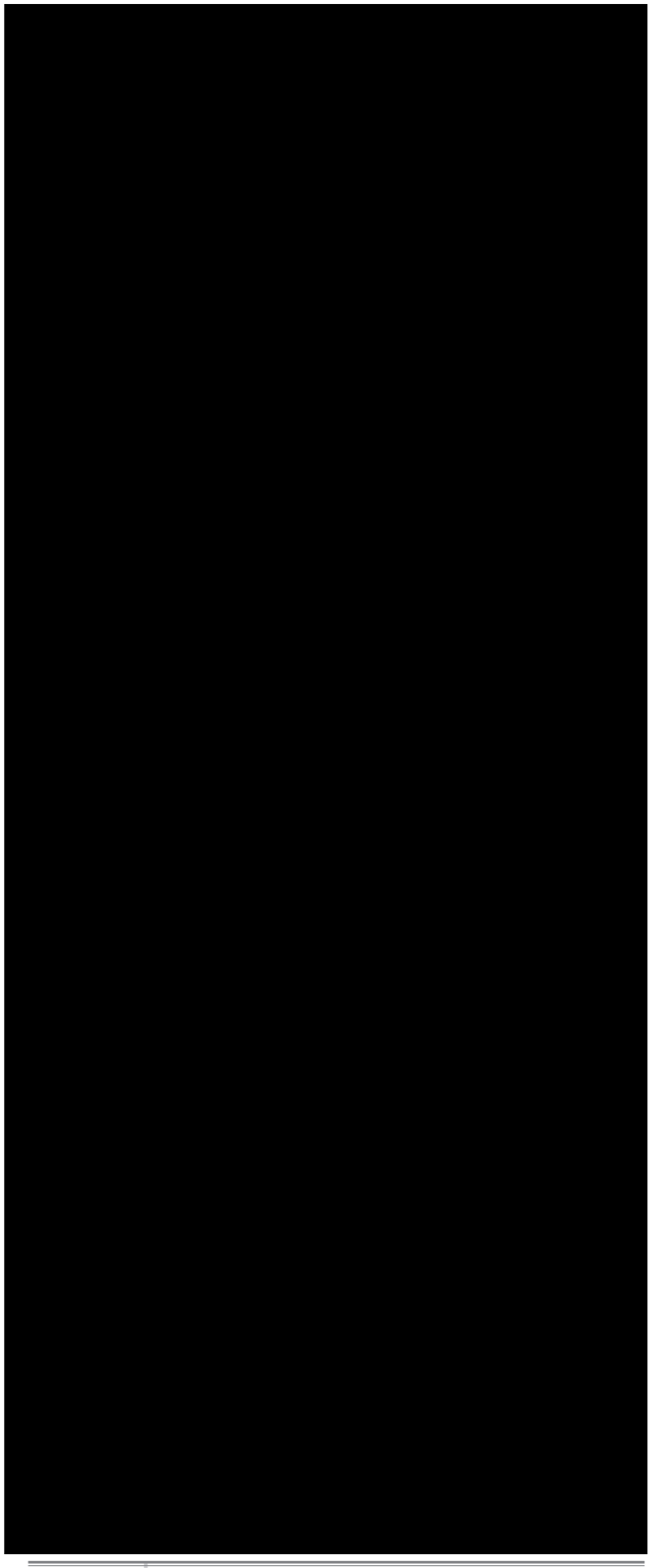

1.5 Exemplos de redes

O assunto de redes de computadores abrange muitos tipos diferentes de redes, grandes e pequenas, bem conhecidas e pouco conhecidas. Elas têm diferentes objetivos, escalas e tecnologias. Nas seções a seguir, examinaremos alguns exemplos, para termos uma ideia da variedade existente na área de redes de computadores.

Começaremos com a Internet, provavelmente a rede mais conhecida, e estudaremos sua história, sua evolução e sua tecnologia. Em seguida, consideraremos a rede de telefonia móvel. Tecnicamente, ela é muito diferente da Internet, havendo um bom contraste entre ambas. Depois, veremos o IEEE 802.11, o padrão dominante para LANs sem fios. Finalmente, examinaremos a RFID e redes de sensores, tecnologias que estendem o alcance da rede para incluir o mundo físico e objetos cotidianos.

1.5.1 A Internet

A Internet não é de modo algum uma rede, mas sim um vasto conjunto de redes diferentes que utilizam certos protocolos comuns e fornecem determinados serviços comuns. É um sistema incomum no sentido de não ter sido planejado nem ser controlado por ninguém. Para entendê-la melhor, vamos começar do início e observar como e por que ela foi desenvolvida. Se desejar conhecer uma história maravilhosa sobre o surgimento da Internet, recomendamos o livro de John Naughton (2000). Trata-se de um daqueles raros livros que não apenas são divertidos de ler, mas que também têm 20 páginas de citações destinadas aos historiadores sérios. Uma parte do material a seguir se baseia nesse livro.

É claro que também foram escritos inúmeros livros técnicos sobre a Internet e seus protocolos. Para obter mais informações consulte, por exemplo, Maufer (1999).

A ARPANET

A história começa no final da década de 1950. No auge da Guerra Fria, o Departamento de Defesa dos Estados Unidos queria uma rede de controle e comando capaz de sobreviver a uma guerra nuclear. Nessa época, todas as comunicações militares passavam pela rede de telefonia pública, considerada vulnerável. A razão para essa convicção pode ser vista na Figura 1.22(a). Nessa figura, os pontos pretos representam centrais de comutação telefônica, cada uma das quais conectada a milhares de telefones. Por sua vez, essas centrais de comutação estavam conectadas a centrais de comutação de nível mais alto (centrais interurbanas), formando uma hierarquia nacional com apenas uma pequena redundância. A vulnerabilidade do sistema era o fato de que a destruição de algumas centrais interurbanas importantes poderia fragmentar o sistema em muitas ilhas isoladas.

Por volta de 1960, o Departamento de Defesa dos Estados Unidos firmou um contrato com a RAND Corporation para encontrar uma solução. Um de seus funcionários, Paul Baran, apresentou o projeto altamente distribuído e tolerante a falhas da Figura 1.22(b). Tendo em vista que os caminhos entre duas centrais de comutação quaisquer

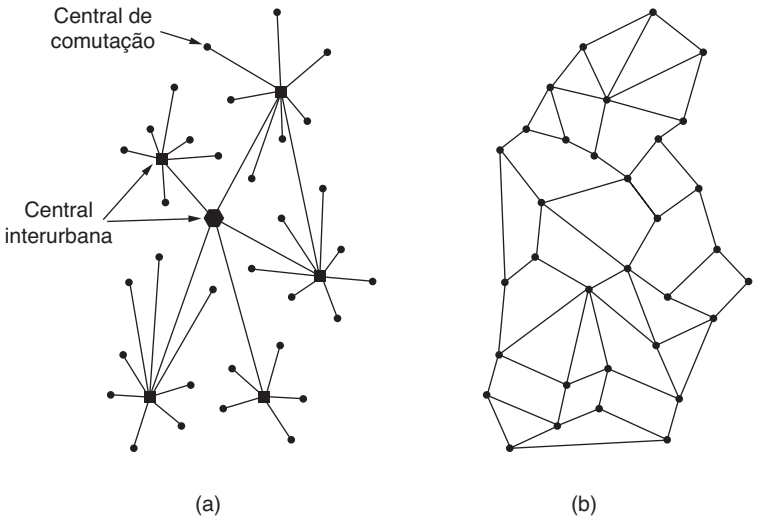

Figura 1.22 | (a) Estrutura do sistema de telefonia. (b) Sistema distribuído de comutação proposto por Baran.

eram agora muito mais longos do que a distância que os sinais analógicos podiam percorrer sem distorção, Baran propôs o uso da tecnologia digital de comutação de pacotes. Ele enviou diversos relatórios para o Departamento de Defesa descrevendo suas ideias em detalhes (Baran, 1964). Os funcionários do Pentágono gostaram do conceito e pediram à AT&T, na época a empresa que detinha o monópolio nacional da telefonia nos Estados Unidos, que construísse um protótipo. A AT&T descartou as ideias de Baran. Afinal, a maior e mais rica corporação do mundo não podia permitir que um jovem pretensioso lhe ensinasse a criar um sistema telefônico. A empresa informou que a rede de Baran não podia ser construída e a ideia foi abandonada.

Vários anos se passaram e o Departamento de Defesa ainda não tinha um sistema melhor de comando e controle. Para entender o que aconteceu em seguida, temos de retornar a outubro de 1957, quando a União Soviética derrotou os Estados Unidos na corrida espacial com o lançamento do primeiro satélite artificial, o Sputnik. Quando tentou descobrir quem tinha 'dormido no ponto', o presidente Eisenhower acabou detectando a disputa entre o Exército, a Marinha e a Força Aérea pelo orçamento de pesquisa do Pentágono. Sua resposta imediata foi criar uma organização centralizada de pesquisa de defesa, a **ARPA**, ou **Advanced Research Projects Agency**. A ARPA não tinha cientistas nem laboratórios; de fato, ela não tinha nada além de um escritório e um pequeno orçamento (para os padrões do Pentágono). A agência realizava seu trabalho oferecendo concessões e contratos a universidades e empresas cujas ideias lhe pareciam promissoras.

Durante os primeiros anos, a ARPA tentou compreender qual deveria ser sua missão. Porém, em 1967, a atenção do então diretor de programas da ARPA, Larry Roberts, que estava tentando descobrir como oferecer acesso remoto aos computadores, se voltou para as redes. Ele entrou em contato com diversos especialistas para decidir o que fazer. Um deles, Wesley Clark, sugeriu a criação de uma sub-rede comutada por pacotes, dando a cada host seu próprio roteador.

Após algum ceticismo inicial, Roberts comprou a ideia e apresentou um documento um tanto vago sobre ela no ACM SIGOPS Symposium on Operating System Principles, realizado em Gatlinburg, Tennessee, no final de 1967 (Roberts, 1967). Para grande surpresa de Roberts, outro documento na conferência descrevia um sistema semelhante, que não só tinha sido projetado mas, na realidade, havia sido totalmente implementado sob a orientação de Donald Davies no National Physical Laboratory, na Inglaterra. O sistema do NPL não era um sistema nacional (ele simplesmente conectava vários computadores no campus do NPL), mas demonstrava que a comutação de pacotes podia funcionar. Além disso, ele citava o trabalho anteriormente descartado de Baran. Roberts voltou de Gatlinburg determinado a construir o que mais tarde ficou conhecido como **ARPANET**.

A sub-rede consistiria em minicomputadores chamados processadores de mensagens de interface, ou **IMPs** (**Interface Message Processors**), conectados por linhas de transmissão de 56 kbps. Para garantir sua alta confiabilidade, cada IMP seria conectado a pelo menos dois outros IMPs. A sub-rede tinha de ser uma sub-rede de datagrama, de modo que, se algumas linhas e alguns IMPs fossem destruídos, as mensagens poderiam ser roteadas automaticamente para caminhos alternativos.

Cada nó da rede deveria ter um IMP e um host na mesma sala, conectados por um fio curto. Um host poderia enviar mensagens de até 8.063 bits para seu IMP que, em seguida, dividiria essas mensagens em pacotes de no máximo 1.008 bits e os encaminharia de forma independente até o destino. Cada pacote era recebido por completo antes

de ser encaminhado; assim, a sub-rede se tornou a primeira rede eletrônica de comutação de pacotes de store-and-forward (de armazenamento e encaminhamento).

Em seguida, a ARPA abriu uma concorrência para a construção da sub-rede. Doze empresas apresentaram propostas. Depois de avaliar todas as propostas, a ARPA selecionou a BBN, uma empresa de consultoria de Cambridge, Massachusetts e, em dezembro de 1968, assinou um contrato para montar a sub-rede e desenvolver o software para ela. A BBN resolveu utilizar, como IMPs, minicomputadores Honeywell DDP-316 especialmente modificados, com 12 K palavras de 16 bits de memória principal. Os IMPs não tinham unidades de discos, pois os componentes móveis eram considerados pouco confiáveis. Os IMPs eram interconectados por linhas privadas das companhias telefônicas, de 56 kbps. Embora 56 kbps hoje seja a única escolha de adolescentes que não podem dispor de DSL ou modems a cabo, na época era o melhor que o dinheiro podia comprar.

O software foi dividido em duas partes: sub-rede e host. O software da sub-rede consistia na extremidade IMP da conexão host-IMP, no protocolo IMP-IMP e em um protocolo do IMP de origem para o IMP de destino, criado para aumentar a confiabilidade. O projeto original da ARPANET é mostrado na Figura 1.23.

Fora da sub-rede, também havia necessidade de software, ou seja, a extremidade referente ao host da conexão host-IMP, o protocolo host-host e o software de aplicação. Logo ficou claro que a BBN era da opinião que, quando tivesse aceitado uma mensagem em uma conexão host-IMP e a tivesse colocado na conexão host-IMP no destino, sua tarefa teria terminado.

Entretanto, Roberts tinha um problema: os hosts também precisavam de software. Para lidar com ele, Roberts convocou uma reunião com os pesquisadores de rede, em sua maioria estudantes universitários, em Snowbird, Utah, no verão de 1969. Os universitários esperavam que algum perito em redes explicasse o projeto geral da rede e seu software, e depois atribuísse a cada um deles a tarefa de desenvolver uma parte do projeto. Eles ficaram absolutamente surpresos ao verem que não havia nenhum especialista em rede e nenhum projeto geral. Os estudantes teriam de descobrir o que fazer por conta própria.

No entanto, em dezembro de 1969 entrou no ar uma rede experimental com quatro nós: UCLA, UCSB, SRI e University of Utah. Esses quatro nós foram escolhidos porque todos tinham um grande número de contratos com a ARPA, e todos tinham computadores host diferentes e completamente incompatíveis (para aumentar o desafio). A primeira mensagem host a host havia sido enviada dois meses antes, do nó na UCLA, por uma equipe liderada por Len Kleinrock (pioneiro da teoria de comutação de pacotes) para o nó em SRI. A rede cresceu rapidamente à medida que outros IMPs foram entregues e instalados; logo se estendeu por todo o território norte-americano. A Figura 1.24 mostra a rapidez com que a ARPANET se desenvolveu nos três primeiros anos.

Além de ajudar no súbito crescimento da ARPANET, a ARPA também financiou pesquisas sobre o uso de redes de satélite e redes móveis de rádio de pacotes. Em uma hoje famosa demonstração, um motorista de caminhão viajando pela Califórnia utilizou a rede de rádio de pacotes para enviar mensagens à SRI, que então foram encaminhadas pela ARPANET até a Costa Leste dos Estados Unidos, de onde foram enviadas à University College, em Londres, pela rede de satélite. Isso permitiu que um pesquisador no caminhão usasse um computador situado em Londres enquanto dirigia pelo estado da Califórnia.

Essa experiência também demonstrou que os protocolos da ARPANET não eram adequados para execução em redes diferentes. Essa observação levou a mais pesquisas sobre protocolos, culminando com a invenção dos protocolos e do modelo TCP/IP (Cerf e Kahn, 1974). O TCP/IP foi criado especificamente para manipular a comunicação entre redes interligadas, algo que se tornou mais importante à medida que um número maior de redes era conectado à ARPANET.

Para estimular a adoção desses novos protocolos, a ARPA ofereceu diversos contratos para implementar o TCP/IP em diferentes plataformas de computação, incluindo sistemas IBM, DEC e HP, bem como o UNIX de Berkeley. Os

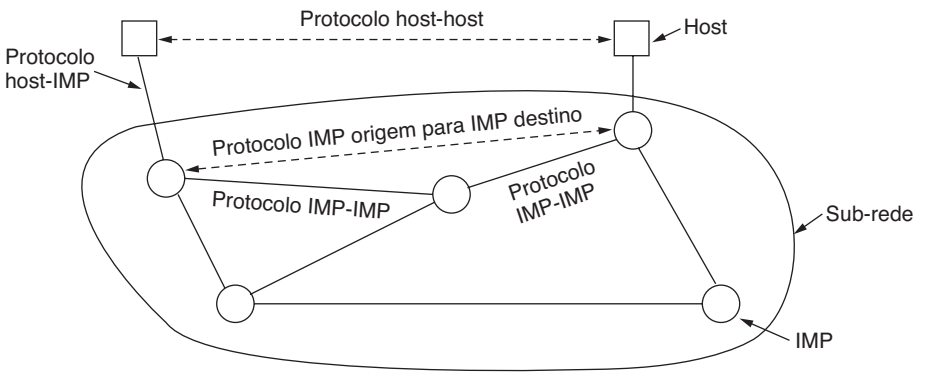

Figura 1.23 | O projeto original da ARPANET.

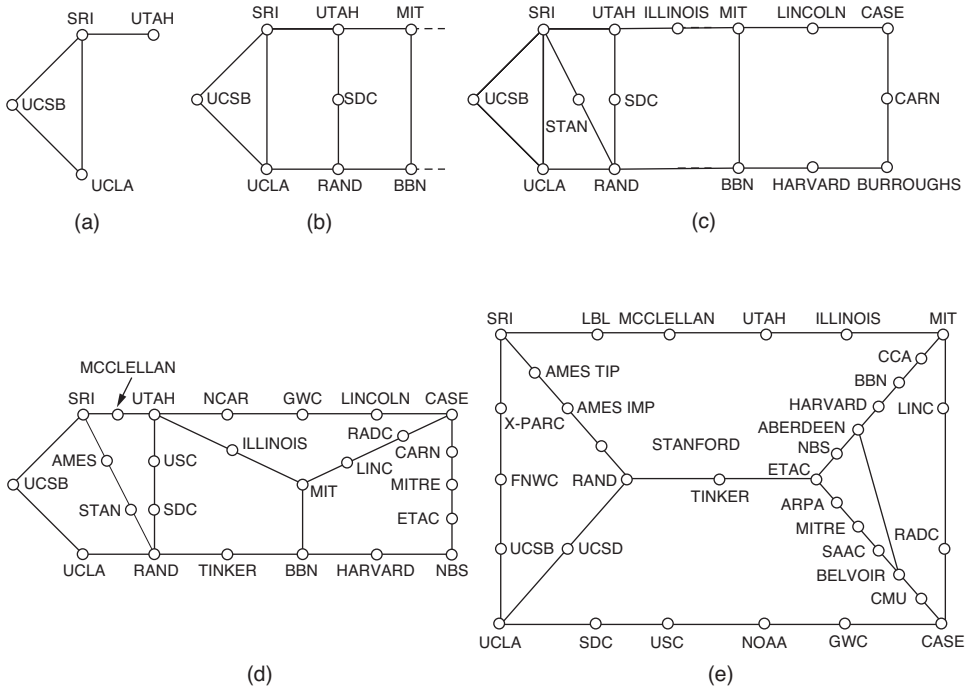

Figura 1.24 | O crescimento da ARPANET. (a) Dezembro de 1969. (b) Julho de 1970. (c) Março de 1971. (d) Abril de 1972. (e) Setembro de 1972.

pesquisadores na University of California em Berkeley reescreveram o TCP/IP com uma nova interface de programação (**soquetes**) para o lançamento iminente da versão 4.2BSD do UNIX de Berkeley. Eles também escreveram muitos programas aplicativos, utilitários e de gerenciamento para mostrar como era conveniente usar a rede com soquetes.

A ocasião foi perfeita. Muitas universidades tinham acabado de adquirir um segundo ou um terceiro computador VAX e uma LAN para conectá-los, mas não tinham nenhum software de rede. Quando surgiu o 4.2BSD, com TCP/IP, soquetes e muitos utilitários de rede, o pacote completo foi adotado imediatamente. Além disso, com o TCP/IP, era fácil conectar as LANs à ARPANET, e muitos fizeram isso.

Durante a década de 1980, novas redes, em particular as LANs, foram conectadas à ARPANET. À medida que a escala aumentou, tornou-se cada vez mais dispendioso localizar os hosts, e assim foi criado o sistema de nomes de domínio, ou **DNS** (**Domain Name System**), para organizar máquinas em domínios e relacionar nomes de hosts com endereços IP. Desde então, o DNS se transformou em um sistema generalizado de bancos de dados distribuídos, capaz de armazenar uma série de informações referentes à atribuição de nomes. Estudaremos esse sistema em detalhes no Capítulo 7.

NSFNET

No final da década de 1970, a NSF (National Science Foundation) percebeu o enorme impacto que a ARPANET estava causando nas pesquisas universitárias nos Estados Unidos, permitindo que cientistas de todo o país compartilhassem dados e trabalhassem juntos em projetos de pesquisa. No entanto, para entrar na ARPANET, uma universidade precisava ter um contrato de pesquisa com o Departamento de Defesa dos Estados Unidos, e muitas não o tinham. A resposta inicial da NSF foi patrocinar a Computer Science Network (**CSNET**) em 1981. Ela conectava departamentos de ciência da computação e laboratórios de pesquisa industrial à ARPANET por meio de linhas discadas e privadas. No final da década de 1980, a NSF foi ainda mais longe e decidiu desenvolver uma sucessora para a ARPANET, que seria aberta a todos os grupos de pesquisa universitários.

Para ter algo concreto com que começar, a NSF decidiu construir uma rede de backbone para conectar seus seis centros de supercomputadores, localizados em San Diego, Boulder, Champaign, Pittsburgh, Ithaca e Princeton. Cada supercomputador ganhou um irmão mais novo, um microcomputador LSI-11, chamado **fuzzball**. Os fuzzballs estavam conectados a linhas privadas de 56 kbps e formavam a sub-rede, usando a mesma tecnologia de hardware da ARPANET. Porém, a tecnologia de software era diferente: os fuzzballs se comunicavam diretamente com o TCP/IP desde o início, criando, assim, a primeira WAN TCP/IP.

A NSF também financiou cerca de vinte redes regionais que foram conectadas ao backbone para permitir que os usuários de milhares de universidades, laboratórios de pesquisa, bibliotecas e museus tivessem acesso a um dos supercomputadores e se comunicassem entre si. A rede completa, incluindo o backbone e as redes regionais, foi

chamada **NSFNET**. Ela se conectava à ARPANET por meio de um link entre um IMP e um fuzzball na central de processamento de dados da Carnegie-Mellon. O primeiro backbone da NSFNET está ilustrado na Figura 1.25, sobreposta a um mapa dos Estados Unidos.

A NSFNET foi um sucesso instantâneo e logo estava sobrecarregada. Imediatamente, a NSF começou a planejar sua sucessora e firmou um contrato com o consórcio MERIT, de Michigan, para executá-la. Junto à MCI foram alugados canais de fibra óptica de 448 kbps (na época absorvida pela WorldCom) para fornecer a versão 2 do backbone. Máquinas IBM PC-RT foram usadas como roteadores. Logo o segundo backbone também estava operando com sua capacidade máxima e, em 1990, ele foi atualizado para 1,5 Mbps.

O contínuo crescimento levou a NSF a perceber que o governo não podia continuar a financiar a rede para sempre. Além disso, as organizações comerciais queriam participar da rede, mas eram proibidas pelo estatuto da NSF de utilizar redes mantidas com verbas da fundação. Consequentemente, a NSF estimulou a MERIT, a MCI e a IBM a formarem uma empresa sem fins lucrativos, a **ANS** (**Advanced Networks and Services**) que, na prática, foi a primeira etapa em direção à comercialização. Em 1990, a ANS assumiu a NSFNET e atualizou os links de 1,5 Mbps para 45 Mbps, a fim de formar a **ANSNET**. Essa rede operou por cinco anos e depois foi vendida à America Online. Porém, nessa época, diversas empresas estavam oferecendo o serviço IP comercial e se tornou claro que o governo deveria deixar o negócio de redes.

Para facilitar a transição e garantir que todas as redes regionais pudessem se comunicar entre si, a NSF contratou quatro diferentes operadoras de redes para estabelecer um ponto de acesso de rede, ou **NAP** (**Network Access Point**). Essas operadoras eram PacBell (San Francisco), Ameritech (Chicago), MFS (Washington, D.C.) e Sprint (cidade de Nova York, onde, para fins de NAP, a localidade de Pennsauken, em Nova Jersey, pertence à cidade de Nova York). Todas as operadoras de redes que quisessem oferecer serviços de backbone às redes regionais da NSF tinham de estabelecer conexão com todos os NAPs.

Nessa estratégia, um pacote originário de uma das redes regionais tinha a opção de escolher uma das concessionárias de backbone para ser transferido do NAP de origem para o NAP de destino. Consequentemente, as concessionárias de backbone foram obrigadas a concorrer com as redes regionais, tendo de oferecer preços e serviços melhores para se manterem no mercado. Como resultado, o conceito de um único backbone padrão foi substituído por uma infraestrutura competitiva, com fins lucrativos. Muitas pessoas gostam de criticar o governo dos Estados Unidos por não ser inovador mas, na área de redes, foram o Departamento de Defesa e a NSF que criaram a infraestrutura que formou a base para a Internet, e depois a entregaram à indústria para cuidar de sua operação.

Durante a década de 1990, muitos outros países e regiões também construíram redes nacionais de pesquisa, geralmente moldadas de acordo com a ARPANET e a NSFNET. Na Europa, essas redes incluíram EuropaNET e EBONE, que começaram com linhas de 2 Mbps e depois foram atualizadas para linhas de 34 Mbps. Mais tarde, a infraestrutura de rede na Europa também foi entregue à indústria.

A Internet mudou muito dessa época para cá. Seu tamanho explodiu com o surgimento da World Wide Web (WWW), no início da década de 1990. Dados recentes do Internet Systems Consortium indicam que o número de hosts visíveis na Internet supera os 600 milhões. Esse número é apenas uma estimativa por baixo, mas ele é muito superior aos poucos milhões de hosts que existiam quando a primeira conferência sobre a WWW foi realizada no CERN, em 1994.

A maneira como usamos a Internet também mudou radicalmente. No início, aplicações como e-mail para aca-

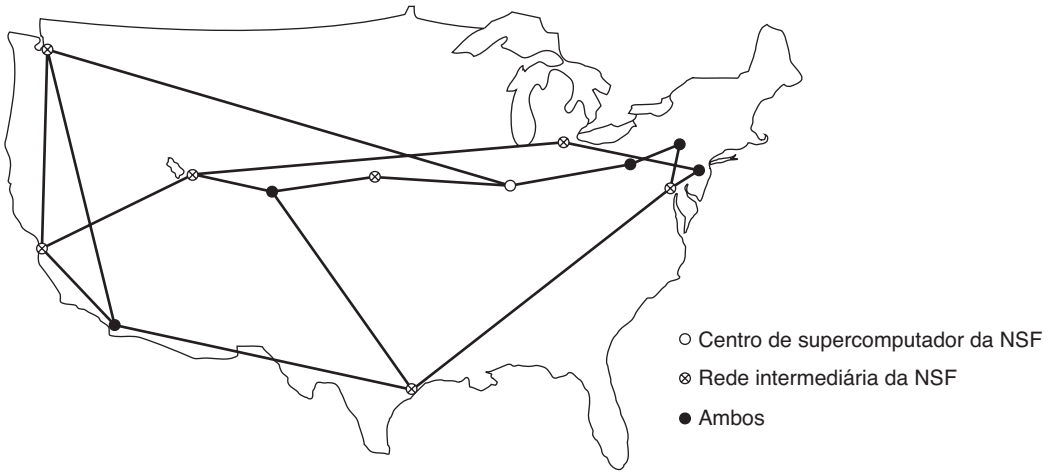

Figura 1.25 | O backbone da NSFNET em 1988.

dêmicos, grupos de notícias, login remoto e transferência de arquivos dominavam. Depois, ela passou a ser um e-mail para cada um, depois a Web e a distribuição de conteúdo peer-to-peer, como o Napster, hoje fora de operação. Atualmente, distribuição de mídia em tempo real, redes sociais (por exemplo, Facebook) e microblogging (por exemplo, Twitter) estão ganhando cada vez mais força. Essas mudanças trouxeram tipos de mídia mais ricos para a Internet e, consequentemente, muito mais tráfego. Na verdade, o tráfego dominante na Internet mudou com tanta regularidade que, por exemplo, novas e melhores maneiras de trabalhar com música ou filmes podem se tornar muito mais populares em pouco tempo.

Arquitetura da Internet

A arquitetura da Internet também mudou muito por ter crescido de forma explosiva. Nesta seção, tentaremos apresentar uma breve visão geral da Internet atual. O quadro é complicado pelas contínuas reviravoltas nos negócios das empresas telefônicas (telcos), empresas de cabo e ISPs, o que muitas vezes torna difícil saber quem está fazendo o quê. Um fator que impulsiona essas reviravoltas é a convergência das telecomunicações, em que uma rede é usada para fins anteriormente distintos. Por exemplo, em uma 'jogada tripla', uma empresa vende seu serviço de telefonia, TV e Internet na mesma conexão de rede, supondo que isso lhe fará economizar dinheiro. Consequentemente, essa descrição terá de ser um pouco mais simples que a realidade. E o que é verdade agora pode não ser verdade amanhã.

O quadro geral é mostrado na Figura 1.26. Agora, vamos examinar cada item dessa figura, começando com um computador doméstico (nas bordas do esquema). Para entrar na Internet, o computador é conectado a um **provedor de serviço de Internet**, ou **ISP** (**Internet Service Provider**), de quem o usuário compra **acesso à Internet** ou **conectividade**. Com isso, o computador pode trocar pacotes com todos os outros hosts acessíveis na Internet. O usuário pode enviar pacotes para navegar pela Web ou para qualquer um dos milhares de outros usos; isso não importa. Existem muitos tipos diferentes de acesso à Internet, e eles normalmente são distinguidos por quanta largura de banda oferecem e quanto custam, mas o atributo mais importante é a conectividade.

Um modo comum de se conectar a um ISP é usando a linha telefônica em sua casa, e, nesse caso, sua companhia telefônica é o seu ISP. A **DSL** (**Digital Subscriber Line**) reutiliza a linha telefônica que se conecta à sua casa para a transmissão de dados digitais. O computador é conectado a um dispositivo chamado **modem DSL**, que faz a conversão entre pacotes digitais e sinais analógicos que podem passar sem ser impedidos pela linha telefônica. Na outra ponta, um dispositivo chamado **DSLAM** (**Digital Subscriber Line Access Multiplexer**) faz a conversão entre sinais e pacotes.

A Figura 1.26 também mostra várias outras maneiras populares de se conectar a um ISP. A DSL é um modo de usar a linha telefônica local com maior largura de banda do que enviar bits por uma ligação telefônica tradicional em vez de uma conversa de voz. Isso é chamado **conexão discada** (**dial-up**) e é feito com um tipo diferente de modem nas duas extremidades. A palavra **modem** é uma contração de '*mo*dulador-*dem*odulador' e refere-se a qualquer dispositivo que faz a conversão entre bits digitais e sinais analógicos.

Outro método é enviar sinais pelo sistema de TV a cabo. Assim como a DSL, essa é uma maneira de reutilizar a infraestrutura existente — nesse caso, canais de TV a cabo não utilizados. O dispositivo na residência é chamado **modem a cabo**, e o dispositivo no **terminal de cabo** é chamado **CMTS** (**Cable Modem Termination System**).

DSL e cabo oferecem acesso à Internet em velocidades que variam desde uma pequena fração de um megabit/s

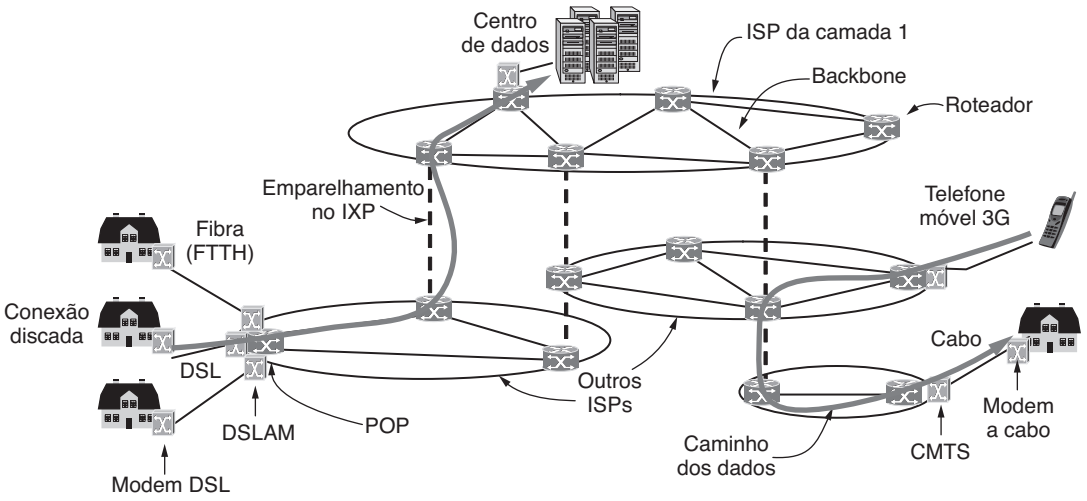

Figura 1.26 | Visão geral da arquitetura da Internet.

até vários megabits/s, dependendo do sistema. Essas velocidades são muito maiores que as da linha discada, que são limitadas a 56 kbps, em razão da estreita largura de banda usada para ligações de voz. O acesso à Internet em velocidades muito maiores que as discadas é chamado de **banda larga** (**broadband**). O nome refere-se à maior largura de banda usada para redes mais velozes, e não a qualquer velocidade em particular.

Os métodos de acesso mencionados até aqui são limitados pela largura de banda da 'última milha', ou última perna de transmissão. Levando a fibra óptica até as residências, o acesso mais rápido à Internet pode ser fornecido em velocidades na ordem de 10 a 100 Mbps. Esse esquema é conhecido como **FTTH** (**Fiber to the Home**). Para empresas em áreas comerciais, pode fazer sentido alugar uma linha de transmissão de alta velocidade dos escritórios até o ISP mais próximo. Por exemplo, na América do Norte, uma linha T3 trabalha a aproximadamente 45 Mbps.

O wireless também é usado para acesso à Internet. Um exemplo que mostraremos rapidamente é o das redes de telefonia móvel 3G. Elas podem oferecer entrega de dados em velocidades de 1 Mbps ou mais para telefones móveis e assinantes fixos na área de cobertura.

Agora, podemos mover pacotes entre a residência e o ISP. Chamamos o local em que os pacotes do cliente entram na rede do ISP de **ponto de presença**, ou **POP** (**Point of Presence**) do ISP. Em seguida, explicaremos como os pacotes são movimentados entre os POPs de diferentes ISPs. Desse ponto em diante, o sistema é totalmente digital e comutado por pacotes.

As redes do ISP podem ter escopo regional, nacional ou internacional. Já vimos que sua arquitetura é composta de linhas de transmissão de longa distância que interconectam roteadores nos POPs nas diferentes cidades que os ISPs atendem. Esse equipamento é chamado de **backbone** do ISP. Se um pacote é destinado a um host servido diretamente pelo ISP, esse pacote é roteado pelo backbone e entregue ao host. Caso contrário, ele deve ser entregue a outro ISP.

Os ISPs conectam suas redes para trocar tráfego nos **IXPs** (**Internet eXchange Points**). Diz-se que os ISPs conectados são **emparelhados** (**peer**). Existem muitos IXPs em cidades do mundo inteiro. Eles são desenhados verticalmente na Figura 1.26, pois as redes de ISP se sobrepõem geograficamente. Basicamente, um IXP é uma sala cheia de roteadores, pelo menos um por ISP. Uma LAN na sala conecta todos os roteadores, de modo que os pacotes podem ser encaminhados de qualquer backbone ISP para qualquer outro backbone ISP. Os IXPs podem ser instalações grandes e independentes. Um dos maiores é o Amsterdam Internet Exchange, ao qual se conectam centenas de ISPs e através do qual eles trocam centenas de gigabits/s de tráfego.

O emparelhamento que ocorre nos IXPs depende dos relacionamentos comerciais entre os ISPs. Existem muitos relacionamentos possíveis. Por exemplo, um ISP pequeno poderia pagar a um ISP maior pela conectividade à Internet para alcançar hosts distantes, assim como um cliente compra o serviço de um provedor de Internet. Nesse caso, diz-se que o ISP pequeno paga pelo **tráfego**. Como alternativa, dois ISPs grandes podem decidir trocar tráfego de modo que cada ISP possa entregar algum tráfego ao outro sem pagar pelo trânsito. Um dos muitos paradoxos da Internet é que os ISPs que concorrem por clientes publicamente uns com os outros normalmente trabalham em cooperação para realizar o emparelhamento (Metz, 2001).

O caminho que um pacote segue pela Internet depende das escolhas de emparelhamento dos ISPs. Se o ISP que entrega um pacote se emparelhar com o ISP de destino, ele pode entregar o pacote diretamente a seu par. Caso contrário, ele pode rotear o pacote para o local mais próximo em que se conecta a um provedor de trânsito pago, de modo que o provedor possa entregar o pacote. Dois exemplos de caminhos pelos ISPs são desenhados na Figura 1.26. Normalmente, o caminho seguido por um pacote não será o caminho mais curto pela Internet.

No topo dessa cadeia estão algumas operadoras importantes, como AT&T e Sprint, que operam grandes redes internacionais de backbones, com milhares de roteadores conectados por enlaces de fibra óptica de alta largura de banda. Esses ISPs não pagam pelo trânsito. Eles normalmente são chamados ISPs da **camada 1** e formam o backbone principal da Internet, pois todos os outros devem se conectar a eles para poderem alcançar a Internet inteira.

Empresas que fornecem muito conteúdo, como Google e Yahoo!, localizam seus computadores em **centros de dados** que estão bem conectados com o restante da Internet. Esses centros de dados são projetados para computadores, não para humanos, e podem estar cheios de racks e mais racks de máquinas, o que chamamos de **parque de servidores**. A **colocalização** ou a **hospedagem** de centros de dados permite que os clientes coloquem equipamentos como servidores nos POPs do ISP, de modo que possa haver conexões curtas e rápidas entre os servidores e os backbones do ISP. O setor de hospedagem da Internet tornou-se cada vez mais virtualizado, de modo que agora é comum alugar uma máquina virtual, executada em um parque de servidores, em vez de instalar um computador físico. Esses centros de dados são tão grandes (dezenas ou centenas de milhares de máquinas) que a eletricidade tem um grande custo, de modo que esses centros às vezes são construídos em locais onde a eletricidade é mais barata.

Isso termina nosso rápido passeio pela Internet. Nos próximos capítulos, falaremos muito mais sobre os componentes individuais e seus projetos, algoritmos e protocolos. Outro ponto que merece ser mencionado aqui é que o conceito de estar na Internet está mudando. Antigamente, uma máquina estava na Internet se ela: (1) executasse a pilha de protocolos TCP/IP; (2) tivesse um endereço IP;

e (3) pudesse enviar pacotes IP a todas as outras máquinas na Internet. Contudo, os ISPs normalmente reutilizam endereços IP, dependendo de quais computadores estão em uso no momento, e as redes domésticas normalmente compartilham um endereço IP entre vários computadores. Essa prática anula a segunda condição. Medidas de segurança, como firewalls, também podem impedir parcialmente que computadores recebam pacotes, anulando a terceira condição. Apesar dessas dificuldades, faz sentido considerar tais máquinas como estando na Internet, embora estejam conectadas a seus ISPs.

Também devemos mencionar, de passagem, que algumas empresas têm interligado todas as suas redes internas existentes, normalmente usando a mesma tecnologia da Internet. Essas **intranets** normalmente são acessíveis apenas nas instalações da empresa ou a partir de notebooks da empresa, mas seu funcionamento é idêntico ao da Internet.