro menores; uma forma de melhorarmos o desempenho é utilizarmos meios de transmissão de maior velocidade. Em redes locais e metropolitanas, meios de transmissão de alta velocidade, de baixa taxa de erro, de baixo custo e privados podem ser usados. Topologias muitas vezes inviáveis em ambientes geograficamente distribuídos podem ser utilizadas. Examinaremos a seguir as topologias mais utilizadas nessas redes: *estrela*, *anel* e *barra*.

2.3.1 - Topologia em Estrela

Uma rede com topologia em estrela é ilustrada na Figura 2.8. Nesse tipo de topologia cada nó é interligado a um nó central (mestre), através do qual todas as mensagens devem passar. Tal nó age, assim, como centro de controle da rede, interligando os demais nós (escravos). Nada impede que haja comunicações simultâneas, desde que as estações envolvidas sejam diferentes.

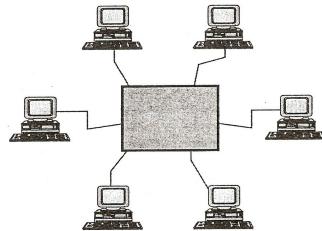


Figura 2.8: Topologia em estrela.

Várias redes em estrela operam em configurações onde o nó central tem tanto a função de gerência de comunicação como facilidades de processamento de dados. Em outras redes, o nó central tem como única função o gerenciamento das comunicações. O nó central, cuja função é o chaveamento (ou comutação) entre as estações que desejam se comunicar, é denominado *comutador* ou *switch*.

O arranjo em estrela, evidentemente, é a melhor escolha se o padrão normal de comunicação na rede combinar com essa topologia, isto é, um conjunto de estações secundárias se comunicando com o nó central. Este é, por exemplo, o caso típico das redes de computadores onde o nó central é um sistema de computação que processa informações alimentadas pelos dispositivos periféricos (nós escravos). As situações mais comuns, no entanto, são aquelas em que o nó central está restrito às funções de gerente das comunicações e a operações de diagnóstico.

Redes em estrela podem atuar por difusão (broadcasting) ou não. Em redes por difusão, todas as informações são enviadas ao nó central que é o responsável por distribuir-las a todos os nós da rede. Os nós aos quais as informações estavam destinadas copiam-nas e os outros simplesmente as ignoram. Em redes que não operam por difusão, um nó pode apenas se comunicar com outro nó de cada vez, sempre sob controle do nó central.

Redes em estrela não têm necessidade de roteamento, uma vez que concentram todas as mensagens no nó central. O gerenciamento das comunicações por este nó pode ser por *chaveamento de pacotes* ou *chaveamento de circuitos*. As redes em estrela podem ainda operar em modo de *transferência assíncrona* (*Asynchronous Transfer Mode* — ATM), como veremos na Parte III. No primeiro caso, pacotes são enviados do nó de origem para o nó central que o retransmite então ao nó de destino no momento apropriado. Já no caso de chaveamento de circuitos, o nó central, baseado em informações recebidas, estabelece uma conexão entre o nó de origem e o nó de destino, conexão esta que existirá durante toda a conversação. Neste caso, se já existir uma conexão ligando duas estações, nenhuma outra conexão poderá ser estabelecida para esses nós. Redes de chaveamento computadorizadas — CBX (Computerized Branch Exchange) — são exemplos deste último tipo de rede, onde o chaveamento é realizado por um PABX (Private Automatic Branch Exchange).

Grandes esforços têm sido empregados no sentido de acrescentar novas funções ao PABX, de forma a incorporar algum poder computacional para suporte a linhas de dados, além de melhorar as funções de chaveamento de telefone às quais eram primeiramente dedicados. As vantagens desse procedimento são óbvias: os equipamentos de dados poderão usar os mesmos cabos e dutos oferecidos aos telefones, e o custo de um novo PABX pode ser justificado apenas pelas novas vantagens do serviço telefônico melhorado.

Embora tenhamos incluído a CBX como uma categoria de rede local devido ao fato de tratar de uma alternativa para a interconexão de dispositivos digitais, sua arquitetura e tecnologia são tão diferentes das demais redes locais de computadores que, freqüentemente, não são consideradas como uma rede local de computadores. As CBXs são apropriadas tanto para o tráfego de voz quanto para o tráfego de dados entre terminais e entre terminais e computadores. O interesse por esse tipo de rede tem aumentado muito com o desenvolvimento de padrões e pastilhas dedicadas para as chamadas *Redes Digitais com Serviços Integrados* — RDSI (*Integrated Service Digital Network* — ISDN).

Como já mencionamos, o nó central pode realizar funções além das de chaveamento e processamento normal. Por exemplo, o nó central pode realizar a compatibilidade de velocidade de comunicação entre o transmissor e o receptor. Os dispositivos de origem e destino podem até operar com proto-

colos e/ou conjunto de caracteres diferentes. O nó central atuaria nesse caso como um conversor de protocolos permitindo ao sistema de um fabricante trabalhar satisfatoriamente com um outro sistema de um outro fabricante. Poderia ser também função do nó central fornecer algum grau de proteção de forma a impedir pessoas não autorizadas de utilizar a rede ou ter acesso a determinados sistemas de computação. Outras funções, como operações de diagnóstico de redes, por exemplo, poderiam também fazer parte dos serviços realizados pelo nó mestre.

Confiabilidade é um problema nas redes em estrela. Falhas em um nó escravo apresentam um problema mínimo de confiabilidade, uma vez que o restante da rede ainda continua em funcionamento. Falhas no nó central, por outro lado, podem ocasionar a parada total do sistema. Redundâncias podem ser acrescentadas, porém o custo de tornar o nó central confiável pode mascarar o benefício obtido com a simplicidade das interfaces exigidas pelas estações secundárias.

Outro problema da rede em estrela é relativo à modularidade. A configuração pode ser expandida até um certo limite imposto pelo nó central: em termos de capacidade de chaveamento, número de circuitos concorrentes que podem ser gerenciados e número total de nós que podem ser servidos. Embora não seja frequentemente encontrado, é possível a utilização de diferentes meios de transmissão para ligação dos nós escravos ao nó central.

O desempenho obtido em uma rede em estrela depende da quantidade de tempo requerido pelo nó central para processar e encaminhar uma mensagem, e da carga de tráfego na conexão, isto é, o desempenho é limitado pela capacidade de processamento do nó central. Um crescimento modular visando o aumento do desempenho torna-se a partir de certo ponto impossível, tendo como única solução a substituição do nó central.

2.3.2 - Topologia em Anel

Uma rede em anel consiste em estações conectadas através de um caminho fechado. Por motivos de confiabilidade que se tornariam claros ao longo desta seção, o anel não interliga as estações diretamente, mas consiste em uma série de repetidores ligados por um meio físico, sendo cada estação ligada a esses repetidores, conforme apresenta a Figura 2.9.

Redes em anel são, teoricamente, capazes de transmitir e receber dados em qualquer direção. As configurações mais usuais, no entanto, são unidirecionais, de forma a simplificar o projeto dos repetidores e tornar menos sofisticados os protocolos de comunicação que asseguram a entrega da mensagem ao destino corretamente e em seqüência, pois sendo unidirecionais evitam o problema de roteamento. Os repetidores são em geral projetados de

forma a transmitir e receber dados simultaneamente, diminuindo assim o retardo de transmissão.

Quando uma mensagem é enviada por um nó, ela entra no anel e círcula até ser retirada pelo nó de destino, ou então até voltar ao nó de origem, dependendo do protocolo empregado. No primeiro procedimento, o repetidor deve introduzir um retardo suficiente para o recebimento e armazenamento dos bits de endereçamento de destino da mensagem, quando então poderá decidir se esta deve ou não continuar no anel. No último procedimento, à medida que os bits de uma mensagem vão chegando eles vão sendo despachados, podendo a rede atuar com um retardo de um bit por repetidor. Esse procedimento permite a construção de repetidores mais simples e, por consequência, menos suscetíveis a falhas, e de menor custo.

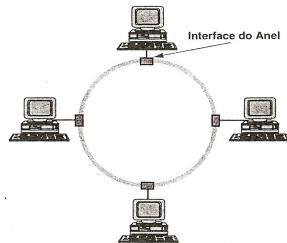


Figura 2.9: Topologia em anel.

Além da maior simplicidade e do menor retardo introduzido, as redes onde a mensagem é retirada pelo nó de origem permitem mensagens de difusão (broadcasts e multicast), isto é, um pacote é enviado simultaneamente para múltiplas estações. Essas redes também possibilitam a determinadas estações receberem mensagens enviadas por qualquer outra estação da rede, independentemente de qual seja o nó de destino. Chamaremos a isto de reconhecimento de endereçamento promiscuo ou modo espião. Em estações no modo espião podemos, por exemplo, desenvolver programas para observação do tráfego dos canais, construir matrizes de tráfego, fazer análise de carregamento, realizar isolamento de falhas e protocolos de manutenção etc.

Topologia em anel requer que cada nó seja capaz de remover seletivamente mensagens da rede ou passá-las à frente para o próximo nó. Isto requer um repetidor ativo em cada nó e a rede poderá ser mais confiável do que esses repetidores. Uma quebra em qualquer dos enlaces entre os repetidores vai parar toda a rede até que o problema seja isolado e um novo cabo instalado. Falhas no repetidor ativo também podem causar a parada total do sistema.

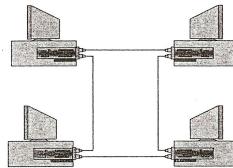


Figura 2.10: Anel com repetidor interno.

Se os repetidores fizessem parte do hardware específico e interno de cada estação conectada à rede (como na Figura 2.10), a vulnerabilidade seria ainda maior: os repetidores estariam suscetíveis a falhas no equipamento ou à própria falta de alimentação elétrica da estação. Por esse motivo, os repetidores são alimentados e mantidos separados do hardware da estação, como ilustrado na Figura 2.11.

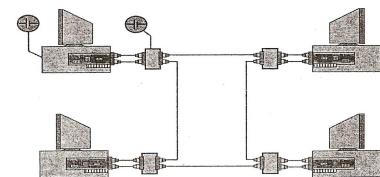


Figura 2.11: Anel com repetidor externo.

Uma solução parcial para o problema de falha no repetidor consta em prover cada um deles de um relé que pode removê-lo mecanicamente da rede em caso de falha (Figura 2.12). Essa remoção pode ser impossível se os repetidores imediatamente posterior e anterior ao repetidor com falha estiverem a uma distância maior do que o limite exigido pelo meio de transmissão para a interconexão de dois nós — devido ao problema da atenuação, que veremos no Capítulo 3.

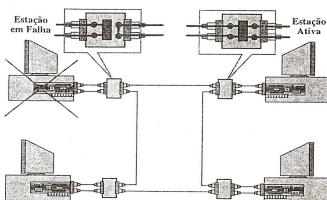


Figura 2.12: Ação de relé em caso de falha.

Provida de relé, a interface possui três modos ou estados de funcionamento (Figura 2.13): escuta, transmissão e bypass.

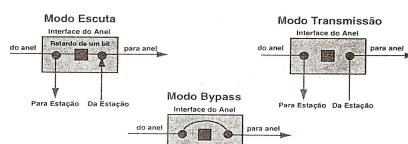


Figura 2.13: Modos de operação do repetidor em um anel.

No estado de escuta, cada bit que chega ao repetidor é retransmitido com o menor retardo possível (o ideal é da ordem de um bit), apenas suficiente para a realização das seguintes funções:

1. Análise do fluxo de dados para procura de determinados padrões de bits, como por exemplo: endereços da(s) estação(ões) conectada(s) ao repetidor, permissão de controle (conforme veremos no Capítulo 8) etc.
2. Em caso de pacotes endereçados à estação e detectados em (1), deve ser realizada a cópia de cada bit do fluxo de entrada e feito o envio à estação, ao mesmo tempo que esses bits são retransmitidos.
3. Modificação de bits do fluxo de entrada para a retransmissão, necessária em certas estratégias de controle de erros.

Quando uma estação adquire o direito de acesso à rede através de algum esquema de controle e tem dados a transmitir, a interface entra no *estado de transmissão*. Nesse estado os bits recebidos da estação são retransmitidos pela interface, que durante este período pode receber um fluxo de bits do anel, cujo significado vai exigir dois tratamentos distintos, para duas situações diferentes:

1. Os bits que a interface recebe do anel podem ser da própria estação que está transmitindo. Isto ocorrerá se o retardo do anel for menor que o tempo de transmissão de uma mensagem, quando os bits iniciais transmitidos já estarão retornando à própria estação antes do final da transmissão. Nesse caso, a interface retorna os bits recebidos à estação de modo que ela possa checar-los como uma forma de reconhecimento, ou simplesmente os descarta.
2. Alguns esquemas de controle permitem que mais de uma mensagem circule no canal ao mesmo tempo. Se a interface, enquanto estiver transmitindo, receber bits que não foram os originados por ela própria (caso 1), os bits recebidos devem ser armazenados para posterior transmissão (pois, nesse caso, trata-se de uma mensagem gerada por outra estação, que deverá ser retransmitida). Em caso contrário, age como em 1.

Os dois estados, transmissão e recepção, são suficientes para a operação do anel. O terceiro estado — o de *bypass* — é utilizado para aumentar a confiabilidade da rede, conforme já discutimos. Nesse estado, um relé é ativado de forma que o fluxo de dados de entrada passe pela interface diretamente para a saída, sem nenhum retardo ou regeneração. Esse estado traz dois benefícios à rede. O primeiro é a solução parcial do problema de confiabilidade já discutido. O segundo é a melhora no desempenho através da eliminação do retardo introduzido na rede por estações que não estão ativas.

Outras melhorias na topologia em anel foram propostas [Wolf 78, Jafari 77, Weitzman 80] e realizadas, como a introdução de caminhos alternativos, duplos anéis etc. Experiências práticas sugerem que a topologia pode ser

feita suficientemente confiável de forma que a possibilidade de falhas possa ser praticamente ignorada. É claro que o custo pode tornar a rede confiável proibitiva para certas aplicações. Analisemos resumidamente algumas dessas melhorias.

A primeira delas é a introdução de *concentradores* (*ring wiring concentrators*), também denominados *hubs*, como ilustrado na Figura 2.14. Inicialmente esses concentradores eram apenas elementos passivos que permitiam a concentração de todo o cabeamento utilizado e possuíam um mecanismo de relés que, acionado externamente, permitia o isolamento de estações em falha. Mais tarde eles passaram a ser utilizados como concentradores dos repetidores do anel (concentradores ativos). Tal técnica tem várias vantagens. O isolamento de falhas se torna mais simples porque existe um ponto de acesso central para o sinal. Sem o concentrador, quando um repetidor ou um enlace falha, a localização da falha requer uma busca através de todo o anel, exigindo o acesso a todos os locais que contêm repetidores e cabos.

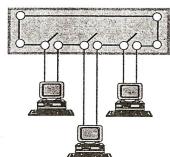


Figura 2.14: Concentrador passivo.

Outra vantagem do concentrador é a possibilidade de adição de novas estações sem a parada total da rede, uma vez que novos repetidores podem ser ativados no concentrador, sem parar a rede, por meio da utilização de relés.

A modularidade de uma rede em anel é bastante elevada devido ao fato de os repetidores ativos regenerarem as mensagens. Redes em anel podem atingir grandes distâncias (teoricamente o infinito). Existe no entanto uma limitação prática do número de estações em um anel. Esse limite é devido aos problemas de manutenção e confiabilidade, citados anteriormente, e ao retardio cumulativo do grande número de repetidores. A Figura 2.15 apresenta um anel formado pela interconexão de concentradores. Devemos sempre lembrar que a distância entre dois concentradores não deverá ultrapassar o limite máximo permitido sem regeneração do sinal.

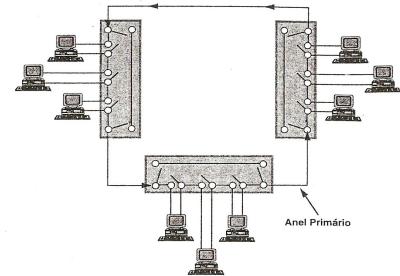


Figura 2.15: Anel de concentradores passivos.

Embora a utilização de relés permita a rápida recuperação de algumas falhas nos repetidores, existem outras falhas que podem temporariamente parar toda a rede, como por exemplo falhas nos segmentos entre os concentradores da Figura 2.15. Uma solução para o problema seria a utilização de caminhos alternativos: duplo anel, triplo anel etc. (Figura 2.16).

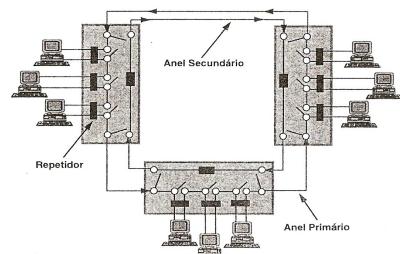


Figura 2.16: Duplo anel com concentradores ativos.

No duplo anel, um dos anéis é o anel principal e o outro é acionado sómente em caso de falhas, sendo denominado anel secundário ou anel de backup. O anel de backup tem sua orientação definida no sentido contrário ao do anel principal. A Figura 2.17 mostra como o anel de backup entra em funcionamento no caso de uma falha em um segmento de cabo.

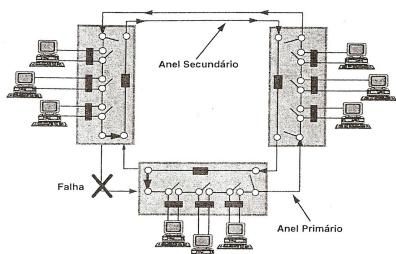


Figura 2.17: Acionamento do anel de backup em caso de falha em um duplo anel com concentradores ativos.

Outra solução para aumentar a confiabilidade de uma rede em anel seria considerar a rede local como consistindo em vários anéis, e o conjunto dos anéis conectados por *pontes* (*bridges*). A ponte encaminha os pacotes de dados de uma sub-rede a outra com base nas informações de endereçamento. Do ponto de vista físico, cada anel operaria independentemente. Deixaremos o tratamento da interconexão entre redes para o Capítulo 10, onde discutiremos o assunto com mais detalhes. Aqui só ressaltaremos dois fatos. Primeiro, uma falha em um anel vai parar somente aquela porção da rede. Uma falha na ponte não impede o tráfego intra-rede. Segundo, múltiplos anéis podem ser empregados para a obtenção de um maior nível de desempenho. A Figura 2.18 apresenta tal arquitetura.

Como vimos, os maiores problemas com topologias em anel são sua vulnerabilidade a erros e pouca tolerância a falhas. Qualquer que seja o controle de acesso empregado, ele pode ser perdido por falhas e pode ser difícil determinar com certeza se esse controle foi perdido ou decidir qual nó deve recriá-lo. Erros de transmissão e processamento podem fazer com que uma mensagem continue eternamente a circular no anel. Embora não seja es-

sencial do ponto de vista de projeto, uma estação monitora tem-se revelado essencial, na prática, na maioria dos anéis. A função primordial desta estação monitora é a de contornar os problemas mencionados. Outra de suas funções é iniciar o anel, enviar mensagens de teste e diagnóstico e outras tarefas de manutenção. A estação monitora pode ser uma estação dedicada ou então uma estação qualquer da rede que assuma em determinado tempo tais funções, como veremos com mais detalhes posteriormente.

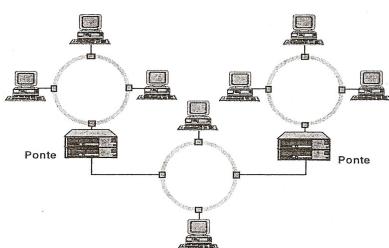


Figura 2.18: Múltiplos anéis conectados através de pontes.

Por serem geralmente unidirecionais, redes com topologia em anel são ideais para utilização de fibra ótica. Existem algumas redes que combinam seções de diferentes meios de transmissão sem nenhum problema, como é o caso do Anel de Cambridge.

O desempenho de uma rede em anel depende muito do mecanismo de transmissão empregado, e será tratado no Capítulo 7.

2.3.3 - Topologia em Barra

Topologia em barra comum é bastante semelhante ao conceito de arquitetura de barra em um sistema de computador, onde todas as estações (nós) se ligam ao mesmo meio de transmissão (Figura 2.19). Ao contrário das outras topologias que discutimos até aqui, que são configurações ponto a ponto (isto é, cada enlace físico de transmissão conecta apenas dois dispositivos), a topologia em barra tem uma configuração multiponto.

Nas redes em barra comum cada nó conectado à barra pode ouvir todas as informações transmitidas, similar às transmissões de radiodifusão. Esta característica vai facilitar as aplicações com mensagens do tipo difusão (mensagens globais) além de possibilitar que algumas estações possam trabalhar no que chamamos, no item 2.3.2, de endereçamento promíscuo ou modo espião.



Figura 2.19: Topologia em barra.

Existe uma variedade de mecanismos para o controle de acesso à barra, que pode ser centralizado ou descentralizado. A técnica adotada para cada acesso à rede (ou à banda de frequência da rede no caso de redes em banda larga, como veremos no Capítulo 3) é uma forma de multiplexação no tempo. Em um controle centralizado, o direito de acesso é determinado por uma estação especial da rede. Em um ambiente de controle descentralizado, a responsabilidade de acesso é distribuída entre todos os nós. No Capítulo 8 discutiremos mais detalhadamente cada método de acesso.

Ao contrário da topologia em anel, as topologias em barra podem empregar interfaces passivas, nas quais as falhas não causam a parada total do sistema. Relógios de prevenção (watch-dog timers) em cada transmissor devem detectar e desconectar o nó que falha no modo de transmissão (nó que não pára de transmitir). A confiabilidade desse tipo de topologia vai depender em muito da estratégia de controle. O controle centralizado oferece os mesmos problemas de confiabilidade de uma rede em estrela, com o atenuante de que, aqui, a redundância de um nó pode ser outro nó comum da rede. Mecanismos de controle descentralizados semelhantes aos empregados na topologia em anel podem também ser empregados neste tipo de topologia, acarretando os mesmos problemas quanto à detecção da perda do controle e sua recuperação. O Capítulo 8 discutirá mais este tópico.

A ligação ao meio de transmissão é um ponto crítico no projeto de uma rede local em barra comum. A ligação deve ser feita de forma a alterar o mínimo possível as características elétricas do meio. O meio, por sua vez, deve terminar em seus dois extremos por uma carga igual a sua impedância característica, de forma a evitar reflexões espúrias que interfiram no sinal transmitido.

A ligação das estações ao meio de comunicação é realizada através de um transceptor (transmissor/receptor), que tem como funções básicas transmitir e receber sinais, bem como reconhecer a presença destes sinais no meio. O transceptor se liga à barra através de um conector, que é responsável pelo contacto elétrico com os condutores da barra. Esse conector pode ser de vários tipos, como veremos no Capítulo 4.

Ligações ao meio de transmissão geram descontinuidade de impedância, causando reflexões. Assim, o transceptor deve apresentar uma alta impedância para o cabo, de forma que sua ligação a este altere o mínimo possível as características de transmissão. Devido a isto, o transceptor deve ser localizado perto do cabo (uma distância grande do cabo impedia a obtenção de uma alta impedância), a uma distância de alguns poucos centímetros (Figura 2.20). A utilização de transceptores em redes em barra será um dos assuntos que aprofundaremos no Capítulo 4.

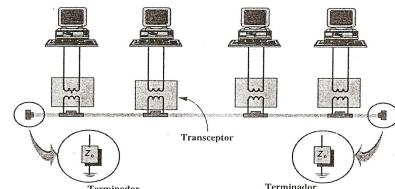


Figura 2.20: Ligação ao meio em redes em barra.

O poder de crescimento, tanto no que diz respeito à distância máxima entre dois nós da rede quanto ao número de nós que a rede pode suportar, vai depender do meio de transmissão utilizado, da taxa de transmissão e da quantidade das ligações ao meio. Conforme se queira chegar a distâncias maiores que a máxima permitida em um segmento de cabo, repetidores serão necessários para assegurar a qualidade do sinal. Tais repetidores, por serem ativos, apresentam um ponto de possível diminuição da confiabilidade da rede.

Assim como em redes em anel, a utilização de concentradores (hubs) irá facilitar a localização e o isolamento de falhas, bem como permitir a inserção de novas estações na barra sem a parada do sistema (caso existam entradas livres no hub). A Figura 2.21 mostra o hub de uma rede em barra.

Figura 2.21: Rede em barra com utilização de hub.

Hubs podem ser interconectados como forma de expansão do tamanho da rede, conforme ilustrado na Figura 2.22.

O desempenho de um sistema em barra comum é determinado pelo meio de transmissão, número de nós conectados, controle de acesso, tipo de tráfego e outros fatores, como veremos no Capítulo 8. Por empregar interfaces passivas (sem repetidores), que não exigem armazenamento local de mensagens, topologias em barra não vão degradar o retardo de transferência, que, contudo, pode ser altamente dependente do protocolo de acesso utilizado.

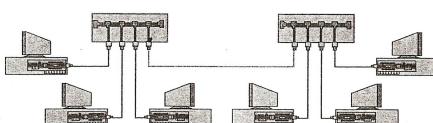


Figura 2.22: Interconexão de hubs numa rede em barra.

2.4 - Hubs e Switches

A topologia de uma rede irá determinar, em parte, o método de acesso utilizado. Métodos de acesso são necessários para regular o acesso a meios físicos compartilhados. Assim, costuma-se associar os métodos de acesso (que estudaremos em detalhes no Capítulo 8) às topologias utilizadas. Como vimos ao longo deste capítulo, a instalação física das redes tem sofrido uma forte tendência na direção da utilização de hubs, o que, *fisicamente*, corresponde à implantação de uma topologia em estrela. Essa tendência é explicada, basicamente, pela crescente necessidade de melhorar o gerenciamento e a manutenção nessas instalações. O maior problema da topologia em estrela, como mencionado, é a sua baixa confiabilidade dada a presença de um

elemento central no qual as falhas provocam a parada total do sistema. No entanto, os avanços da eletrônica já permitem, hoje, que se construam equipamentos de alta confiabilidade, viabilizando esse tipo de topologia.

A utilização de hubs, no entanto, não exige, necessariamente, que as interfaces das estações com a rede a percebam como uma topologia em estrela. Do ponto de vista da interface das estações com a rede, o funcionamento se dá como em uma barra ou em um anel, com os seus respectivos métodos de acesso. Note porém, que a implementação física, interna nos hubs, pode ser qualquer uma desde que essa interface seja preservada.

Pelo que acabamos de apresentar, podemos diferenciar dois tipos de topologias: uma *topologia lógica*, que é aquela observada sob o ponto de vista das interfaces das estações com a rede (que inclui o método de acesso), e uma *topologia física*, que diz respeito ao layout físico utilizado na instalação da rede.

A demanda por maiores taxas de transmissão e melhor utilização dos meios físicos, aliados à evolução contínua da microeletrônica, começou a alterar a construção desses equipamentos concentradores. A partir do momento em que as estações estão ligadas a um elemento central, no qual a implementação interna é desconhecida mas a interface é coerente com as estações, é possível pensar que esses elementos podem implementar arquiteturas que não utilizam apenas um meio compartilhado, mas sim possibilitem a troca de mensagens entre várias estações simultaneamente. Desta forma, estações podem obter, para si taxas efetivas de transmissão bem maiores do que as observadas anteriormente. Esse tipo de elemento central é denominado (assim como na topologia em estrela) switch.

Seguir essa tendência utilizando-se dos métodos de acesso para meios compartilhados impõe limitações muito grandes às taxas de transmissão que se pode atingir, muito embora tenha sido uma necessidade de mercado manter as interfaces anteriormente padronizadas. Mas a evolução natural, como não poderia deixar de ser, veio com a criação de novas interfaces de acesso que permitiram que taxas de transmissão bem maiores fossem utilizadas. Redes ATM, como veremos na Parte III, baseiam-se na presença de switches de grande capacidade de comutação que permitem taxas de transmissão que podem chegar à ordem de Gbps.

Assim, a topologia em estrela, tanto física quanto logicamente, retorna seu lugar no mundo das redes de computadores. Veremos ao longo dos Capítulos 8 e 9 os diversos métodos de acesso utilizados em redes com topologia (lógica) em barra e em anel, e os padrões que foram definidos para essas redes, incluindo as opções de topologia física. Dedicaremos atenção especial às redes ATM na Parte III deste livro.