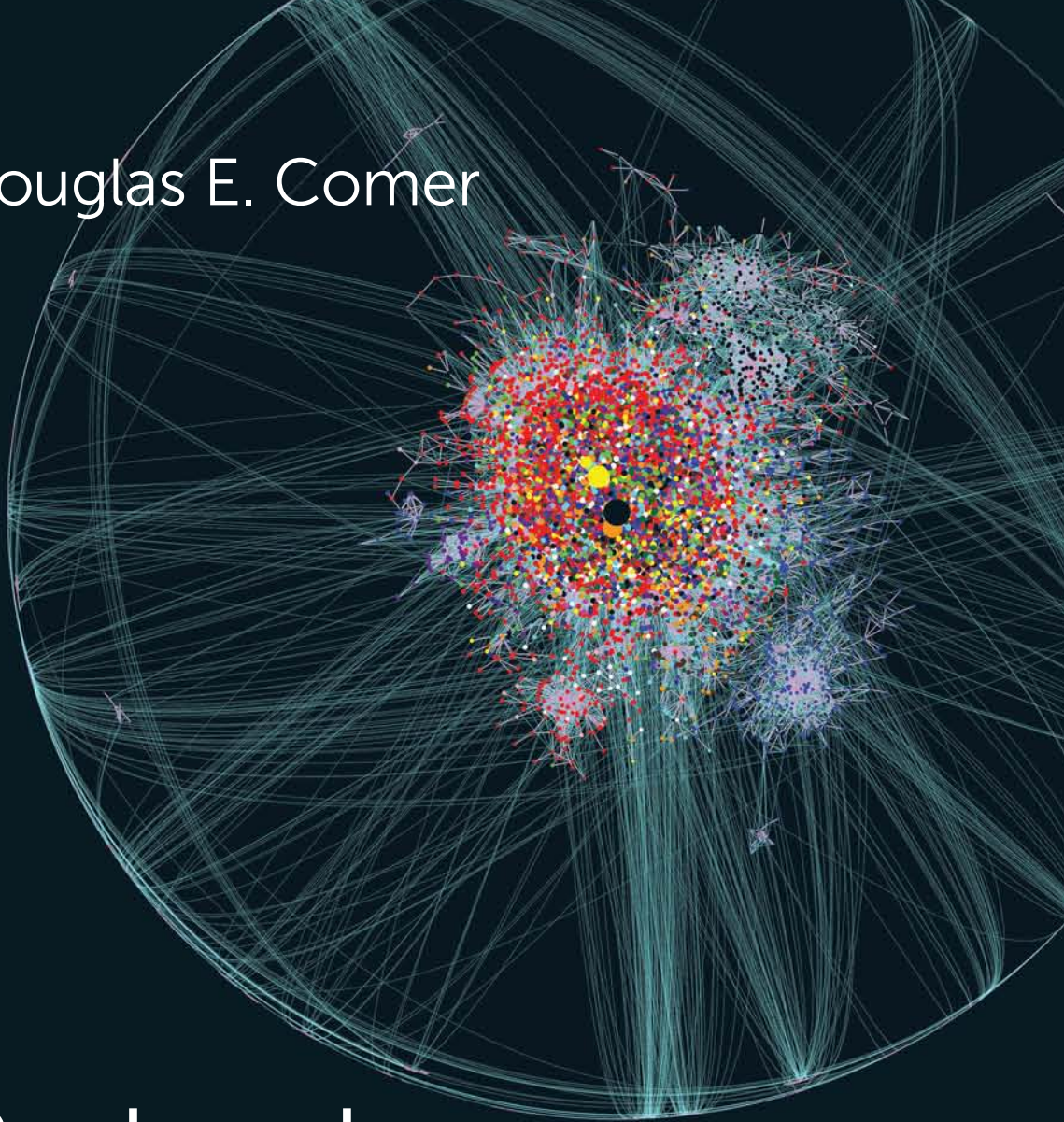


Douglas E. Comer



# Redes de Computadores e Internet



6ª EDIÇÃO

## O autor

Dr. Douglas Comer é um internacionalmente reconhecido especialista em redes de computadores, protocolos TCP/IP e Internet. Foi um dos pesquisadores que contribuíram com a formação da Internet no fim dos anos 1970 e nos anos 1980, sendo membro do *Internet Architecture Board*, o grupo responsável por guiar o desenvolvimento da Internet. Também foi presidente do comitê técnico CSNET, membro do comitê executivo CSNET e presidente do Distributed Systems Architecture Board da DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*). Foi ainda Vice-Presidente de Pesquisa na Cisco Systems.

Comer é consultor de projeto de redes de computadores para empresas e palestrante frequente em ambientes acadêmicos e profissionais ao redor do mundo. Seu sistema operacional, Xinu, e a implementação de protocolos TCP/IP (ambos documentados em seus livros) são utilizados em produtos comerciais. É professor honorário de Ciências da Computação na Purdue University, onde leciona redes de computadores, redes de internet, arquitetura de computadores e sistemas operacionais. Lá desenvolveu laboratórios de informática inovadores que dão aos alunos a oportunidade de ter experiências práticas na operação de sistemas, redes de computadores e protocolos.

Além de escrever livros técnicos *best-sellers*, já traduzidos para 16 idiomas, atuou como editor norte-americano do periódico *Software – Practice and Experience* por 20 anos. Comer é membro da ACM. Informações adicionais podem ser encontradas em: [www.cs.purdue.edu/homes/comer](http://www.cs.purdue.edu/homes/comer).



C732r Comer, Douglas E.  
Redes de computadores e internet [recurso eletrônico] /  
Douglas E. Comer ; tradução: José Valdeni de Lima, Valter  
Roesler. – 6. ed. – Porto Alegre : Bookman, 2016.

Editado como livro impresso em 2016.  
ISBN 978-85-8260-373-4

1. Redes de computadores. 2. Internet. I. Título.

CDU 004.7

# Redes de área local: pacotes, quadros e topologias

- 13.1 Introdução, 191
- 13.2 Comutação de circuitos e comunicação analógica, 191
- 13.3 Comutação de pacotes, 193
- 13.4 Redes de pacotes de área local e de longo alcance, 194
- 13.5 Padrões para formato de pacotes e identificação, 195
- 13.6 O modelo IEEE 802 e seus padrões, 196
- 13.7 Redes ponto-a-ponto e acesso múltiplo, 197
- 13.8 Topologias de LAN, 198
- 13.9 Identificação de pacotes, demultiplexação, endereços MAC, 200
- 13.10 Endereços unicast, broadcast e multicast, 201
- 13.11 Broadcast, multicast e entrega eficiente com multi-ponto, 201
- 13.12 Quadros e enquadramento, 202
- 13.13 Byte e bit stuffing, 204
- 13.14 Resumo, 205

## 13.1 Introdução

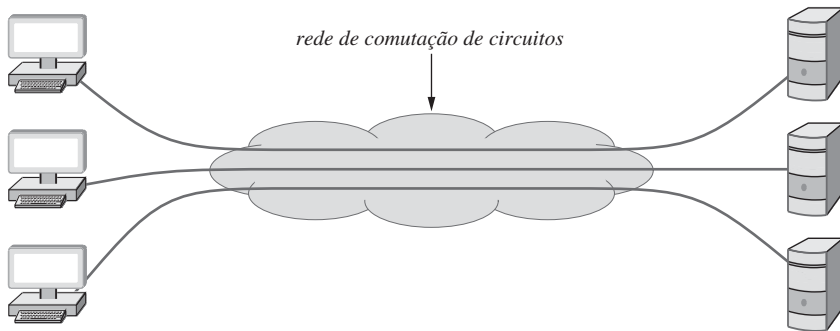
A primeira parte do livro abrange aplicações de Internet e programação em redes. A segunda parte explora tópicos relacionados à comunicação de dados. Cada capítulo aborda um conceito fundamental, como a multiplexação, que é a base de todas as redes de computadores.

Este capítulo marca o início da Parte III do livro, que aborda a comutação de pacotes e as tecnologias de redes de computadores. Depois de uma breve introdução, o capítulo explica o modelo de padronização do IEEE e concentra-se nos conceitos de endereçamento de hardware e identificação de quadros.

Os últimos capítulos desta parte expandem a discussão, considerando pacotes em redes locais e também em redes de longo alcance. Além disso, abordam uma variedade de tecnologias de rede com e sem fios.

## 13.2 Comutação de circuitos e comunicação analógica

O termo *comutação de circuitos* refere-se a um mecanismo de comunicação que estabelece um caminho independente entre o transmissor e o receptor. A comutação de circuitos é geralmente associada com a tecnologia de telefonia analógica, porque um sistema de telefonia fornece uma conexão dedicada entre dois telefones. Na verdade, o termo se originou das primeiras redes telefônicas discadas que usavam dispositivos de comutação eletromecânicos para formar um circuito físico. A Figura 13.1 ilustra a comunicação realizada através de uma rede de comutação de circuitos.



**Figura 13.1** Uma rede de comutação de circuitos que fornece uma conexão direta entre cada par de entidades.

Redes de comutação de circuitos modernas usam dispositivos eletrônicos para estabelecer circuitos. Além disso, em vez de cada circuito corresponder a um caminho físico, vários circuitos são multiplexados sobre mídia compartilhada, e o resultado é conhecido como *circuito virtual*. Assim, a diferença entre comutação de circuitos e outras formas de redes não é mais definida pela existência de caminhos físicos separados; em vez disso, três propriedades gerais definem o paradigma da comutação de circuitos:

- Comunicação ponto-a-ponto
- Etapas separadas para criação, uso e término dos circuitos
- Desempenho equivalente a um caminho físico isolado

A primeira propriedade significa que um circuito é formado por exatamente dois pontos, e a segunda propriedade distingue os circuitos que são *comutados* (estabelecidos quando necessário) dos circuitos *permanentes* (sempre ativos e prontos para uso). Circuitos comutados usam um processo de três passos, similar ao estabelecimento de uma chamada telefônica. No primeiro passo, um circuito é criado quando um ser humano ou um programa de aplicação tenta se comunicar. No segundo passo, as duas partes utilizam o circuito, e na terceira as duas partes terminam a utilização. Assim, um circuito comutado é temporário no sentido de que permanece ativo apenas enquanto necessário; uma vez que a comunicação termina, ele é removido.

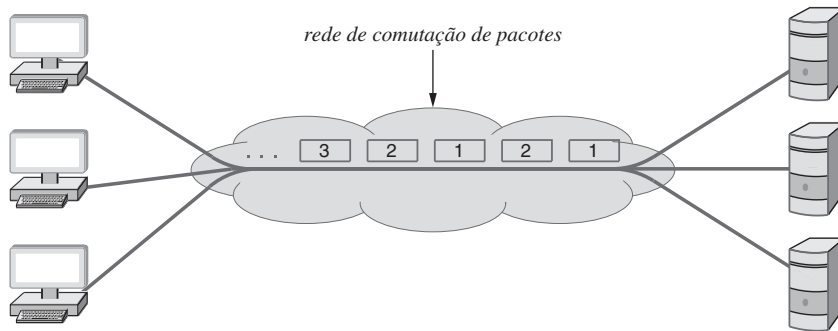
A terceira propriedade fornece uma distinção crucial entre as redes de comutação de circuitos e os outros tipos. A comutação de circuitos significa que a comunicação entre as duas partes não pode ser afetada de forma alguma pela comunicação entre as outras entidades que se comunicam na rede, mesmo que toda a comunicação seja multiplexada através de um único meio comum. Em particular, a comutação de circuitos deve fornecer a ilusão de um caminho isolado para cada par de entidades comunicantes. Assim, técnicas como a multiplexação por divisão de frequências ou a multiplexação síncrona por divisão de tempo devem ser usadas para multiplexar os circuitos através de um meio compartilhado.

Em síntese:

*A comutação de circuitos proporciona a ilusão de um caminho físico isolado entre um par de entidades; um caminho é criado quando necessário e liberado após o uso.*

### 13.3 Comutação de pacotes

A principal alternativa para a comutação de circuitos é a *comutação de pacotes*, que forma a base da Internet. Um sistema de comutação de pacotes utiliza multiplexação estatística, na qual as múltiplas fontes concorrem para a utilização do meio compartilhado. A Figura 13.2 ilustra o conceito.



**Figura 13.2** Uma rede de comutação de pacotes envia um pacote por vez através do meio compartilhado.

A principal diferença entre comutação de pacotes e outras formas de multiplexação estatística é que um sistema de comutação de pacotes requer que o transmissor divida cada mensagem em pequenos blocos de dados, chamados *pacotes*. O tamanho de um pacote varia; cada tecnologia de comutação de pacotes define um tamanho máximo<sup>1</sup>.

Três propriedades gerais definem o paradigma da comutação de pacotes:

- Comunicação assíncrona para receptores arbitrários
- Não é necessário inicialização antes do início da comunicação
- O desempenho varia devido à multiplexação estatística entre os pacotes

A primeira propriedade significa que a comutação de pacotes permite que um transmissor se comunique com um ou vários destinatários, e que um destinatário pode receber mensagens de um ou vários transmissores. Além disso, a comunicação pode ocorrer a qualquer momento, e um transmissor pode atrasar um tempo qualquer entre dois eventos sucessivos de comunicação.

A segunda propriedade significa que, ao contrário de um sistema de comutação de circuitos, um sistema de comutação de pacotes permanece pronto para enviar um pacote para qualquer destino a qualquer momento. Assim, um remetente não precisa executar qualquer inicialização antes de transmitir, nem precisa sinalizar o término da comunicação.

A terceira propriedade significa que a multiplexação ocorre entre pacotes em vez de bits ou bytes. Isto é, uma vez que um remetente obtém acesso ao canal, transmite um pacote completo e, em seguida, permite que outros remetentes transmitam seus pacotes. Quando não há outros remetentes prontos para transmitir um pacote, um único remeten-

<sup>1</sup> Os pacotes não são grandes: um tamanho máximo de pacote comum é 1.500 bytes.

te pode transmitir repetidamente. No entanto, se vários remetentes compartilham uma rede comutada, esta é projetada para dar a cada um deles uma parte equitativa, ou seja, se  $N$  transmissores têm um grande conjunto de pacotes prontos para serem enviados, um determinado transmissor será capaz de utilizar cerca de  $1/N$  da capacidade da rede.

Para resumir:

*A comutação de pacotes, que forma a base da Internet, é um tipo de multiplexação estatística que possibilita a comunicação muitos-para-muitos. Um transmissor deve dividir uma mensagem em um conjunto de pacotes; depois que um remetente transmite um pacote, deve esperar que os outros remetentes transmitam antes de prosseguir.*

Uma das principais vantagens da comutação de pacotes é a economia que surge a partir do compartilhamento do meio físico. Para fornecer comunicação entre  $N$  computadores, uma rede de comutação de circuitos deve ter uma conexão para cada computador, mais pelo menos  $N/2$  caminhos independentes. Com a comutação de pacotes, uma rede deve ter uma conexão para cada computador, mas apenas um caminho, que é compartilhado.

### 13.4 Redes de pacotes de área local e de longo alcance

Tecnologias de comutação de pacotes são comumente classificadas de acordo com a distância que abrangem. As tecnologias de redes mais econômicas abrangem pequenas distâncias (por exemplo, dentro de um edifício) e as mais caras abrangem longas distâncias (por exemplo, várias cidades). A Figura 13.3 resume as três categorias principais.

Sigla	Significado	Descrição
LAN	Local Area Network ou rede de área local	Custo baixo; abrange uma sala ou edifício
MAN	Metropolitan Area Network ou rede de área metropolitana	Custo médio; abrange uma grande cidade ou uma região metropolitana
WAN	Wide Area Network ou rede de longo alcance	Custo elevado; abrange várias cidades

**Figura 13.3** As três principais categorias de redes de comutação de pacotes.

Na prática, poucas tecnologias MAN foram criadas, e as redes MAN não foram bem-sucedidas comercialmente. Consequentemente, os profissionais de redes tendem a agrupar as tecnologias de MAN na categoria WAN e a usar apenas os termos LAN e WAN.

A terminologia tornou-se tão generalizada que os grupos muitas vezes propõem variantes que começam com “rede de área”. Por exemplo, o Capítulo 16 descreve tecnologias *rede de área pessoal* (PAN, *Personal Area Network*), como bluetooth, que são limitadas a poucos metros. Além disso, os fabricantes de chips, por vezes, usam o termo

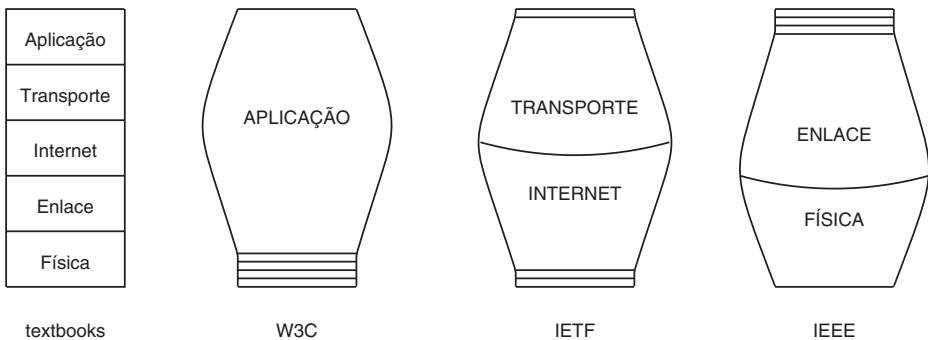


*rede de área de chip* (CAN, *Chip Area Network*) para se referirem a mecanismos de comutação de pacotes que ligam vários núcleos em um único chip VLSI.

### 13.5 Padrões para formato de pacotes e identificação

Como os sistemas de comutação de pacotes dependem de compartilhamento, cada pacote enviado deve conter a identificação do destinatário. Além disso, para garantir que nenhuma ambiguidade ocorra, todos os transmissores devem concordar sobre os detalhes exatos de como identificar um destinatário e onde colocar a identificação em um pacote. Organizações de padronização criam protocolos que especificam todos esses detalhes. O conjunto mais utilizado de normas para LANs foi criado pelo IEEE (*Institute for Electrical and Electronics Engineers*).

Em 1980, o IEEE organizou o *Comitê de Padronização do Projeto 802 LAN/MAN* para produzir padrões para redes. Para entender os padrões IEEE, é importante saber que a organização é composta por engenheiros que se concentram nas duas camadas inferiores da pilha de protocolos. Na verdade, quando se lê os documentos do IEEE, pode parecer que todos os outros aspectos da rede não são importantes. No entanto, existem outras organizações de padronização, e cada uma enfatiza camadas específicas da pilha. O IETF enfoca os protocolos de transporte e de Internet, e o consórcio World Wide Web se concentra em padrões de camada de aplicação. Cada grupo acredita que suas camadas são as mais importantes. A Figura 13.4 fornece uma ilustração bem-humorada de uma pilha de protocolos como vista por cada organização de padrões.



**Figura 13.4** Uma ilustração bem-humorada de uma pilha de protocolos como vista pelas várias organizações de padronização.

O que o leitor deve ter em mente é que os padrões de uma determinada organização são pertinentes apenas para certas camadas e que a quantidade de normas não é proporcional à importância de uma camada em particular. Para resumir:

*Cada organização de padronização concentra-se em camadas específicas da pilha de protocolos. Padrões IEEE focam nas duas últimas camadas da pilha e nas tecnologias de LAN.*

### 13.6 O modelo IEEE 802 e seus padrões

Mais dúvidas sobre as camadas surgem porque o IEEE divide a camada 2 em dois tipos e usa o termo *subcamadas* para caracterizar a divisão. No entanto, a terminologia pode ser enganosa, pois os dados não passam pelas duas subcamadas como passam através de camadas convencionais; em vez disso, as subcamadas definem vários aspectos dos protocolos da camada 2, como o endereçamento e o compartilhamento de mídia. A Figura 13.5 lista as duas subcamadas conceituais do IEEE e sua finalidade.

Subcamada	Expansão	Objetivo
LLC	Logical Link Control	Endereçamento e demultiplexação
MAC	Media Access Control	Acesso ao meio físico compartilhado

**Figura 13.5** A divisão conceitual da camada 2 em subcamadas, de acordo com o modelo do IEEE.

A subcamada *controle lógico do enlace* (LLC, *Logical Link Control*) especifica o endereçamento e o uso de endereços para demultiplexação conforme descrito posteriormente neste capítulo. A subcamada *controle de acesso ao meio físico* (MAC, *Media Access Control*) especifica como vários computadores compartilham o meio físico.

Em vez de usar nomes textuais para identificar o grupo de pessoas que trabalha em um padrão, o IEEE utiliza um identificador do tipo XXX.YYY.ZZZ. O valor numérico XXX indica a categoria da norma, o sufixo YYY denota uma subcategoria. Se uma subcategoria é suficientemente grande, um terceiro nível pode ser adicionado para distinguir entre padrões específicos. Por exemplo, as especificações de LAN receberam a numeração de categoria 802. Assim, cada grupo de trabalho que desenvolve um padrão de LAN recebe uma identificação, como 802.1, 802.2 e assim por diante. Note que nem o valor 802 nem os sufixos individuais transmitem qualquer significado técnico – eles apenas identificam padrões. A Figura 13.6 lista exemplos de identificadores do IEEE para LAN.

Como mostra a figura, o IEEE criou vários grupos de trabalho, cada um deles destinado a padronizar um tipo de tecnologia de rede. Um grupo, que é composto por representantes das comunidades industrial e acadêmica, reúne-se regularmente para discutir abordagens e elaborar normas. Quando um grupo finalmente concorda nos detalhes, escreve um documento padrão, que o IEEE publica.

Um grupo de trabalho é criado quando uma nova tecnologia é necessária, e o grupo pode decidir se desfazer uma vez que o padrão tenha sido produzido. Normalmente, o IEEE permite que um grupo de trabalho permaneça ativo desde que faça progresso e que a tecnologia ainda seja considerada importante. Se um grupo decide que a tecnologia sob investigação não é mais relevante, pode se desfazer sem produzir um padrão. Alternativamente, o IEEE pode decidir que uma norma não é mais relevante, por exemplo, caso uma tecnologia melhor tenha sido descoberta, tornando a normalização sem sentido. Em alguns casos, outra organização de padrões pode ter produzido um padrão antes, fazendo o esforço do IEEE redundante. A Figura 13.6 também inclui temas que eram considerados importantes, mas foram dissolvidos.



## 13.7 Redes ponto-a-ponto e acesso múltiplo

Recorde que o termo *ponto-a-ponto* se refere a um mecanismo de comunicação que liga exatamente duas entidades comunicantes. Tecnologias LAN usam uma alternativa na qual vários computadores partilham um meio, de tal modo que qualquer computador na rede local pode se comunicar com qualquer outro. Para descrever esse tipo de compartilhamento, utilizamos o termo *acesso múltiplo* e dizemos que a LAN é de *acesso múltiplo*.

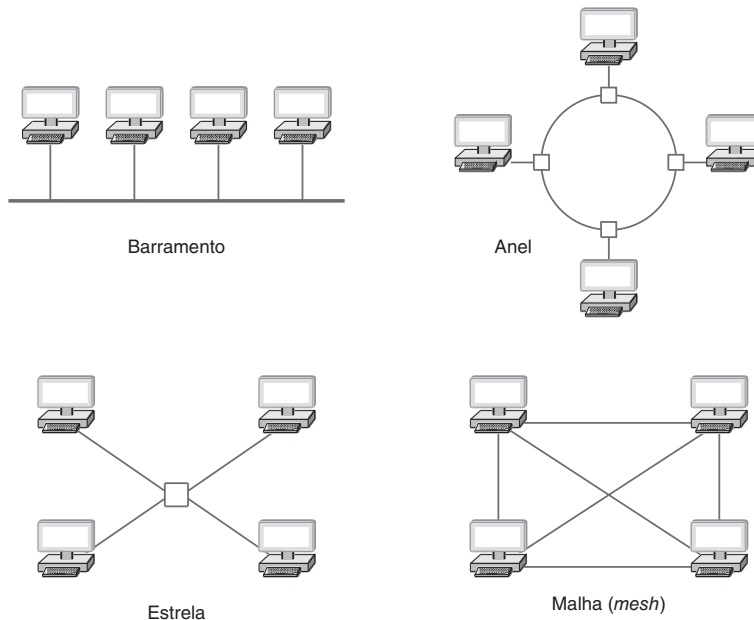
Em geral, as tecnologias de LAN oferecem conexões diretas entre as entidades comunicantes. Profissionais dizem que as LANs conectam *computadores*, com o entendimento de que um dispositivo como uma impressora também pode se conectar a uma LAN de acesso múltiplo.

ID	Tópico
802.1	Protocolos de rede local de camadas mais altas
802.2	Controle Lógico do Enlace
802.3	Ethernet
802.4	Token Bus (finalizado)
802.5	Token Ring
802.6	Redes de área metropolitana (finalizado)
802.7	Redes locais de banda larga utilizando cabo coaxial (finalizado)
802.9	Redes locais com serviços integrados (finalizado)
802.10	Segurança interoperável de redes locais (finalizado)
802.11	Redes locais sem fio (wireless ou wi-fi)
802.12	Prioridade por demanda
802.13	Categoria 6 – redes locais de 10 Gbit/s
802.14	Modems a cabo (finalizado)
802.15	Redes de área pessoal (PAN ou Personal Area Networks) 802.15.1 (Bluetooth) 802.15.4 (ZigBee)
802.16	Acesso sem fio de banda larga 802.16e (Móvel) banda larga sem fio
802.17	Redes de anel com resiliência
802.18	Grupo de Consultores Técnicos (TAG – Technical Advisory Group) de regulação de rádio
802.19	TAG de coexistência
802.20	Acesso móvel banda larga sem fio
802.21	<i>Handoff</i> independente de meio
802.22	Rede de área regional sem fio

**Figura 13.6** Exemplos de identificadores que o IEEE atribuiu a vários padrões LAN.

## 13.8 Topologias de LAN

Como muitas tecnologias de LAN foram desenvolvidas, é importante saber suas semelhanças e diferenças. Para ajudar a identificar semelhanças, cada rede é classificada em uma categoria de acordo com sua *topologia* ou forma geral. Esta seção descreve quatro topologias básicas que são usadas para construir LANs; um capítulo posterior discute tecnologias específicas. A Figura 13.7 ilustra as topologias.



**Figura 13.7** Quatro topologias de rede usadas com LANs.

### 13.8.1 Topologia em barramento

O termo *topologia em barramento* foi cunhado para caracterizar redes, como a Ethernet original, que consistem em um único cabo no qual os computadores se conectam. Qualquer computador conectado a um barramento pode enviar um sinal pelo cabo, e todos os computadores recebem o sinal. Como todos os computadores se conectam diretamente ao cabo, qualquer computador pode enviar dados para qualquer outro computador. É claro que os computadores ligados a uma rede de barramento devem se coordenar para garantir que apenas um computador por vez envie o sinal. Algumas redes de barramento são organizadas para que os computadores se conectem a um pequeno dispositivo (numa topologia estrela), e o barramento (ou seja, o cabo compartilhado) é mantido dentro do dispositivo.

### 13.8.2 Topologia em anel

Uma rede que utiliza *topologia em anel* organiza os computadores de forma que eles constituam um circuito fechado – um cabo liga o primeiro computador no segundo

computador, outro cabo liga o segundo computador no terceiro e assim por diante, até que um cabo ligue o último computador de volta no primeiro. Algumas tecnologias que usam topologia em anel fazem todos os computadores se conectarem a um pequeno dispositivo (numa topologia estrela), e o anel é formado no interior do dispositivo. A vantagem de utilizar um dispositivo separado reside na capacidade do anel de continuar a operação, mesmo se alguns dos computadores forem desligados. O nome *anel* surgiu porque é possível imaginar os computadores e os cabos que os conectam dispostos em um círculo, como ilustra a Figura 13.7. Na prática, os cabos de uma rede em anel não formam um círculo; em vez disso, eles correm ao longo de corredores ou sobem na vertical de um andar de um edifício para outro.

### 13.8.3 Topologia em malha (mesh)

Uma rede que utiliza uma *topologia em malha (mesh)* proporciona uma ligação direta entre cada par de computadores. A principal desvantagem da topologia em malha é o custo: uma rede em malha conectando  $n$  computadores requer:

$$\text{conexões em uma rede mesh} = \frac{n!}{(n-2)! 2!} = \frac{n^2 - n}{2} \quad (13.1)$$

O mais importante é que o número de conexões necessárias para uma rede em malha cresce mais rápido do que o número de computadores. Como as conexões físicas são caras, poucas LANs com fio empregam esse tipo de topologia.

### 13.8.4 Topologia em estrela

Uma rede usa *topologia em estrela* se todos os computadores se conectam a um ponto central. Como uma rede em forma de estrela se assemelha aos raios de uma roda, o centro de uma rede em estrela é muitas vezes chamado de *hub (concentrador)*. Um hub típico consiste de um dispositivo eletrônico que recebe dados do computador de origem e os entrega ao destino adequado.

Na prática, as redes em estrela raramente têm uma forma simétrica na qual o hub está localizado a uma distância igual de todos os computadores. Em vez disso, um hub muitas vezes fica em um local separado dos computadores conectados a ele. Por exemplo, os computadores podem ficar em escritórios individuais, enquanto o hub fica em um local acessível à equipe de rede da organização.

### 13.8.5 A razão para várias topologias

Cada topologia tem vantagens e desvantagens. Uma topologia em anel facilita a coordenação do acesso e ajuda a detectar se a rede está funcionando corretamente. Sem um dispositivo externo, no entanto, toda a rede de anel pode ser desativada se um dos cabos é cortado. Uma topologia em estrela ajuda a proteger a rede contra danos em um único cabo, porque cada cabo se conecta individualmente a uma máquina. Um barramento requer menos fios do que uma estrela, mas tem a mesma desvantagem do anel: a rede é desativada se alguém corta acidentalmente o cabo principal. Alguns

capítulos posteriores que descrevem as tecnologias de rede específicas fornecem detalhes adicionais sobre as diferenças. Por enquanto, é suficiente entender isto:

*As redes são classificadas em categorias abrangentes de acordo com a sua forma geral. Embora uma topologia em malha seja possível, as topologias primárias utilizadas em LANs são estrela, anel e barramento; cada uma tem vantagens e desvantagens.*

### 13.9 Identificação de pacotes, demultiplexação, endereços MAC

Além das normas que especificam os detalhes de várias tecnologias de LAN, o IEEE criou um padrão para o *endereçamento*. Para entender o endereçamento, considere pacotes atravessando um meio compartilhado, como na Figura 13.2. No caso mais simples, cada pacote que se desloca através do meio compartilhado destina-se a um receptor específico, e apenas o destinatário deve processar o pacote. Em sistemas de comutação de pacotes, a demultiplexação utiliza um identificador conhecido como *endereço*. Cada computador possui um endereço único, e cada pacote contém o endereço do destinatário pretendido.

No esquema de endereçamento do IEEE, cada endereço consiste em um valor binário de 48 bits. O IEEE usa o termo *endereço MAC* (*endereço de Media Access Control*). Como os endereços de 48 bits são originários da tecnologia Ethernet, profissionais de rede também usam o termo *endereço Ethernet*. Para garantir que cada endereço seja único, o IEEE atribui um endereço para cada hardware de interface de rede. Assim, se um consumidor compra uma *placa de interface de rede* (NIC, *Network Interface Card*) para o seu PC, ela contém um endereço IEEE único atribuído quando foi fabricada.

Em vez de atribuir endereços individuais, o IEEE atribui um bloco de endereços a cada fornecedor de equipamentos e permite que o vendedor atribua um valor único para cada dispositivo fabricado. Assim, o endereço de 48 bits é dividido em um *identificador organizacional único de 3 bytes* (OUI, *Organizationally Unique ID*) que identifica o fornecedor do equipamento, e em um bloco de 3 bytes que identifica um determinado *controlador de interface de rede* (NIC, *Network Interface Controller*). A Figura 13.8 ilustra a divisão.

Curiosamente, os dois bits menos significativos do byte mais significativo da OUI possuem um significado especial, como indica a figura. O bit menos significativo do byte mais significativo é um bit de *multicast*, que especifica se o endereço é *unicast* (0) ou *multicast* (1), e o próximo bit especifica se o OUI é globalmente único (0) ou atribuído localmente (1). A próxima seção explica o multicast. Endereços globalmente únicos são atribuídos pelo IEEE; endereços atribuídos localmente estão disponíveis para trabalho experimental ou para organizações que desejam criar o seu próprio espaço de endereço.

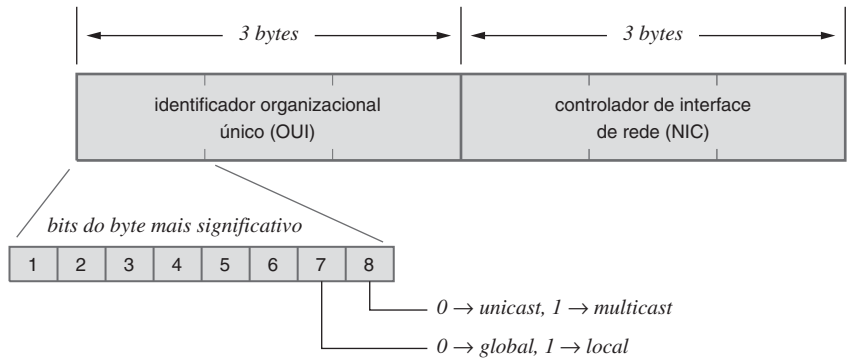


Figura 13.8 A divisão de um endereço MAC IEEE de 48 bits.

13.10 Endereços unicast, broadcast e multicast

O esquema de endereçamento do IEEE suporta três tipos de endereços que correspondem a três tipos de entrega de pacotes. A Figura 13.9 apresenta um resumo.

Tipo de endereço	Significado e entrega de pacotes
Unicast	Identifica univocamente um computador e especifica que apenas ele deve receber uma cópia do pacote
Broadcast	Corresponde a todos os computadores e especifica que cada computador na rede deve receber uma cópia do pacote
Multicast	Identifica um subconjunto dos computadores de uma determinada rede e especifica que cada computador no subconjunto deve receber uma cópia do pacote

Figura 13.9 Os três tipos de endereços MAC e os significados correspondentes.

Pode parecer estranho que o formato de endereços IEEE reserve um bit para distinguir entre unicast e multicast, mas não forneça uma maneira de designar um endereço de broadcast. A norma especifica que um *endereço de broadcast* consiste em 48 bits que são todos 1s. Assim, um endereço de broadcast tem o bit multicast ligado. Conceitualmente, o broadcast pode ser compreendido como uma forma especial de multicast, isto é, cada endereço de multicast corresponde a um grupo de computadores, e o endereço de broadcast corresponde a um grupo que inclui todos os computadores da rede.

13.11 Broadcast, multicast e entrega eficiente com multi-ponto

Endereços broadcast e multicast são especialmente úteis em LANs, porque permitem a entrega eficiente para muitos computadores. Para entender a eficiência, lembre-se de que a maioria das tecnologias de LAN transmite pacotes através de um meio físico compartilhado. Em uma LAN típica, cada computador monitora o meio compartilhado, extrai uma cópia de cada um dos pacotes e, em seguida, examina o endereço de destino

do pacote para determinar se este deve ser processado ou ignorado. O Algoritmo 13.1 especifica as etapas efetuadas num computador para processar um pacote de entrada.

### Algoritmo 13.1

Finalidade:

Lidar com um pacote que chega através da LAN

Método:

```
    Extrair o endereço de destino, D, do pacote;
    if (D corresponde ao meu endereço unicast) {
        aceitar e processar o pacote;
    } else if (D corresponde ao endereço de broadcast) {
        aceitar e processar o pacote;
    } else if (D corresponde a um dos endereços multicast
        para um grupo do qual sou membro) {
        aceitar e processar o pacote;
    } else {
        ignorar o pacote;
    }
```

**Algoritmo 13.1** Algoritmo de processamento de pacotes usado em uma LAN.

A partir do algoritmo, a eficiência deve estar clara. No caso de um broadcast ou de um multicast, uma única cópia do pacote é transmitida para o meio compartilhado, e todos os computadores a recebem e a processam. Por exemplo, considere o broadcast. Em vez de efetuar  $N$  transmissões separadas para cada computador na rede, um transmissor envia uma única cópia do pacote para o endereço de broadcast, e todos os computadores a recebem.

## 13.12 Quadros e enquadramento

O Capítulo 9 apresenta o enquadramento no contexto dos sistemas de comunicação síncrona como um mecanismo que permite a um receptor saber onde uma mensagem começa e termina. Num sentido mais geral, nós utilizamos o termo *enquadramento* em referência à estrutura adicionada a uma sequência de bits ou bytes que permite ao transmissor e ao receptor concordarem com o formato exato da mensagem. Em uma rede de comutação de pacotes, cada *quadro* corresponde a um pacote. Um quadro é composto por duas partes conceituais:

- Um cabeçalho contendo metadados, como um endereço
- Uma carga útil (payload) contendo os dados a serem enviados

Um *cabeçalho* de quadro contém a informação usada para processar o quadro. Em particular, um cabeçalho geralmente contém um endereço que especifica o destinatário. A área de *carga útil* contém a mensagem a ser enviada e é geralmente muito maior do



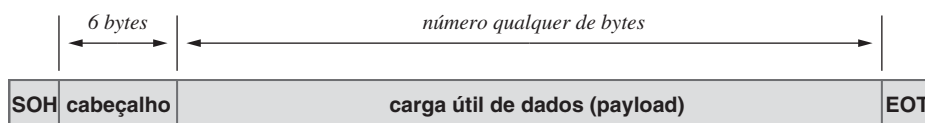
que o cabeçalho. Na maioria das tecnologias de rede, a mensagem é *opaca*, no sentido de que a rede examina apenas o cabeçalho; assim, a carga pode conter uma sequência qualquer de bytes que só são significativos para o transmissor e o receptor.

Um quadro é geralmente concebido de forma que o cabeçalho seja transmitido antes da carga útil de dados, o que permite ao receptor começar a processar o quadro à medida que os bits chegam. Algumas tecnologias enviam um pequeno prelúdio antes do quadro e um pequeno finalizador depois dele. A Figura 13.10 ilustra o conceito.



**Figura 13.10** Estrutura típica de um quadro de uma rede de comutação de pacotes.

Para entender como o enquadramento funciona, considere um exemplo simplificado que usa bytes<sup>2</sup>. Suponha que um mecanismo de comunicação de dados consiga transferir um byte de 8 bits de um emissor para um receptor e imagine que o mecanismo é utilizado para enviar pacotes. Assuma que um cabeçalho de pacote consista em 6 bytes e que a carga útil seja constituída por um número qualquer de bytes. Vamos utilizar um único byte para marcar o início de um quadro, e um único byte para marcar o fim de um quadro. No conjunto de caracteres ASCII, o byte *Start Of Header* (SOH) marca o início de um quadro, e o *End Of Transmission* (EOT) marca o fim dele. A Figura 13.11 ilustra o formato.



**Figura 13.11** Um exemplo que usa os caracteres SOH e EOT para delinear o quadro.

O exemplo parece ter sobrecarga desnecessária. Para entender o porquê, considere o que acontece quando um remetente transmite dois quadros sem atraso entre eles. No final do primeiro quadro, o remetente transmite o EOT e, em seguida, sem qualquer atraso, transmite o SOH para iniciar o segundo quadro. Em tais circunstâncias, somente um caractere seria necessário para separar os dois blocos de dados – um regime de enquadramento que delimita o início e o final de cada quadro parece enviar caracteres desnecessários entre os quadros.

A vantagem do envio de caracteres no final de cada quadro torna-se evidente quando se considera que a transmissão de pacotes é assíncrona e que podem ocorrer erros.

<sup>2</sup> A maioria das tecnologias de rede usam bits em vez de bytes; o exemplo foi escolhido para tornar a explicação mais intuitiva.

Para a comunicação assíncrona, utilizar um EOT para assinalar o fim de um quadro permite a um receptor processar o quadro sem aguardar o início do quadro seguinte. No caso de um erro, usar SOH e EOT para delimitar o quadro contribui com a recuperação e a sincronização – se um transmissor reinicializa durante o envio de um quadro, um receptor será capaz de determinar que um quadro parcial chegou.

### 13.13 Byte e bit stuffing

No conjunto de caracteres ASCII, SOH tem o valor hexadecimal 0x01 e EOT tem o valor 0x04. Surge a pergunta: o que acontece se a carga útil de um quadro incluir um ou mais bytes com valor 0x01 ou 0x04? A resposta está em uma técnica que permite a transmissão de quaisquer dados sem confusão.

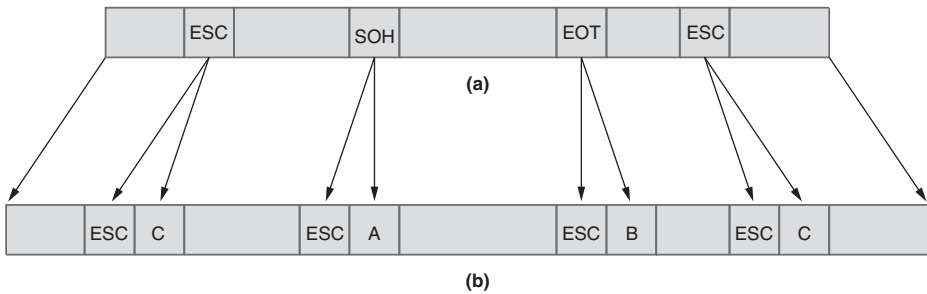
Em geral, para distinguir entre dados e informações de controle, tais como delimitadores de quadro, um transmissor transforma os dados substituindo cada byte de controle por uma sequência, e o receptor substitui a sequência pelo valor original. Como resultado, um quadro pode transferir quaisquer dados e o receptor nunca confunde dados com informação de controle. A técnica é conhecida como *byte stuffing* (*enchimento ou inserção de bytes*); os termos *data stuffing* e *character stuffing* são por vezes usados. Uma técnica relacionada usada em sistemas que transferem um fluxo de bits é conhecida como *bit stuffing*.

Como um exemplo de byte stuffing, considere o quadro ilustrado na Figura 13.11. Como SOH e EOT são usados para delimitar o quadro, esses dois bytes não podem aparecer na carga útil. A byte stuffing resolve o problema por meio da reserva de um terceiro byte para marcar as ocorrências de caracteres reservados nos dados. Por exemplo, suponha que o caractere ASCII ESC (valor hexadecimal 1B) seja escolhido como o terceiro byte. Quando qualquer um dos três caracteres especiais ocorrer nos dados, o transmissor substitui o byte por uma sequência de dois caracteres. A Figura 13.12 mostra um possível mapeamento.

Byte no payload	Sequência enviada
SOH	ESC A
EOT	ESC B
ESC	ESC C

**Figura 13.12** Um exemplo de byte stuffing que mapeia cada caractere especial em uma sequência de 2 caracteres.

Como pode ser visto na figura, o remetente substitui cada ocorrência de SOH nos dados por dois caracteres, ESC e A; cada ocorrência de EOT pelos caracteres ESC e B; e cada ocorrência de ESC pelos caracteres ESC e C. Um receptor inverte o mapeamento, procurando por ESC seguido por A, B, ou C e substituindo a combinação de 2 caracteres pelo caractere apropriado. A Figura 13.13 mostra um exemplo de payload e o mesmo payload após o byte stuffing. Note que, após o byte stuffing ser realizado, nem SOH nem EOT aparecem em qualquer lugar da carga útil.



**Figura 13.13** Ilustração de (a) dados originais e (b) a versão após a realização de byte stuffing.

## 13.14 Resumo

As redes podem utilizar comutação de circuitos ou comutação de pacotes. A comutação de pacotes, que é a base da Internet, é uma forma de multiplexação estatística na qual os remetentes dividem as mensagens em pequenos pacotes. Tecnologias de comutação de pacotes são classificadas como redes de área local (LANs), redes de longo alcance (WANs) e redes de área metropolitana (MANs); LANs e WANs são as mais populares.

Uma organização chamada IEEE criou padrões para redes de dados. As normas IEEE especificam principalmente detalhes para LANs e concentram-se nas duas primeiras camadas da pilha de protocolos.

Quatro formas básicas ou topologias são usadas para caracterizar LANs: barramento, estrela, anel e malha. Topologias de malha são raramente usadas porque são caras.

Cada pacote enviado através de uma LAN contém um endereço MAC que identifica o destinatário. O padrão IEEE para endereços MAC especifica um valor de 48 bits divididos em dois campos: um identifica a organização que atribui o endereço e outro dá um valor único para a peça de hardware para a qual o endereço é atribuído. Um endereço pode especificar uma transmissão unicast (um único computador), broadcast (todos os computadores de uma determinada LAN) ou multicast (um subconjunto de computadores em uma LAN).

O termo *quadro* é usado para especificar o formato de um pacote em uma determinada rede. Um quadro é composto por duas partes conceituais: um cabeçalho, que contém metainformação, e uma área de carga útil, que contém os dados a serem enviados. Para uma rede que transmite caracteres, um quadro pode ser formado por um valor de byte para indicar o início do quadro e outro para indicar o fim do quadro.

Técnicas de byte (bit) stuffing permitem que bytes (sequências de bits) sejam reservados para uso na marcação de início e fim de quadro. Para assegurar que uma carga útil não contenha bytes reservados (cadeias de bits), um transmissor substitui as ocorrências dos valores reservados antes da transmissão, e um receptor inverte a mudança para obter os dados originais.

Encerra aqui o trecho do livro disponibilizado para esta Unidade de Aprendizagem. Na Biblioteca Virtual da Instituição, você encontra a obra na íntegra.