

Behrouz A. Forouzan

Comunicação de Dados e Redes de Computadores

Quarta edição





F727c Forouzan, Behrouz A.

Comunicação de dados e redes de computadores [recurso eletrônico] / Behrouz A. Forouzan com a colaboração de Sophia Chung Fegan ; tradução: Ariovaldo Griesi ; revisão técnica: Jonas Santiago de Oliveira. – 4. ed. – Dados eletrônicos. – Porto Alegre : AMGH, 2010.

Editado também como livro impresso em 2008.
ISBN 978-85-63308-47-4

1. Comunicação entre computadores. 2. Redes de computadores. I. Fegan, Sophia Chung. II. Título.

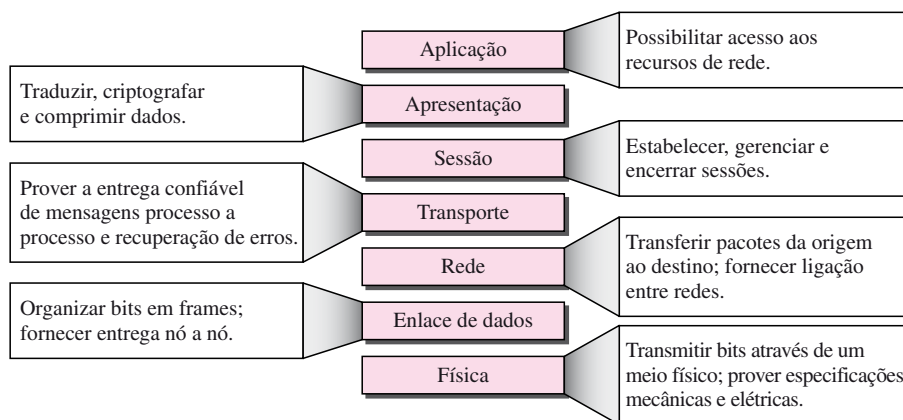
CDU 004.7

- ❑ **Transferência, acesso e gerenciamento de arquivos.** Essa aplicação permite a um usuário acessar arquivos em um host remoto (fazer alterações ou ler dados), recuperar arquivos de um computador remoto para uso em um computador local e gerenciar ou controlar localmente arquivos que se encontrem em um computador remoto.
- ❑ **Serviços de correio eletrônico.** Essa aplicação fornece a base para o encaminhamento e armazenamento de e-mails.
- ❑ **Serviços de diretório.** Essa aplicação fornece fontes de bancos de dados distribuídos e acesso a informações globais sobre vários itens e serviços.

Resumo sobre as Camadas

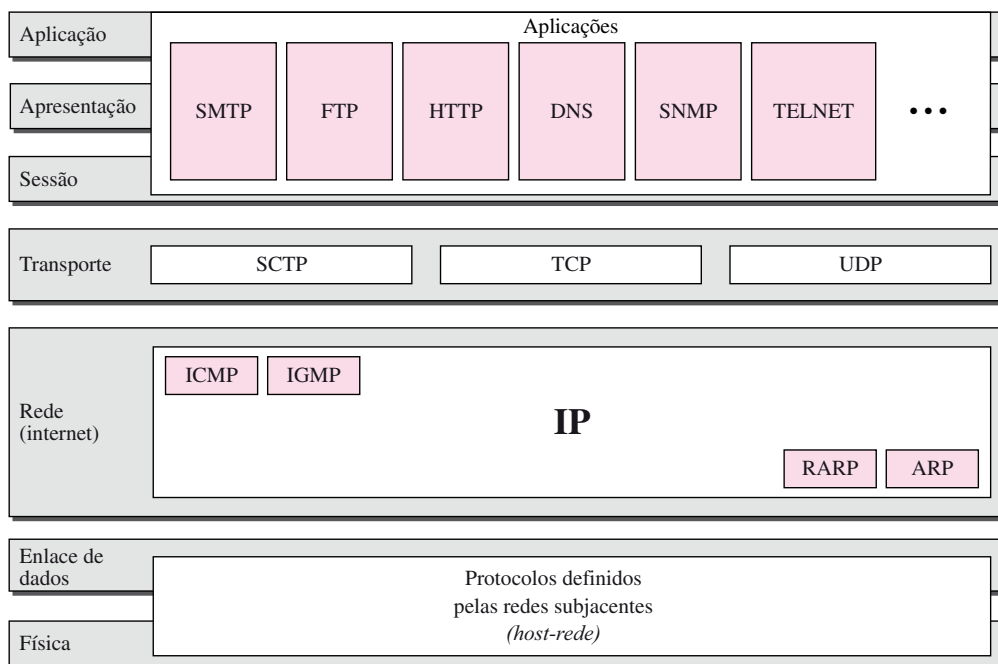
A Figura 2.15 resume as funções de cada camada.

Figura 2.15 *Resumo das camadas*



2.4 CONJUNTO DE PROTOCOLOS TCP/IP

O **conjunto de protocolos TCP/IP** foi desenvolvido antes do modelo OSI. Portanto, as camadas no conjunto de protocolos TCP/IP não correspondem exatamente às do modelo OSI. O conjunto de protocolos TCP/IP foi definido como tendo quatro camadas: *host-rede*, internet, transporte e aplicação. Entretanto, quando o TCP/IP é comparado ao modelo OSI, podemos dizer que a camada *host-rede* é equivalente à combinação das camadas física e de enlace de dados. A camada internet equivale à camada de rede e a camada de aplicação realiza, a grosso modo, as funções das camadas de sessão, de apresentação e de aplicação com a camada de transporte no TCP/IP cuidando também de parte das tarefas da camada de sessão. Portanto, neste livro, partimos do pressuposto de que o conjunto de protocolos TCP/IP é composto por cinco camadas: física, enlace, rede, transporte e aplicação. As quatro primeiras camadas fornecem funções de padrões físicos, interfaces de rede, ligação entre redes e de transporte que correspondem às quatro primeiras camadas do modelo OSI. Entretanto, as três camadas mais altas no modelo OSI são representadas no TCP/IP por uma única camada denominada *camada de aplicação* (ver Figura 2.16).

Figura 2.16 Modelo OSI e TCP/IP

O TCP/IP é um conjunto de protocolos hierárquicos, compostos por módulos interativos, cada um dos quais provendo funcionalidades específicas; entretanto, os módulos não são necessariamente interdependentes. Enquanto o modelo OSI especifica quais funções pertencem a cada uma de suas camadas, as camadas do conjunto de protocolos TCP/IP contêm protocolos relativamente independentes que podem ser mesclados e combinados dependendo das necessidades do sistema. O termo *hierárquico* significa que cada protocolo de nível superior é suportado por um ou mais protocolos de nível inferior.

Na camada de transporte, o TCP/IP define três protocolos: *Transmission Control Protocol* (TCP), *User Datagram Protocol* (UDP) e *Stream Control Transmission Protocol* (SCTP). Na camada de rede, o protocolo principal definido pelo TCP/IP é o *Internetworking Protocol* (IP); existem também outros protocolos que suportam a movimentação de dados nessa camada.

Camadas Física e de Enlace

Nas camadas física e de enlace, o TCP/IP não define nenhum protocolo específico. Ele suporta todos os protocolos-padrão e proprietários. Uma rede em uma *internetwork* TCP/IP pode ser uma rede local (LAN) ou uma rede de ampla abrangência (WAN).

Camada de Rede

Na camada de rede (ou, mais precisamente, a camada de ligação entre redes), o TCP/IP suporta o *Internetworking Protocol* (IP). Este, por sua vez, usa quatro protocolos auxiliares de suporte: ARP, RARP, ICMP e IGMP. Cada um desses protocolos é descrito em mais detalhes em capítulos futuros.

Internetworking Protocol (IP)

O *Internetworking Protocol* (IP) é o mecanismo de transmissão usado pelos protocolos TCP/IP. Trata-se de um protocolo sem conexão e não confiável — um **serviço de entrega do tipo *best-effort*** — o termo *best-effort* (*melhor esforço possível*) significa que o IP não dispõe de nenhuma verificação ou correção de erros. O IP assume a falta de confiabilidade das camadas inferiores e faz o melhor possível para transmitir uma mensagem até seu destino, sem, contudo, nenhuma garantia de que conseguirá fazê-lo.

O IP transporta dados em pacotes chamados *datagramas*, cada um dos quais é transportado separadamente. Os datagramas podem trafegar por diferentes rotas e podem chegar fora de sequência ou estar duplicados. O IP não acompanha as rotas e não tem nenhum recurso para reordenar datagramas uma vez que eles cheguem aos seus destinos.

Entretanto, a funcionalidade limitada do IP não deve ser considerada um ponto fraco, pois ele provê funções essenciais de transmissão que dão liberdade ao usuário para acrescentar funcionalidades necessárias para dada aplicação e, conseqüentemente, obtendo a máxima eficiência na transmissão. O IP será discutido no Capítulo 20.

Address Resolution Protocol

O *Address Resolution Protocol* (ARP) é usado para associar um endereço lógico a um endereço físico. Em uma rede física, típica como uma LAN, cada dispositivo em um link é identificado por um endereço físico ou de estação geralmente gravado no adaptador de rede (NIC). O ARP é usado para descobrir o endereço físico do nó quando o endereço Internet for conhecido. O ARP será discutido no Capítulo 21.

Reverse Address Resolution Protocol

O *Reverse Address Resolution Protocol* (RARP) permite que um host descubra seu endereço Internet quando conhece apenas seu endereço físico. É utilizado quando um computador é conectado a uma rede pela primeira vez ou quando um computador sem disco é ligado. Discutiremos o RARP no Capítulo 21.

Internet Control Message Protocol

O *Internet Control Message Protocol* (ICMP) é um mecanismo usado por hosts e *gateways* para enviar notificações de problemas ocorridos com datagramas de volta ao emissor. O ICMP envia mensagens de consulta e de notificação de erros. Discutiremos o ICMP no Capítulo 21.

Internet Group Message Protocol

O *Internet Group Message Protocol* (IGMP) é usado para facilitar a transmissão simultânea de uma mensagem a um grupo de destinatários. Discutiremos sobre o IGMP no Capítulo 22.

Camada de Transporte

Tradicionalmente, a camada de transporte era representada no TCP/IP por dois protocolos: O TCP e o UDP. IP é um **protocolo *host-to-host***, significando que ele é capaz de transmitir um pacote de um dispositivo físico a outro. O UDP e o TCP são **protocolos do nível de transporte** responsáveis pela entrega de uma mensagem de um processo (programa em execução) a outro processo. Um protocolo de camada de transporte, o SCTP, foi concebido para atender às necessidades de algumas aplicações mais recentes.

User Datagram Protocol

O **User Datagram Protocol (UDP)** é o protocolo mais simples dos dois protocolos de transporte-padrão TCP/IP. É um protocolo processo a processo que adiciona em seu cabeçalho apenas endereços de portas de origem e destino, controle de erros (*checksum*) e informações do comprimento do campo de dados proveniente das camadas superiores. O UDP será discutido no Capítulo 23.

Transmission Control Protocol

O **Transmission Control Protocol (TCP)** fornece serviços completos de camada de transporte para as aplicações. O TCP é um protocolo de transporte de fluxo confiável. O termo *fluxo*, nesse contexto, significa orientado à conexão: uma conexão tem de ser estabelecida entre ambas as extremidades de uma transmissão antes que qualquer uma delas possa iniciar a transmissão de dados.

No lado emissor de cada transmissão, o TCP divide o fluxo de dados em unidades menores, denominadas *segmentos*. Cada segmento inclui um número sequencial utilizado para a reordenação após a recepção, juntamente com um número de confirmação dos segmentos recebidos. Os segmentos são transportados pela internet dentro de datagramas IP. No lado receptor, o TCP coleta cada datagrama da forma como ele chega e reordena a transmissão baseada nos números de sequência. O TCP será discutido no Capítulo 23.

Stream Control Transmission Protocol

O **Stream Control Transmission Protocol (SCTP)** provê suporte para as aplicações mais recentes, como voz sobre IP. Trata-se de um protocolo de camada de transporte que combina o que há de melhor no UDP e no TCP. Discutiremos o SCTP no Capítulo 23.

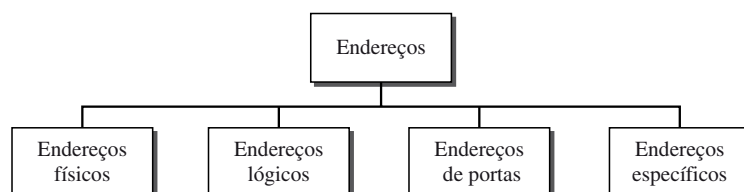
Camada de Aplicação

A *camada de aplicação* no TCP/IP equivale à combinação das camadas de sessão, de apresentação e de aplicação do modelo OSI. Muitos protocolos são definidos nessa camada. Trataremos de muitos dos protocolos-padrão nos capítulos posteriores.

2.5 ENDEREÇAMENTO

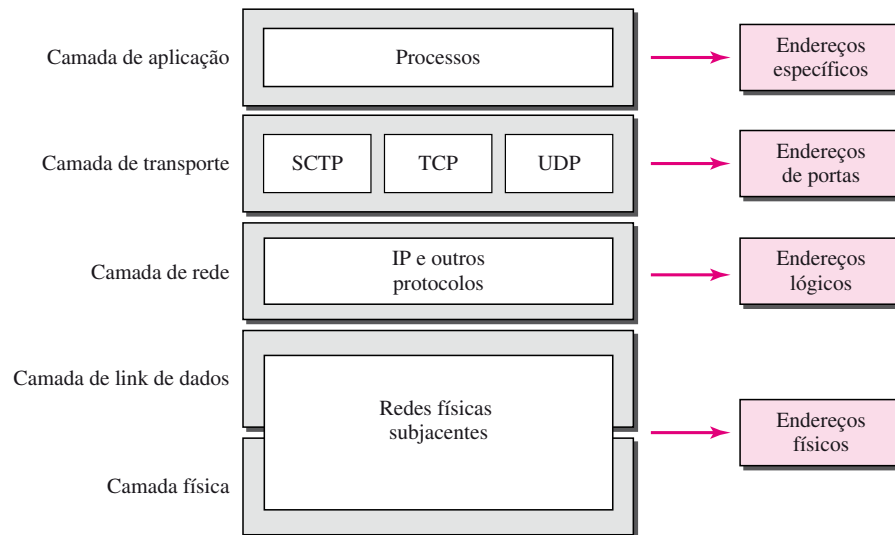
São usados quatro níveis de endereços em uma internet que emprega os protocolos TCP/IP: **endereços físicos** (links), **endereços lógicos** (IP), **endereços de portas** e **endereços específicos** (ver Figura 2.17).

Figura 2.17 Endereços no TCP/IP



Cada endereço se relaciona com uma camada específica da arquitetura TCP/IP, conforme mostrado na Figura 2.18.

Figura 2.18 *Relação entre as camadas e os endereços no TCP/IP*



Endereços Físicos

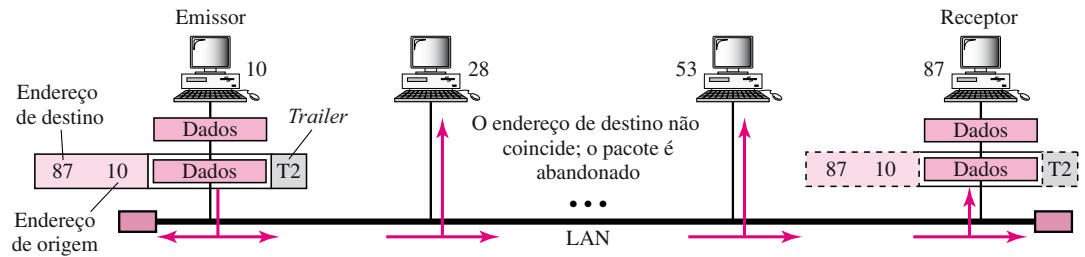
O endereço físico, também conhecido como endereço de link, é o endereço de um nó conforme definido por sua LAN ou WAN. Ele está incluso no frame (quadro) usado pela camada de enlace. Trata-se do endereço de nível mais baixo.

Os endereços físicos têm autoridade sobre a rede (LAN ou WAN). O tamanho e o formato desses endereços variam dependendo da rede. Por exemplo, a Ethernet usa um endereço físico de 6 bytes (48 bits) que é gravado no adaptador de rede (NIC). Em compensação, o LocalTalk (Apple) tem um endereço dinâmico de 1 byte que muda cada vez que a estação é ligada.

Exemplo 2.1

Na Figura 2.19, um nó com endereço físico 10 envia um frame para um nó com endereço físico 87. Os dois nós são conectados por um link (LAN de topologia de barramento). Na camada de enlace, esse frame contém endereços físicos (de link) no cabeçalho. Estes são os únicos endereços necessários. O restante do cabeçalho contém outras informações necessárias para esse nível. O *trailer* normalmente contém bits extras necessários para a detecção de erros. Conforme mostra a figura, o computador com endereço físico 10 é o emissor e o computador com endereço físico 87, o receptor. A camada de enlace no emissor recebe dados de uma camada superior. Ela encapsula os dados em um frame, acrescentando o cabeçalho e o trailer. O cabeçalho, entre outras informações, transporta os endereços (de link) físicos do emissor e do receptor. Note que, na maioria dos protocolos de enlace, o endereço de destino, 87 nesse caso, vem antes do endereço de origem (10, no caso).

Mostramos uma topologia de barramento para uma LAN isolada. Em uma topologia de barramento, o frame se propaga em ambas as direções (esquerda e direita). O frame propagado para a esquerda acaba “morrendo” ao atingir o final do cabo quando a terminação do cabo está feita de forma adequada. O frame propagado para a direita é enviado para todas as estações da rede. Cada estação com um endereço

Figura 2.19 Endereços físicos

físico diferente de 87 escuta o frame, mas o descarta, pois o endereço de destino no frame não coincide com seu endereço físico. O computador de destino almejado, porém, encontra uma coincidência entre o endereço de destino no frame e seu próprio endereço físico. O frame é verificado, o cabeçalho e o *trailer* são retirados e a parte referente aos dados é desencapsulada e entregue para a camada superior.

Exemplo 2.2

Como veremos no Capítulo 13, a maioria das redes locais usa um endereço físico de 48 bits (6 bytes) escrito na forma de 12 dígitos hexadecimais; cada byte (2 dígitos hexadecimais) é separado por dois pontos (:), conforme mostrado a seguir:

07:01:02:01:2C:4B

Um endereço físico de 6 bytes (12 dígitos hexadecimais)

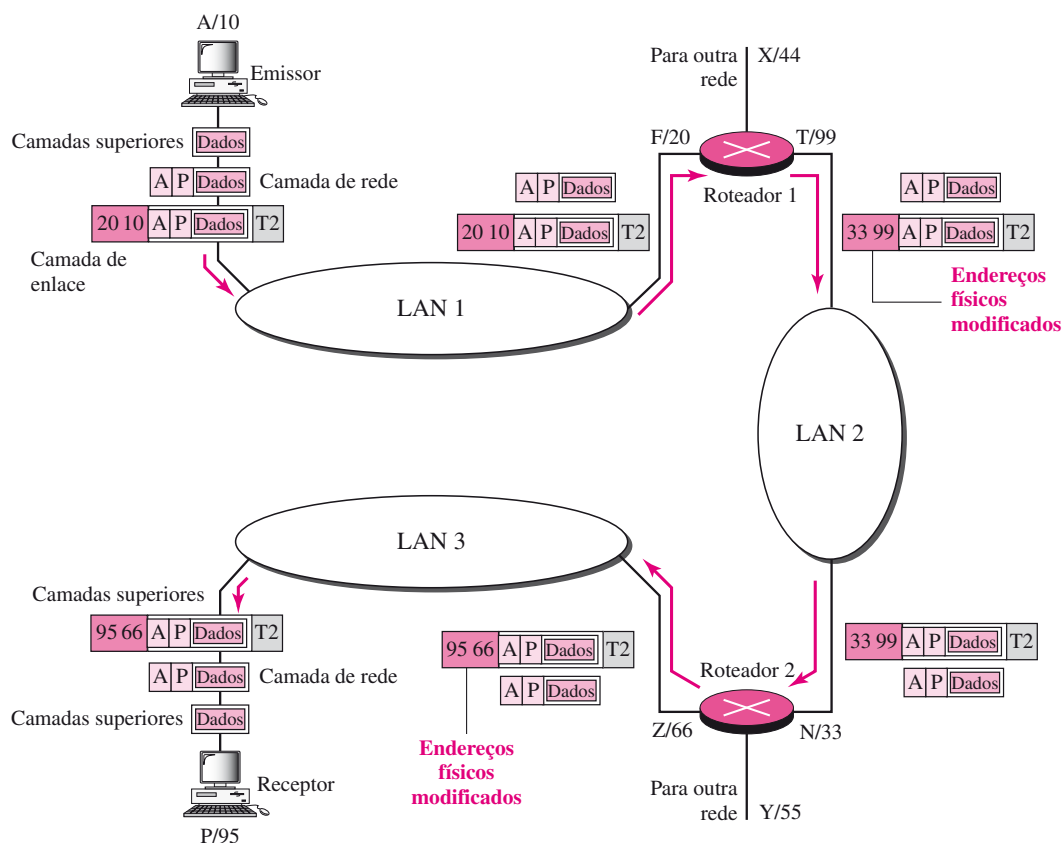
Endereços Lógicos

Os endereços lógicos são necessários para que as comunicações universais sejam independentes das redes físicas subjacentes. Os endereços físicos não são adequados em um ambiente de *internetwork* no qual redes diferentes podem ter formatos de endereço diferentes. É necessário um sistema de endereçamento universal no qual cada host possa ser identificado de forma única e exclusiva, independentemente da rede física subjacente.

Os endereços lógicos são elaborados para essa finalidade. Um endereço lógico na Internet é, atualmente, um endereço de 32 bits capaz de definir de forma única e exclusiva um host conectado à Internet. Nenhum par de hosts visíveis e com endereços de acesso público na Internet podem ter o mesmo endereço IP.

Exemplo 2.3

A Figura 2.20 exibe parte de uma internet com dois roteadores conectando três LANs. Cada dispositivo (computador ou roteador) tem um par de endereços (lógico e físico) para cada conexão. Nesse caso, cada computador está conectado a apenas um link e, portanto, tem apenas um par de endereços. Cada roteador, porém, está conectado a três redes (apenas duas são mostradas na figura). Portanto, cada roteador tem três pares de endereços, um para cada conexão. Embora possa parecer óbvio que cada roteador tenha três pares de endereços, um para cada conexão, talvez não seja óbvio a razão porque ele precisa de um endereço lógico para cada conexão. Discutiremos essas questões no Capítulo 22 ao tratarmos de roteamento.

Figura 2.20 *Endereços IP*

O computador com o endereço lógico A e endereço físico 10 precisa enviar um pacote para o computador com o endereço lógico P e endereço físico 95. Usamos letras para identificar os endereços lógicos e números para os endereços físicos. No entanto, note que, na realidade, ambos são números, como veremos posteriormente ainda neste capítulo.

O emissor encapsula seus dados em um pacote na camada de rede e acrescenta dois endereços lógicos (A e P). Observe que, na maioria dos protocolos, o endereço lógico de origem vem antes do endereço lógico de destino (contrário à ordem dos endereços físicos). Entretanto, a camada de rede precisa encontrar o endereço físico do próximo nó antes de o pacote poder ser entregue. A camada de rede consulta sua tabela de roteamento (ver Capítulo 22) e descobre que o endereço lógico do próximo nó (roteador 1) é F. O protocolo ARP, discutido anteriormente, encontra o endereço físico do roteador 1 correspondente ao endereço lógico 20. Em seguida, a camada de rede passa esse endereço para a camada de enlace que, por sua vez, encapsula o pacote com o endereço físico de destino 20 e endereço físico de origem 10.

O frame é recebido por todos os dispositivos na LAN 1, mas é descartado por todos, exceto pelo roteador 1, que constata que o endereço físico de destino contido no frame coincide com seu próprio endereço físico. O roteador desencapsula o pacote para ler o endereço lógico de destino P. Já que o endereço lógico de destino não coincide com o endereço lógico do roteador, o roteador sabe que o pacote precisa ser encaminhado. Então, ele consulta sua tabela de roteamento e o ARP para encontrar o endereço físico de destino do próximo nó (roteador 2), cria um novo frame, encapsula o pacote e o envia ao roteador 2.

Observe os endereços físicos no frame. O endereço físico de origem muda de 10 para 99. O endereço físico de destino muda de 20 (endereço físico do roteador 1) para 33 (endereço físico do roteador 2). Os endereços lógicos de origem e de destino têm de permanecer iguais; caso contrário, o pacote será perdido.

No roteador 2, temos uma situação semelhante. Os endereços físicos são modificados e um novo frame é enviado para o computador de destino. Quando o frame chega ao destino, o pacote é desencapsulado. O endereço lógico de destino P coincide com o endereço lógico do computador. Os dados são então desencapsulados do pacote e entregues para a camada superior. Note que, embora os endereços físicos vão mudar de nó para nó, os endereços lógicos permanecerão os mesmos desde a origem até o destino. Existem algumas exceções para essa regra que descobriremos mais tarde no livro.

**Os endereços físicos mudarão de nó para nó, mas,
os endereços lógicos normalmente permanecerão os mesmos.**

Endereços de Portas

O endereço IP e o endereço físico são necessários para que um conjunto de dados trafegue de um host origem até o destino. Entretanto, a chegada no host de destino não é o objetivo final das comunicações de dados na Internet. Um sistema que envia nada mais que dados de um computador a outro não é completo. Atualmente, os computadores são dispositivos capazes de executar vários processos ao mesmo tempo. O objetivo final das comunicações na Internet é de um processo se comunicar com outro. Por exemplo, o computador A pode se comunicar com o computador C usando Telnet. Ao mesmo tempo, o computador A se comunica com o computador B usando FTP (*File Transfer Protocol*, ou seja, Protocolo de Transferência de Arquivos). Para esses processos receberem dados simultaneamente, precisamos de um método para identificar os diferentes processos. Em outras palavras, eles precisam de endereços. Na arquitetura TCP/IP, o identificador atribuído a um processo é chamado de endereço de porta. Um endereço de porta no TCP/IP tem um comprimento de 16 bits.

Exemplo 2.4

A Figura 2.21 mostra dois computadores se comunicando via Internet. O computador emissor está executando três processos no momento com os endereços de porta **a**, **b** e **c**. O computador receptor está executando dois processos no momento com os endereços de porta **j** e **k**. O processo **a** no computador emissor precisa se comunicar com o processo **j** no computador receptor. Note que, embora ambos os computadores estejam usando a mesma aplicação, FTP, por exemplo, os endereços de porta são diferentes, pois um é um programa-cliente e o outro, um programa-servidor, conforme veremos no Capítulo 23. Para mostrar que os dados do processo **a** precisam ser entregues para o processo **j** e não **k**, a camada de transporte encapsula os dados da camada de aplicação em um pacote e acrescenta dois endereços de porta (**a** e **j**), origem e destino. O pacote da camada de transporte é então encapsulado em outro pacote na camada de rede com endereços lógicos de origem e de destino (**A** e **P**). Finalmente, esse pacote é encapsulado em um frame com os endereços físicos de origem e de destino do próximo nó. Não mostramos os endereços físicos, pois eles mudam de nó para nó dentro da “nuvem” designada como Internet. Observe que, embora os endereços físicos mudem de nó em nó, os endereços lógicos e de portas permanecem os mesmos desde a origem até o destino. Existem algumas exceções a essa regra que discutiremos posteriormente neste livro.

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