KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

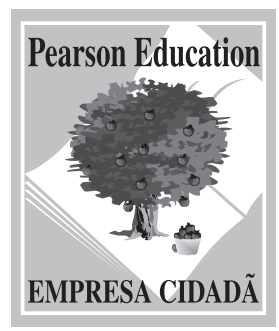
uma abordagem top-down

6ª edição

ALWAYS LEARNING

PEARSON

Redes de computadores e a internet



KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

6ª edição

PEARSON

Diretor editorial e de conteúdo	Roger Trimer
Gerente editorial	Kelly Tavares
Supervisora de produção editorial	Silvana Afonso
Coordenadora de produção gráfica	Tatiane Romano
Editor de aquisições	Vinícius Souza
Editora de texto	Daniela Braz
Preparação	Christiane Colas
Revisão	Carmen Simões Costa
Editor assistente	Luiz Salla
Capa	Solange Rennó (Sob projeto original)
Projeto gráfico e Diagramação	Casa de Ideias

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Kurose, James F.
Redes de computadores e a Internet: uma abordagem top-down/ James F. Kurose, Keith W. Ross ; tradução Daniel Vieira; revisão técnica Wagner Luiz Zucchi. – 6. ed. – São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.

Título original: Computer networking: a top-down approach
Bibliografia.
ISBN 978-85-430-1443-2

1. Internet 2. Redes de computadores I. Ross, Keith W.. II. Zucchi, Wagner Luiz. III. Título.

13-04218 CDD-004.67

1. Internet : Redes de computadores: Processamento de dados 004.67

2013
Direitos exclusivos para a língua portuguesa cedidos à
Pearson Education do Brasil Ltda.,
uma empresa do grupo Pearson Education
Rua Nelson Francisco, 26
CEP 02712-100 – São Paulo – SP – Brasil
Fone: 11 2178-8686 – Fax: 11 2178-8688
vendas@pearson.com

malwares que necessitam de uma interação do usuário para infectar seu aparelho. O exemplo clássico é um anexo de e-mail contendo um código executável malicioso. Se o usuário receber e abrir tal anexo, o *malware* será executado em seu aparelho. Geralmente, tais vírus de e-mail se autorreproduzem: uma vez executado, o vírus pode enviar uma mensagem idêntica, com um anexo malicioso idêntico, para, por exemplo, todos os contatos da lista de endereços do usuário. ***Worms*** são *malwares* capazes de entrar em um aparelho sem qualquer interação do usuário. Por exemplo, um usuário pode estar executando uma aplicação de rede frágil para a qual um atacante pode enviar um *malware*. Em alguns casos, sem a intervenção do usuário, a aplicação pode aceitar o *malware* da Internet e executá-lo, criando um *worm*. Este, no aparelho recém-infectado, então, varre a Internet em busca de outros hospedeiros que estejam executando a mesma aplicação de rede vulnerável. Ao encontrá-los, envia uma cópia de si mesmo para eles. Hoje, o *malware* é persuasivo e é caro para se criar uma proteção. À medida que trabalhar com este livro, sugerimos que pense na seguinte questão: o que os projetistas de computadores podem fazer para proteger os aparelhos que utilizam a Internet contra as ameaças de *malware*?

Os vilões podem atacar servidores e infraestrutura de redes

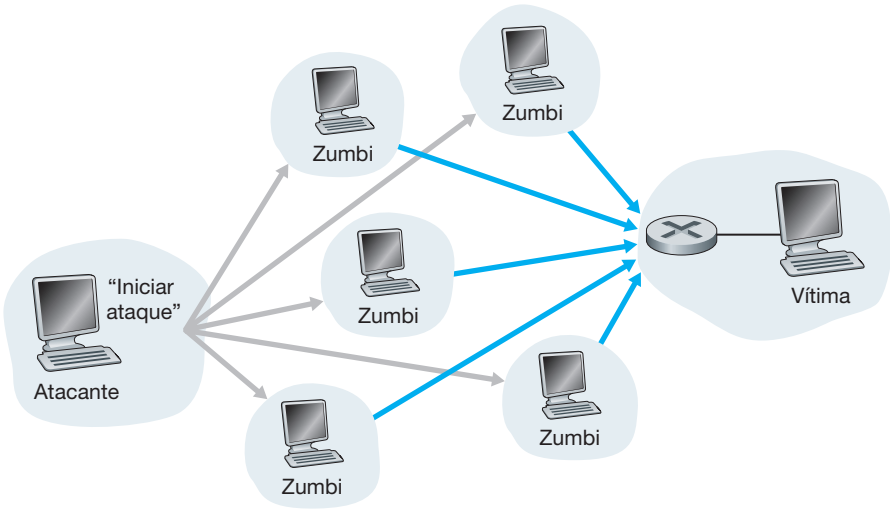
Um amplo grupo de ameaças à segurança pode ser classificado como **ataques de recusa de serviços (DoS** — Denial-of-Service). Como o nome sugere, um ataque DoS torna uma rede, hospedeiro ou outra parte da infraestrutura inutilizável por usuários verdadeiros. Servidores da Web, de e-mail e DNS (discutidos no Capítulo 2), e redes institucionais podem estar sujeitos aos ataques DoS. Na Internet, esses ataques são extremamente comuns, com milhares deles ocorrendo todo ano [Moore, 2001; Mirkovic, 2005]. A maioria dos ataques DoS na Internet pode ser dividida em três categorias:

- *Ataque de vulnerabilidade.* Envolve o envio de algumas mensagens bem elaboradas a uma aplicação vulnerável ou a um sistema operacional sendo executado em um hospedeiro direcionado. Se a sequência correta de pacotes é enviada a uma aplicação ou sistema operacional vulnerável, o serviço pode parar ou, pior, o hospedeiro pode pifar.
- *Inundação na largura de banda.* O atacante envia um grande número de pacotes ao hospedeiro direcionado — tantos pacotes que o enlace de acesso do alvo se entope, impedindo os pacotes legítimos de alcançarem o servidor.
- *Inundação na conexão.* O atacante estabelece um grande número de conexões TCP semiabertas ou abertas (as conexões TCP são discutidas no Capítulo 3) no hospedeiro-alvo. O hospedeiro pode ficar tão atolado com essas conexões falsas que deixa de aceitar conexões legítimas.

Vamos agora explorar mais detalhadamente o ataque de inundação na largura de banda. Lembrando de nossa análise sobre atraso e perda na Seção 1.4.2, é evidente que se o servidor possui uma taxa de acesso de *R* bits/s, o atacante precisará enviar tráfego a uma taxa de, mais ou menos, *R* bits/s para causar dano. Se *R* for muito grande, uma fonte de ataque única pode não ser capaz de gerar tráfego suficiente para prejudicar o servidor. Além disso, se todo o tráfego emanar de uma fonte única, um roteador mais adiante pode conseguir detectar o ataque e bloquear todo o tráfego da fonte antes que ele se aproxime do servidor. Em um ataque **DoS distribuído (DDoS — Distributed DoS)**, ilustrado na Figura 1.25, o atacante controla múltiplas fontes que sobrecarregam o alvo. Com essa tática, a taxa de tráfego agregada por todas as fontes controladas precisa ser, aproximadamente, *R* para incapacitar o serviço. Os ataques DDoS que potencializam *botnets* com centenas de hospedeiros comprometidos são uma ocorrência comum hoje em dia [Mirkovic, 2005]. Os ataques DDoS são muito mais difíceis de detectar e de prevenir do que um ataque DoS de um único hospedeiro.

Encorajamos o leitor a considerar a seguinte questão à medida que trabalhar com este livro: o que os projetistas de redes de computadores podem fazer para se protegerem contra ataques DoS? Veremos que são necessárias diferentes defesas para os três tipos de ataques DoS.

FIGURA 1.25 UM ATAQUE DE RECUSA DE SERVIÇO DISTRIBUÍDO (DDoS)



Os vilões podem analisar pacotes

Muitos usuários hoje acessam a Internet por meio de aparelhos sem fio, como laptops conectados à tecnologia Wi-Fi ou aparelhos portáteis com conexões à Internet via telefone celular (abordado no Capítulo 6). Embora o acesso onipresente à Internet seja de extrema conveniência e disponibilize novas aplicações sensacionais aos usuários móveis, ele também cria uma grande vulnerabilidade de segurança — posicionando um receptor passivo nas proximidades do transmissor sem fio, o receptor pode obter uma cópia de cada pacote transmitido! Esses pacotes podem conter todo tipo de informações confidenciais, incluindo senhas, número de identificação, segredos comerciais e mensagens pessoais. Um receptor passivo que grava uma cópia de cada pacote que passa é denominado **analisador de pacote** (*packet sniffer*).

Os analisadores também podem estar distribuídos em ambientes de conexão com fio. Nesses ambientes, como em muitas LANs Ethernet, um analisador de pacote pode obter cópias de todos os pacotes enviados pela LAN. Como descrito na Seção 1.2, as tecnologias de acesso a cabo também transmitem pacotes e são, dessa forma, vulneráveis à análise. Além disso, um vilão que quer ganhar acesso ao roteador de acesso de uma instituição ou enlace de acesso para a Internet pode instalar um analisador que faça uma cópia de cada pacote que vai para/de a empresa. Os pacotes farejados podem, então, ser analisados *off-line* em busca de informações confidenciais.

O software para analisar pacotes está disponível gratuitamente em diversos sites da Internet e em produtos comerciais. Professores que ministram um curso de redes passam exercícios que envolvem a escrita de um programa de reconstrução de dados da camada de aplicação e um programa analisador de pacotes. De fato, os Wireshark labs [Wireshark, 2012] associados a este texto (veja o Wireshark lab introdutório ao final deste capítulo) utilizam exatamente tal analisador de pacotes.

Como os analisadores de pacote são passivos — ou seja, não introduzem pacotes no canal —, eles são difíceis de detectar. Portanto, quando enviamos pacotes para um canal sem fio, devemos aceitar a possibilidade de que alguém possa estar copiando nossos pacotes. Como você deve ter imaginado, uma das melhores defesas contra a análise de pacote envolve a criptografia, que será explicada no Capítulo 8, já que se aplica à segurança de rede.

Os vilões podem se passar por alguém de sua confiança

Por incrível que pareça, é facílimo (*você* saberá como fazer isso à medida que ler este livro!) criar um pacote com qualquer endereço de origem, conteúdo de pacote e endereço de destino e, depois, transmiti-lo para a Internet, que, obedientemente, o encaminhará ao destino. Imagine que um receptor inocente (digamos, um roteador da Internet) que recebe tal pacote acredita que o endereço de origem (falso) seja confiável e então executa um

comando integrado ao conteúdo do pacote (digamos, que modifica sua base de encaminhamento). A capacidade de introduzir pacotes na Internet com um endereço de origem falso é conhecida como **IP *spoofing***, e é uma das muitas maneiras pelas quais o usuário pode se passar por outro.

Para resolver esse problema, precisaremos de uma *autenticação do ponto final*, ou seja, um mecanismo que nos permita determinar com certeza se uma mensagem se origina de onde pensamos. Mais uma vez, sugerimos que pense em como isso pode ser feito em aplicações de rede e protocolos à medida que avança sua leitura pelos capítulos deste livro. Exploraremos mais mecanismos para comprovação da fonte no Capítulo 8.

Ao encerrar esta seção, deve-se considerar como a Internet se tornou um local inseguro, antes de tudo. A resposta breve é que a Internet foi, a princípio, criada dessa maneira, baseada no modelo de "um grupo de usuários de confiança mútua ligados a uma rede transparente" [Blumenthal, 2001] — um modelo no qual (por definição) não há necessidade de segurança. Muitos aspectos da arquitetura inicial da Internet refletem profundamente essa noção de confiança mútua. Por exemplo, a capacidade de um usuário enviar um pacote a qualquer outro é mais uma falha do que um recurso solicitado/concedido, e acredita-se piamente na identidade do usuário, em vez de ela ser autenticada como padrão.

Mas a Internet de hoje decerto não envolve "usuários de confiança mútua". Contudo, os usuários atuais ainda precisam se comunicar mesmo quando não confiam um no outro, podem querer se comunicar de modo anônimo, podem se comunicar indiretamente por terceiros (por exemplo, Web *caches*, que serão estudados no Capítulo 2, ou agentes móveis para assistência, que serão estudados no Capítulo 6), e podem desconfiar do hardware, software e até mesmo do ar pelo qual eles se comunicam. Temos agora muitos desafios relacionados à segurança perante nós à medida que prosseguimos com o livro: devemos buscar proteção contra a análise, disfarce da origem, ataques *man-in-the-middle*, ataques DDoS, *malware* e outros. Precisamos manter em mente que a comunicação entre usuários de confiança mútua é mais uma exceção do que uma regra. Seja bem-vindo ao mundo da moderna rede de computadores!

1.7 HISTÓRIA DAS REDES DE COMPUTADORES E DA INTERNET

Da Seção 1.1 à 1.6, apresentamos um panorama da tecnologia de redes de computadores e da Internet. Agora, você já deve saber o suficiente para impressionar sua família e amigos! Contudo, se quiser ser mesmo o maior sucesso na próxima festa, você deve rechear seu discurso com pérolas da fascinante história da Internet [Segaller, 1998].

1.7.1 Desenvolvimento da comutação de pacotes: 1961-1972

Os primeiros passos da disciplina de redes de computadores e da Internet atual podem ser traçados desde o início da década de 1960, quando a rede telefônica era a rede de comunicação dominante no mundo inteiro. Lembre-se de que na Seção 1.3 dissemos que a rede de telefonia usa comutação de circuitos para transmitir informações de uma origem a um destino — uma escolha acertada, já que a voz é transmitida a uma taxa constante entre os pontos. Dada a importância cada vez maior dos computadores no início da década de 1960 e o advento de computadores com tempo compartilhado, nada seria mais natural do que considerar a questão de como interligar computadores para que pudessem ser compartilhados entre usuários geograficamente dispersos. O tráfego gerado por esses usuários provavelmente era feito por *rajadas* — períodos de atividade, como o envio de um comando a um computador remoto, seguidos de períodos de inatividade, como a espera por uma resposta ou o exame de uma resposta recebida.

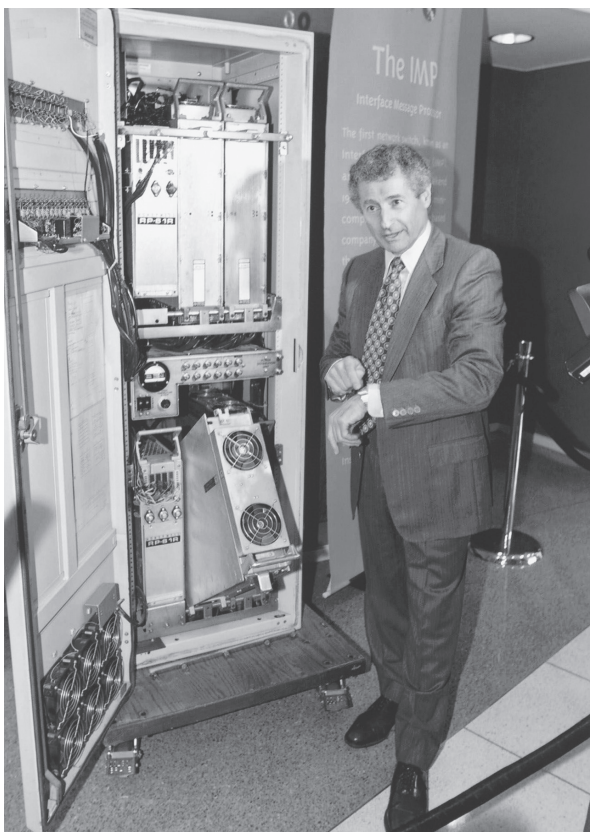
Três grupos de pesquisa ao redor do mundo, sem que nenhum tivesse conhecimento do trabalho do outro [Leiner, 1998], começaram a inventar a comutação de pacotes como uma alternativa poderosa e eficiente à comutação de circuitos. O primeiro trabalho publicado sobre técnicas de comutação de pacotes foi o de Leonard Kleinrock [Kleinrock, 1961, 1964], que, naquela época, era um aluno de graduação no MIT. Usando a teoria de

filas, seu trabalho demonstrou, com elegância, a eficácia da abordagem da comutação de pacotes para fontes de tráfego intermitentes (em rajadas). Em 1964, Paul Baran [Baran, 1964], do Rand Institute, começou a investigar a utilização de comutação de pacotes na transmissão segura de voz pelas redes militares, ao mesmo tempo que Donald Davies e Roger Scantlebury desenvolviam suas ideias sobre esse assunto no National Physical Laboratory, na Inglaterra.

Os trabalhos desenvolvidos no MIT, no Rand Institute e no NPL foram os alicerces do que hoje é a Internet. Mas a Internet tem uma longa história de atitudes do tipo "construir e demonstrar", que também data do início da década de 1960. J. C. R. Licklider [DEC, 1990] e Lawrence Roberts, ambos colegas de Kleinrock no MIT, foram adiante e lideraram o programa de ciência de computadores na ARPA (Advanced Research Projects Agency — Agência de Projetos de Pesquisa Avançada), nos Estados Unidos. Roberts publicou um plano geral para a ARPAnet [Roberts, 1967], a primeira rede de computadores por comutação de pacotes e uma ancestral direta da Internet pública de hoje. Em 1969, no Dia do Trabalho nos Estados Unidos, foi instalado o primeiro comutador de pacotes na UCLA (Universidade da Califórnia em Los Angeles) sob a supervisão de Kleinrock. Pouco tempo depois, foram instalados três comutadores de pacotes adicionais no Stanford Research Institute (SRI), na Universidade da Califórnia em Santa Bárbara e na Universidade de Utah (Figura 1.26). O incipiente precursor da Internet tinha quatro nós no final de 1969. Kleinrock recorda que a primeiríssima utilização da rede foi fazer um login remoto entre a UCLA e o SRI, derrubando o sistema [Kleinrock, 2004].

Em 1972, a ARPAnet tinha cerca de 15 nós e foi apresentada publicamente pela primeira vez por Robert Kahn. O primeiro protocolo fim a fim entre sistemas finais da ARPAnet, conhecido como protocolo de controle de rede (*network-control protocol* — NCP), estava concluído [RFC 001]. Com um protocolo fim a fim à disposição, a escrita de aplicações tornou-se possível. Em 1972, Ray Tomlinson, da BBN, escreveu o primeiro programa de e-mail.

FIGURA 1.26 UM DOS PRIMEIROS COMUTADORES DE PACOTES



1.7.2 Redes proprietárias e trabalho em rede: 1972-1980

A ARPAnet inicial era uma rede isolada, fechada. Para se comunicar com uma máquina da ARPAnet, era preciso estar ligado a um outro IMP dessa rede. Do início a meados de 1970, surgiram novas redes independentes de comutação de pacotes: ALOHAnet, uma rede de micro-ondas ligando universidades das ilhas do Havaí [Abramson, 1970], bem como as redes de pacotes por satélite [RFC 829] e por rádio [Kahn, 1978] da DARPA; Telenet, uma rede comercial de comutação de pacotes da BBN baseada na tecnologia ARPAnet; Cyclades, uma rede de comutação de pacotes pioneira na França, montada por Louis Pouzin [Think, 2002]; redes de tempo compartilhado como a Tymnet e a rede GE Information Services, entre outras que surgiram no final da década de 1960 e início da década de 1970 [Schwartz, 1977]; rede SNA da IBM (1969–1974), cujo trabalho comparava-se ao da ARPAnet [Schwartz, 1977].

O número de redes estava crescendo. Hoje, com perfeita visão do passado, podemos perceber que aquela era a hora certa para desenvolver uma arquitetura abrangente para conectar redes. O trabalho pioneiro de interconexão de redes, sob o patrocínio da DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency — Agência de Projetos de Pesquisa Avançada de Defesa), criou basicamente *uma rede de redes* e foi realizado por Vinton Cerf e Robert Kahn [Cerf, 1974]; o termo *internetting* foi cunhado para descrever esse trabalho.

Esses princípios de arquitetura foram incorporados ao TCP. As primeiras versões desse protocolo, contudo, eram muito diferentes do TCP de hoje. Elas combinavam uma entrega sequencial confiável de dados via retransmissão por sistema final (que ainda faz parte do TCP de hoje) com funções de envio (que hoje são desempenhadas pelo IP). As primeiras experiências com o TCP, combinadas com o reconhecimento da importância de um serviço de transporte fim a fim não confiável, sem controle de fluxo, para aplicações como voz em pacotes, levaram à separação entre IP e TCP e ao desenvolvimento do protocolo UDP. Os três protocolos fundamentais da Internet que temos hoje — TCP, UDP e IP — estavam conceitualmente disponíveis no final da década de 1970.

Além das pesquisas sobre a Internet realizadas pela DARPA, muitas outras atividades importantes relacionadas ao trabalho em rede estavam em andamento. No Havaí, Norman Abramson estava desenvolvendo a ALOHAnet, uma rede de pacotes por rádio que permitia que vários lugares remotos das ilhas havaianas se comunicassem entre si. O ALOHA [Abramson, 1970] foi o primeiro protocolo de acesso múltiplo que permitiu que usuários geograficamente dispersos compartilhassem um único meio de comunicação *broadcast* (uma frequência de rádio). Metcalfe e Boggs se basearam no trabalho de Abramson sobre protocolo de múltiplo acesso quando desenvolveram o protocolo Ethernet [Metcalfe, 1976] para redes compartilhadas de transmissão broadcast por fio. O interessante é que o protocolo Ethernet de Metcalfe e Boggs foi motivado pela necessidade de conectar vários PCs, impressoras e discos compartilhados [Perkins, 1994]. Há 25 anos, bem antes da revolução do PC e da explosão das redes, Metcalfe e Boggs estavam lançando as bases para as LANs de PCs de hoje.

1.7.3 Proliferação de redes: 1980-1990

Ao final da década de 1970, cerca de 200 máquinas estavam conectadas à ARPAnet. Ao final da década de 1980, o número de máquinas ligadas à Internet pública, uma confederação de redes muito parecida com a Internet de hoje, alcançaria cem mil. A década de 1980 seria uma época de formidável crescimento.

Grande parte daquele crescimento foi consequência de vários esforços distintos para criar redes de computadores para interligar universidades. A BITNET processava e-mails e fazia transferência de arquivos entre diversas universidades do nordeste dos Estados Unidos. A CSNET (Computer Science NETwork — rede da ciência de computadores) foi formada para interligar pesquisadores de universidades que não tinham acesso à ARPAnet. Em 1986, foi criada a NSFNET para prover acesso a centros de supercomputação patrocinados pela NSF. Partindo de uma velocidade inicial de 56 kbits/s, ao final da década o *backbone* da NSFNET estaria funcionando a 1,5 Mbits/s e servindo como *backbone* primário para a interligação de redes regionais.

Na comunidade da ARPAnet, já estavam sendo encaixados muitos dos componentes finais da arquitetura da Internet de hoje. No dia 1º de janeiro de 1983, o TCP/IP foi adotado oficialmente como o novo padrão de

protocolo de máquinas para a ARPAnet (em substituição ao protocolo NCP). Pela importância do evento, o dia da transição do NCP para o TCP/IP [RFC 801] foi marcado com antecedência — a partir daquele dia todas as máquinas tiveram de adotar o TCP/IP. No final da década de 1980, foram agregadas importantes extensões ao TCP para implementação do controle de congestionamento baseado em hospedeiros [Jacobson, 1988]. Também foi desenvolvido o sistema de nomes de domínios (DNS) utilizado para mapear nomes da Internet fáceis de entender (por exemplo, gaia.cs.umass.edu) para seus endereços IP de 32 bits [RFC 1034].

Em paralelo ao desenvolvimento da ARPAnet (que em sua maior parte deve-se aos Estados Unidos), no início da década de 1980 os franceses lançaram o projeto Minitel, um plano ambicioso para levar as redes de dados para todos os lares. Patrocinado pelo governo francês, o sistema consistia em uma rede pública de comutação de pacotes (baseada no conjunto de protocolos X.25, que usava circuitos virtuais), servidores Minitel e terminais baratos com modems de baixa velocidade embutidos. O Minitel transformou-se em um enorme sucesso em 1984, quando o governo francês forneceu, gratuitamente, um terminal para toda residência francesa que quisesse. O sistema incluía sites de livre acesso — como o da lista telefônica — e também particulares, que cobravam uma taxa de cada usuário baseada no tempo de utilização. No seu auge, em meados de 1990, o Minitel oferecia mais de 20 mil serviços, que iam desde *home banking* até bancos de dados especializados para pesquisa. Estava presente em grande parte dos lares franceses dez anos antes sequer de a maioria dos norte-americanos ouvir falar de Internet.

1.7.4 A explosão da Internet: a década de 1990

A década de 1990 estreou com vários eventos que simbolizaram a evolução contínua e a comercialização iminente da Internet. A ARPAnet, a progenitora da Internet, deixou de existir. Em 1991, a NSFNET extinguiu as restrições que impunha à sua utilização com finalidades comerciais, mas, em 1995, perderia seu mandato quando o tráfego de *backbone* da Internet passou a ser carregado por provedores de serviços.

O principal evento da década de 1990, no entanto, foi o surgimento da World Wide Web, que levou a Internet para os lares e as empresas de milhões de pessoas no mundo inteiro. A Web serviu também como plataforma para a habilitação e a disponibilização de centenas de novas aplicações, inclusive busca (por exemplo, Google e Bing), comércio pela Internet (por exemplo, Amazon e eBay) e redes sociais (por exemplo, Facebook).

A Web foi inventada no CERN (European Center for Nuclear Physics — Centro Europeu para Física Nuclear) por Tim Berners-Lee entre 1989 e 1991 [Berners-Lee, 1989], com base em ideias originadas de trabalhos anteriores sobre hipertexto realizados por Vannevar Bush [Bush, 1945], na década de 1940, e por Ted Nelson [Xanadu, 2012], na década de 1960. Berners-Lee e seus companheiros desenvolveram versões iniciais de HTML, HTTP, um servidor Web e um navegador (*browser*) — os quatro componentes fundamentais da Web. Por volta de 1993, havia cerca de 200 servidores Web em operação, e esse conjunto era apenas um prenúncio do que estava por vir. Nessa época, vários pesquisadores estavam desenvolvendo navegadores Web com interfaces GUI (Graphical User Interface — interface gráfica de usuário), entre eles Marc Andreessen, que liderou o desenvolvimento do popular navegador Mosaic, junto com Kim Clark, que formaram a Mosaic Communications, que mais tarde se transformou na Netscape Communications Corporation [Cusumano, 1998; Quittner, 1998]. Em 1995, estudantes universitários estavam usando navegadores Mosaic e Netscape para navegar na Web diariamente. Na época, empresas — grandes e pequenas — começaram a operar servidores e a realizar transações comerciais pela Web. Em 1996, a Microsoft começou a desenvolver navegadores, dando início à guerra entre Netscape e Microsoft, vencida pela última alguns anos mais tarde [Cusumano, 1998].

A segunda metade da década de 1990 foi um período de tremendo crescimento e inovação, com grandes corporações e milhares de novas empresas criando produtos e serviços para a Internet. No final do milênio a Internet dava suporte a centenas de aplicações populares, entre elas quatro de enorme sucesso:

- e-mail, incluindo anexos e correio eletrônico com acesso pela Web;
- a Web, incluindo navegação pela Web e comércio pela Internet;
- serviço de mensagem instantânea, com listas de contato;
- compartilhamento *peer-to-peer* de arquivos MP3, cujo pioneiro foi o Napster.

O interessante é que as duas primeiras dessas aplicações de sucesso arrasador vieram da comunidade de pesquisas, ao passo que as duas últimas foram criadas por alguns jovens empreendedores.

No período de 1995 a 2001, a Internet realizou uma viagem vertiginosa nos mercados financeiros. Antes mesmo de se mostrarem lucrativas, centenas de novas empresas faziam suas ofertas públicas iniciais de ações e começavam a ser negociadas em bolsas de valores. Muitas empresas eram avaliadas em bilhões de dólares sem ter nenhum fluxo significativo de receita. As ações da Internet sofreram uma queda também vertiginosa em 2000-2001, e muitas novas empresas fecharam. Não obstante, várias outras surgiram como grandes vencedoras no mundo da Internet, entre elas Microsoft, Cisco, Yahoo, eBay, Google e Amazon.

1.7.5 O novo milênio

A inovação na área de redes de computadores continua a passos largos. Há progressos em todas as frentes, incluindo distribuição de roteadores mais velozes e velocidades de transmissão mais altas nas redes de acesso e nos *backbones* da rede. Mas os seguintes desenvolvimentos merecem atenção especial:

- Desde o início do milênio, vimos a implementação agressiva do acesso à Internet por banda larga nos lares — não apenas modems a cabo e DSL, mas também "*fiber to the home*", conforme discutimos na Seção 1.2. Esse acesso à Internet de alta velocidade preparou a cena para uma série de aplicações de vídeo, incluindo a distribuição de vídeo gerado pelo usuário (por exemplo, YouTube), fluxo contínuo por demanda de filmes e shows de televisão (por exemplo, Netflix) e videoconferência entre várias pessoas (por exemplo, Skype).
- A onipresença cada vez maior das redes Wi-Fi públicas de alta velocidade (54 Mbits/s e mais altas) e o acesso à Internet com velocidade média (até alguns Mbits/s) por redes de telefonia celular 3G e 4G não apenas está possibilitando permanecer constantemente conectado enquanto se desloca, mas também permite novas aplicações específicas à localização. O número de dispositivos sem fio conectados ultrapassou o número de dispositivos com fio em 2011. Esse acesso sem fio em alta velocidade preparou a cena para o rápido surgimento de computadores portáteis (iPhones, Androids, iPads etc.), que possuem acesso constante e livre à Internet.
- Redes sociais on-line, como Facebook e Twitter, criaram redes de pessoas maciças em cima da Internet. Muitos usuários hoje "vivem" principalmente dentro do Facebook. Através de suas APIs, as redes sociais on-line criam plataformas para novas aplicações em rede e jogos distribuídos.
- Conforme discutimos na Seção 1.3.3, os provedores de serviços on-line, como Google e Microsoft, implementaram suas próprias amplas redes privativas, que não apenas conectam seus centros de dados distribuídos em todo o planeta, mas são usadas para evitar a Internet ao máximo possível, emparelhando diretamente com ISPs de nível mais baixo. Como resultado, Google oferece resultados de busca e acesso a e-mail quase instantaneamente, como se seus centros de dados estivessem rodando dentro do computador de cada usuário.
- Muitas empresas de comércio na Internet agora estão rodando suas aplicações na "nuvem" — como na EC2 da Amazon, na Application Engine da Google ou na Azure da Microsoft. Diversas empresas e universidades também migraram suas aplicações da Internet (por exemplo, e-mail e hospedagem de páginas Web) para a nuvem. Empresas de nuvem não apenas oferecem ambientes de computação e armazenamento escaláveis às aplicações, mas também lhes oferecem acesso implícito às suas redes privativas de alto desempenho.

1.8 RESUMO

Neste capítulo, abordamos uma quantidade imensa de assuntos. Examinamos as várias peças de hardware e software que compõem a Internet, em especial, e redes de computadores, em geral. Começamos pela periferia