



A L B E R T O S I L V A

Agentes de Software na Internet





Alberto Silva

Agentes de Software na Internet

A Próxima Geração de Aplicações para a Internet



Edições Centro Atlântico

Portugal/1999

Reservados todos os direitos por Centro Atlântico, Lda.

Qualquer reprodução, incluindo fotocópia, só pode ser feita com autorização expressa dos editores da obra.

Agentes de Software na Internet - A Próxima Geração de Aplicações para a Internet

Autor: Alberto Manuel Rodrigues da Silva

Colecção: Tecnologias

Direcção gráfica: Centro Atlântico

Capa: Paulo Buchinho

© Centro Atlântico, Lda., 1999

Av. D. Afonso Henriques, 1462 - 4450 Matosinhos

Tel. 02 - 938 56 28/9 Fax. 02 - 938 56 30

Rua da Misericórdia, 76 - 1200 Lisboa

Tel. 01 - 321 01 95 Fax 01 - 321 01 85

Portugal

geral@centroatlantico.pt

www.centroatlantico.pt

Impressão e acabamento: Tilgráfica

1ª edição: Fevereiro de 1999

ISBN: 972-8426-10-0

Depósito legal: 134.348/99

Marcas registadas: todos os termos mencionados neste livro conhecidos como sendo marcas registadas de produtos e serviços, foram apropriadamente capitalizados. A utilização de um termo neste livro não deve ser encarada como afectando a validade de alguma marca registada de produto ou serviço.

A Editora e o Autor não se responsabilizam por possíveis riscos, perdas ou danos morais ou físicos causados pelas instruções contidas no livro nem pelos resultados da utilização dos endereços Internet referidos.

Resumo

A Internet não é apenas um espaço único com um vasto e crescente número de informação e utilizadores. Deve ser vista, antes de mais, como um espaço multifacetado constituído por um número crescente de comunidades de utilizadores, em que cada comunidade apresenta as suas próprias regras, comportamentos e actividades. Cada utilizador pertence, de forma mais ou menos activa, a um número variável mas limitado de comunidades.

Argumenta-se neste livro que estas comunidades electrónicas sejam concebidas segundo o paradigma dos agentes de software e que apresentem características, entre outras, de distribuição, dinamismo, segurança e abertura. Apresentam-se infraestruturas concretas que permitam o suporte, o desenvolvimento e a gestão de aplicações dinâmicas e distribuídas que possam concretizar com vantagem as referidas comunidades, em particular a infraestruturas AgentSpace e o Aglets Workbench.

Analisa-se e discute-se exemplos de aplicações baseadas em agentes existentes no contexto da Internet e perspectiva-se os principais benefícios, expectativas, limitações e desafios que o paradigma/tecnologia dos agentes de software irá suscitar no âmbito das futuras aplicação para a Internet.

Preâmbulo

Terminei em Junho de 1998 a minha tese de doutoramento no Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, em que propus o modelo de agentes de software como paradigma para o desenvolvimento das futuras aplicações para a Internet. Essas aplicações tinham, entre outras, as características particulares de serem dinâmicas e distribuídas. Para validação de tal tese foi desenvolvido uma infraestrutura de agentes móveis Java com possibilidade de suporte, gestão e desenvolvimento das re-feridas aplicações. (Essa infraestrutura, designada por *AgentSpace*, encontra-se actualmente disponível para download e para utilização no seguinte endereço electrónico: <http://berlin.inesc.pt/agentspace/>)

Na sequência desse trabalho, recebi um convite e desafio gentilmente endereçado pelo Dr. Libório Silva, director geral do Centro Atlântico, para adaptar essa minha tese na forma de um livro acessível ao grande público. Entenda-se “grande público” como leitores mais ou menos familiarizados com os aspectos técnicos e/ou de gestão das Tecnologias de Informação e de Comunicação, e da Internet em particular.

Este livro reflecte inevitavelmente parte importante da minha experiência dos últimos quatro anos como investigador, consultor, e docente nas áreas de sistemas de informação para a Internet. Parte significativa dessa actividade foi desenvolvida no Instituto Superior Técnico e no Grupo de Sistemas e Serviços Telemáticos do Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, aos quais não posso deixar de endereçar o meu expresso agradecimento, bem como a todos os colegas e alunos com quem tive o privilégio de conviver durante esse período.

O objectivo primeiro deste livro é apresentar de forma razoavelmente completa a área de interesse dos agentes de software no contexto dos sistemas de informação em geral e da Internet em particular. Uma preocupação do livro, tendo em conta o seu público alvo, é não apresentar detalhes mais ou menos científicos ou específicos deste ou daquele sistema. No entanto, não se deixa de referir exemplos concretos quer de infraestruturas que suportam a existência de agentes, quer de aplicações desenvolvidas segundo esse modelo.

O objectivo segundo do livro é permitir que o leitor interessado possa, por sua livre iniciativa, aprofundar os temas apresentados. Para tal, existe um comprometimento claro na apresentação no texto de referências, algumas bibliográficas outras electrónicas, bem como na apresentação em apêndice de um conjunto de recursos electrónicos relevantes para a área dos agentes de software.

Desejo a todos uma interessada leitura,

Lisboa, Fevereiro de 1999
Alberto Manuel Rodrigues da Silva

Índice

1	Introdução	1
1.1	Introdução	1
1.2	Enquadramento	4
1.3	Objectivos do Livro	7
1.4	Organização do Livro	9
1.5	Notações Adoptadas	10
2	A Internet: Uma Visão Tecnológica	11
2.1	A Internet	11
2.1.1	História	12
2.1.2	Arquitectura e Tecnologia	13
2.1.3	Serviços Básicos	16
2.2	A Web	18
2.2.1	História	19
2.2.2	Funcionamento da Web	20
2.2.3	Componentes Tecnológicos da Web	22
2.2.4	Virtudes e Limitações da Web	24
2.3	O Java	25
2.3.1	Linguagem Baseada em Objectos e Simples	26
2.3.2	Bibliotecas Standard de Tipos	27
2.3.3	Independência da Plataforma	27
2.3.4	Segurança	28
2.3.5	Desempenho	29
2.3.6	Outros Aspectos	29
2.4	Conclusões	30
3	Sistemas de Informação Distribuídos	31
3.1	Introdução	31
3.1.1	Modelo Centralizado	32
3.1.2	Modelo Distribuído	33
3.2	Modelos Básicos de Comunicação	34
3.2.1	Troca de Mensagens	34
3.2.2	Invocação de Procedimentos Remotos	35
3.2.3	Avaliação Remota	36
3.2.4	Objectos Móveis	36
3.3	Principais Tecnologias de Suporte	37
3.3.1	Sistemas de Ficheiros Partilhados	37

X

3.3.2	Sistemas de Gestão de Bases de Dados	38
3.3.3	Sistemas de Processamento Transaccional	40
3.3.4	Sistemas de Objectos Distribuídos	42
3.3.5	Sistemas de Código e de Agentes Móveis	44
3.4	Modelos de Desenvolvimento de SI para a Web	45
3.4.1	SIW Centrados no Servidor	46
3.4.2	SIW Centrados no Cliente	54
3.4.3	SIW Suportados por Infraestruturas Distribuídas	60
3.5	Conclusões	64
4	Agentes de Software para a Internet	67
4.1	Introdução	67
4.1.1	Esclarecimentos Preliminares	67
4.1.2	Influência Multidisciplinar	68
4.2	Definições e Atributos de Agentes	70
4.2.1	Algumas Definições	70
4.2.2	Definição Adoptada no Âmbito do Livro	73
4.3	Tipos de Agentes	74
4.3.1	Proposta de Classificação de Agentes	75
4.3.2	Classificações Alternativas de Agentes	76
4.4	Exemplos de Agentes	78
4.4.1	Agentes de Aplicação	78
4.4.2	Agentes de Sistema	80
4.4.3	Agentes para Intranets	81
4.4.4	Agentes para a Internet	81
4.4.5	Crítica aos Exemplos Apresentados	87
4.5	Motivação e Desafios	87
4.5.1	Caso de Estudo: CELIA	88
4.5.2	Limitações da Tecnologia Actual da Web	88
4.5.3	Abordagem Baseada em Agentes	90
4.6	Impacto dos Agentes no Futuro da Internet	92
4.7	Conclusões	95
5	Modelo de Referência de Sistemas de Agentes	97
5.1	Introdução	97
5.2	Conceitos Principais	98
5.2.1	Agentes, Nós e Agrupamentos	98
5.2.2	Sistemas de Suporte de Agentes	99
5.2.3	Aplicações Baseadas em Agentes	100
5.2.4	Utilizadores e Níveis de Acesso	102
5.3	Comunicação e Interoperação	103
5.3.1	Aproximação Imperativa	104
5.3.2	Aproximação Declarativa	105
5.3.3	Discussão	108

5.4	Sistematização dos Conceitos	110
5.4.1	Tipos de Linguagens	110
5.4.2	Relações entre Nós, Agrupamentos e Agentes	112
5.4.3	Aplicações Baseadas em Agentes	113
5.5	Visões sobre Agentes	114
5.6	Arquitectura Genérica e Global para ABA	115
5.7	Aspectos Arquitecturais de Suporte de Agentes	117
5.7.1	Execução de Agentes	117
5.7.2	Gestão de Tipos de Agentes	119
5.7.3	Atribuição e Gestão de Identificadores	119
5.7.4	Persistência	120
5.7.5	Navegação	122
5.7.6	Comunicação	124
5.7.7	Interacção com Recursos Externos	126
5.7.8	Segurança	127
5.8	Conclusões	128
6	A Infraestrutura AgentSpace	129
6.1	Introdução	129
6.2	Visão Geral do AgentSpace	130
6.2.1	Arquitectura	130
6.2.2	Modelo de Objectos	132
6.3	Visão do Utilizador	133
6.3.1	Objectivos	134
6.3.2	Perfis de Utilização	134
6.3.3	Interface com o Utilizador	136
6.3.4	Funcionalidades Genéricas	137
6.3.5	Gestão de Agentes	138
6.3.6	Gestão de Locais de Execução	140
6.3.7	Administração de Contextos	143
6.4	Conclusões	144
7	Análise de Sistemas de Agentes	147
7.1	Introdução	147
7.2	Análise Comparativa	148
7.2.1	Telescript	148
7.2.2	Aglets Workbench	150
7.2.3	ffMAIN	152
7.2.4	D ³ Agents	153
7.2.5	Discussão	155
7.3	Protótipos de ABA em AgentSpace e Aglets	158
7.3.1	Estrutura da Aplicação	158
7.3.2	Semânticas de Comunicação	160
7.3.3	Comunicação vs. Navegação	161
7.3.4	Avaliação Global de Desempenho	162

7.3.5	Avaliação das Facilidades de Programação	162
7.4	Conclusões	164
8	Conclusão	167
8.1	Validação da Hipótese	167
8.2	Discussão Final	169
8.2.1	Benefícios e Expectativas	169
8.2.2	Limitações e Desafios	172
8.3	Conclusão	173
Apêndice A - Guia de Recursos Electrónicos sobre Agentes		175
	Organizações Promotoras	177
	Leituras Introdutórias	177
	Catálogos de Informação sobre Agentes	178
	Listas de Mailing e Newsgroups	178
	Especificações em curso de Normalização	179
	Padrões	179
	Bibliografia: Livros, Revistas, Artigos, Links para ...	180
	Projectos e Sistemas de Agentes Móveis	181
Apêndice B - Glossário, Siglas e Abreviaturas		183
B.1	Glossário	184
B.2	Siglas mais Usadas	185
B.3	Abreviaturas	186
Referências		187
Índice Remissivo		201

Lista de Figuras

Figura 2.1: Evolução histórica da Internet.	12
Figura 2.2: Modelo cliente/servidor aplicado aos serviços da Internet.	16
Figura 2.3: Evolução histórica da Web.	19
Figura 2.4: Elementos básicos de uma aplicação hipermédia.	21
Figura 2.5: Arquitectura geral da Web.	21
Figura 2.6: Tipos de ficheiros e a máquina virtual Java.	27
Figura 3.1: Arquitectura genérica de um sistema de informação.	31
Figura 3.2: Arquitectura do modelo centralizado.	32
Figura 3.3: Arquitectura simplificada do modelo cliente/servidor.	33
Figura 3.4: Modelo de SI baseados em servidores de ficheiros partilhados.	38
Figura 3.5: Modelo de SI baseados em servidor de base de dados.	39
Figura 3.6: Modelo de SI baseados em sistemas transaccionais.	41
Figura 3.7: Modelo de SI baseados em objectos distribuídos.	43
Figura 3.8: Arquitecturas de código móvel vs. de agentes móveis.	44
Figura 3.9: Principais modelos tecnológicos de desenvolvimento de SI para a Web.	46
Figura 3.10: O modelo computacional de um SIW baseado no CGI.	48
Figura 3.11: O modelo computacional de um SIW baseado no SSL.	48
Figura 3.12: O processo de interpretação e conversão no mecanismo SSI.	49
Figura 3.13: O modelo computacional de SIW baseado em servidores especializados.	50
Figura 3.14: O modelo computacional de SIW baseado em API dos servidores.	51
Figura 3.15: O modelo computacional de SIW baseado em código previamente instalado.	55
Figura 3.16: O modelo computacional de SIW baseado em código móvel.	56
Figura 3.17: Código móvel, independente do documento HTML.	57
Figura 3.18: O modelo computacional de SIW baseado em aproximações híbridas.	60
Figura 3.19: O modelo computacional de SIW suportado por uma infraestrutura distribuída comum.	61
Figura 3.20: O modelo computacional de SIW suportado por uma infraestrutura baseada em CORBA.	61
Figura 3.21: Invocação de método sobre um objecto CORBA remoto, via IIOP.	62
Figura 3.22: O modelo computacional de SIW suportado por uma infraestrutura baseada em Java.	64
Figura 4.1: Áreas científicas que influenciam o modelo de agentes de software.	68
Figura 4.2: Esquema da relação entre um agente e o seu ambiente.	71
Figura 4.3: Tipos de agentes tratados no âmbito do livro.	76
Figura 4.4: Visões de tipos de agentes, por interesse científico.	77
Figura 4.5: Exemplo de um wizard do Microsoft Word.	79

Figura 4.6: Editor de regras do Netscape Messenger.	80
Figura 4.7: NewsHound, notícias personalizadas.	83
Figura 4.8: Web site da empresa Marimba.	84
Figura 4.9: Mecanismo de notificação de eventos do agente Informant.	85
Figura 4.10: Agente para procura de CD baratos – BargainFinder.	86
Figura 4.11: Aproximação centralizada baseada na tecnologia da Web.	89
Figura 4.12: Aproximação descentralizada baseada na tecnologia da Web.	90
Figura 4.13: Aproximação baseada em agentes.	91
Figura 5.1: Relação entre nós e hierarquias de agrupamentos.	99
Figura 5.2: Do agente individual até às comunidades heterogéneas de agentes.	102
Figura 5.3: Tipos de interacções entre agentes e utilizadores.	102
Figura 5.4: Tipos de interacções em sistemas baseados em agentes.	103
Figura 5.5: Três níveis de partilha no processo de comunicação entre agentes.	106
Figura 5.6: Exemplo de mensagens KQML.	107
Figura 5.7: Diferentes perspectivas na comunicação entre agentes.	108
Figura 5.8: Tipos de linguagens associadas ao modelo de agentes.	111
Figura 5.9: Relação genérica da interacção entre agentes.	112
Figura 5.10: Relação entre nós, agrupamentos e agentes.	113
Figura 5.11: Comunidade homogénea de agentes.	113
Figura 5.12: Comunidade heterogénea de agentes.	114
Figura 5.13: Visões distintas de agentes – casos de utilização.	114
Figura 5.14: Arquitectura genérica do modelo de referência.	116
Figura 5.15: API de interacção entre o AEA e o SEA.	117
Figura 5.16: Variantes no posicionamento relativo entre SEA e AEA.	118
Figura 5.17: Semânticas de navegação de agentes móveis.	122
Figura 5.18: Problema dos canais abertos em operações de navegação.	125
Figura 6.1: Visão geral da infraestrutura Espaço de Agentes.	131
Figura 6.2: Interdependências entre as diferentes componentes do AgentSpace.	131
Figura 6.3: Modelo de objectos geral do AgentSpace – diagrama de classes .	132
Figura 6.4: Perfis de utilização do AgentSpace – diagrama de casos de utilização .	135
Figura 6.5: Modelo geral do funcionamento do Cliente-AS.	136
Figura 6.6: Menu <i>F</i> ile do Cliente-AS – imagem de écran.	137
Figura 6.7: Menu <i>A</i> gent do Cliente-AS – imagem de écran.	139
Figura 6.8: Gestão de agentes de um utilizador – imagem de écran.	139
Figura 6.9: Criação de um agente – imagem de écran.	140
Figura 6.10: Menu <i>P</i> lace do Cliente-AS – imagem de écran.	141
Figura 6.11: Menu <i>P</i> lace do Cliente-AS – imagem de écran.	142
Figura 6.12: Criação de um local de execução – imagem de écran.	142
Figura 6.13: Menu <i>C</i> ontext do Cliente-AS – imagem de écran.	143
Figura 6.14: Gestão de utilizadores – imagem de écran.	144

Figura 9.1: Esquema conceptual da infraestrutura Telescript.	149
Figura 9.2: Esquema conceptual da infraestrutura Aglets.	151
Figura 9.3: Esquema conceptual do SSA baseado no protocolo HTTP.	152
Figura 9.4: Esquema conceptual da infraestrutura D'Agents.	154
Figure 9.5: Principais interacções entre os agentes da aplicação CELIA – diagrama de sequências.	159
Figura 9.6: Diagrama de colaborações entre o cliente e os restantes agentes.	160
Figura 9.7: Diagrama de colaborações entre o estafeta e os agentes livreiros e cliente.	162

Lista de Tabelas

Tabela 1.1: Uma possível classificação dos sistemas de informação.....	5
Tabela 2.1: Sumário dos serviços básicos da Internet.....	18
Tabela 3.1: Análise comparativa das aproximações de SIW centrados no servidor.....	52
Tabela 3.2: Análise comparativa das aproximações de SIW centrados no cliente.....	58
Tabela 9.1: Análise comparativa de conceitos e terminologia de SSA.....	155
Tabela 9.2: Análise comparativa dos principais aspectos arquitecturais de SSA.....	157

Capítulo 1

1 *Introdução*

O Homem encontra-se em plena Idade da Informação! Produz e é bombardeado constantemente por informação, cada vez mais preciosa e crítica. A sociedade moderna encontra-se cada vez mais dependente desta. A informação pode ser conhecimento, dinheiro, influência, decisão, e poder. Mas também pode ser perda de tempo, lixo, decisões incorrectas, confusão, e indecisão. Com a globalização das economias, com o aparecimento das redes de redes de computadores, de telefones, de televisões, de carros inteligentes, etc., a informação passou a estar disponível em qualquer local, a qualquer momento, sobre diferentes meios e com diferentes objectivos. No contexto desta depen-dência, que parece irreversível, surgem sistematicamente novos avanços que tornam a informação mais fácil de ser produzida, partilhada, difundida, encontrada, manipulada e efectivamente utilizada com vantagem pelo Homem.

Neste livro discute-se a problemática dos sistemas de informação distribuídos, baseados em sistemas computacionais interligados por redes, que suportem, ou venham a suportar, as diferentes actividades do ser humano enquanto associado em comunidades ou organizações [Sch96, Mow97, RV97, Pyl96, FM98]. De entre inúmeras possíveis actividades destacam-se, entre outras, a troca, consulta selectiva e a difusão de informação; a discussão aberta de assuntos; o comércio electrónico; o entretenimento; o trabalho remoto; ou o trabalho colaborativo.

1.1 *Introdução*

Introduz-se de seguida três conceitos que acompanham toda a explanação do livro, nomeadamente os conceitos de redes de redes de computadores, de sistemas de informa-ção, e de agentes de software.

Redes de Redes de Computadores

As redes de computadores existem desde os anos 50 [Tan96]. Mas foi no início da década de 90 que o governo americano e as principais empresas de telecomunicações e informática começaram a idealizar e a promover a criação das designadas “Auto-Estradas de Informação” [Ban94, NRC94, Mis97, Iif98]. Estas redes seriam destinadas às organizações públicas, às empresas em geral, e ao grande público, de

forma a utilizarem diferentes serviços a criar. Estas redes apresentariam um alto nível de qualidade em termos de interactividade com o utilizador, em termos de segurança e em termos de integração com outros meios de comunicação, nomeadamente telefone e televisão. Em contrapartida, estas redes seriam propriedade de um grupo de empresas que seriam responsáveis pelo seu controlo, gestão e dinamização. Consequentemente a utilização destas redes implicaria mecanismos de contabilização e de pagamento (as “portagens electrónicas”) permanentes. O projecto Microsoft Network é um exemplo paradigmático desses investimentos e intenções.

Todavia, a Internet, com origem num projecto de investigação promovido pelo Departamento de Defesa dos EUA e com a adesão, nas décadas 70 e 80, da maioria dos centros académicos e de investigação de todo o mundo (vid. Capítulo 2), inviabilizou comercialmente os projectos proprietários que entretanto tinham avançado. Como exemplo, a Microsoft decidiu estrategicamente, em Dezembro de 1995, abandonar o seu projecto proprietário (Microsoft Network) e apostar na tecnologia centrada na Internet. Na mesma situação se encontram outras grandes redes de computadores, como a American Online ou a Compuserve.

As principais virtudes da Internet podem-se sintetizar segundo duas vertentes. Por um lado, a vertente tecnológica que se encontra razoavelmente estável e madura, assente sobretudo em: um conjunto de protocolos de rede e de transporte robusto e adequado a redes heterogéneas; mecanismos de atribuição e gestão de endereços e de nomes hierarquicamente descentralizado; e um conjunto alargado de aplicações baseadas no paradigma cliente/servidor. Por outro lado, a vertente política e de gestão pelo facto da Internet ser uma rede aberta e democrática, a sua propriedade, gestão e responsabilidade encontra-se distribuída entre diferentes países, instituições, empresas e grupos de indivíduos.

O livro adoptará, de agora em diante, o termo “Internet” para designar o conceito e realidade da rede de redes de computadores de uma forma indistinta, sempre que não haja perigo de confusão. Pode coincidir com a realidade do que actualmente se designa por Internet, bem como, com um suporte genérico computacional distribuído em larga escala, ou ainda corresponder às referidas Auto-Estradas de Informação que já existem ou que venham a existir.

Sistemas de Informação

Um sistema de informação define-se como um sistema com capacidade de recolha, armazenamento, tratamento e comunicação de informação (vid. Capítulo 3).

Este conceito genérico induz diferentes interpretações para diferentes entidades ou grupos de entidades. Por exemplo um sistema formado por um “arquivo” baseado em papel, com os respectivos processos de preparação, recolha, actualização e divulgação usando meios humanos (e.g., funcionários administrativos) é, com base na anterior definição, um sistema de informação. Por outro lado, pode-se conceber um sistema de informação como sendo um sistema constituído por um complexo “arquivo” (efectivamente, uma ou várias bases de dados mantidas por um sistema gestor) residente em

computador, assistido por ferramentas de interacção homem-máquina e incluindo uma ou mais aplicações para tratamento e manipulação específica de informação.

O que distingue os dois exemplos apresentados, perante a definição dada, é a tecnologia que ambos utilizam. A tecnologia do segundo exemplo – tecnologia da informação – veio permitir a concretização de sistema de informação com inúmeras vantagens, entre as quais: (1) a possibilidade de tornar gerível um maior volume de informação e um maior número de inter-relações; (2) pesquisas mais rápidas e variadas; e (3) maior facilidade no tratamento e comunicação da informação.

Adoptar-se-á, de agora em diante, o termo “sistema de informação” como um sistema suportado pelas tecnologias de informação conforme referido no segundo exemplo. Adicionalmente, poder-se-á utilizar, por vezes, a designação de “sistema de aplicação”, ou simplesmente “aplicação” com o sentido genérico de sistema de informação. Todavia, dever-se-á ter em conta que as aplicações são componentes particulares de um sistema de informação (vid. Figura 3.1 do Capítulo 3).

Agentes de Software

Devido à existência de inúmeras definições de agentes de software, com diferentes pontos de vistas, contextos e aplicações [Rie94, GK95, BTV96, RP97], é necessário que se defina claramente, no contexto do livro, qual o significado de agente de software (vid. Capítulo 4).

A noção de agente neste livro corresponde a uma entidade de software com uma identidade, estado e comportamento bem definidos, e que de alguma forma represente o seu utilizador. O utilizador de um agente corresponde a alguma entidade bem definida e reconhecida pelo sistema, podendo corresponder a um ser humano ou a um serviço de uma dada organização.

De uma perspectiva conceptual, de alto nível, um agente pode corresponder e providenciar um conceito básico para concepção e desenho de aplicações dinâmicas, distribuídas e complexas. Os agentes podem ser vistos como um novo paradigma de interacção homem-máquina, especialmente adequado às novas classes de sistemas de informação emergentes com a Internet. Tradicionalmente os utilizadores interagem com o computador segundo o paradigma da manipulação directa em contraposição com a manipulação indirecta preconizada pelo paradigma dos agentes de software.

A edição de um documento de texto ou a navegação hipermédia na Web, em que o utilizador especifica explicita e “directamente” o texto que pretende editar ou os documentos/locais que pretende consultar/visitar, são exemplos conhecidos e representativos do paradigma da manipulação, ou interacção, directa. Embora este paradigma seja adequado e patente em inúmeras áreas de aplicação (e.g., processamento de texto, contabilidade, desenho gráfico, etc.), não o é contudo nas emergentes áreas de actividade anteriormente referidas (e.g., pesquisa de informação, trabalho colaborativo, comércio electrónico) como é exemplificado de seguida.

Para ilustrar estes dois modelos, considere-se o exemplo clássico da pesquisa de informação na Internet. Segundo o paradigma da manipulação directa, o utilizador tem de navegar na Web à procura do maior número possível de informação relevante. Mes-mo apoiado por serviços específicos de pesquisa (e.g., motores de pesquisa e/ou catálo-gos classificados) esta tarefa tornar-se-ia pouco eficiente – eventualmente demorando horas a realizar. Por oposição, segundo o paradigma da manipulação indirecta, o utilizador apenas deveria especificar as características da informação pretendida ao seu agente especializado. Este, passado um determinado período de tempo, terminaria a sua tarefa e apresentaria ao utilizador o resultado da sua execução – possivelmente um rela-tório com as fontes de informação eventualmente classificadas por critérios de eficácia.

Outro possível (senão mesmo desejável!) exemplo da utilização de agentes seria na administração pública. Por exemplo, suponha-se um sistema de agentes que tratasse dos processos burocráticos da relação entre o Cidadão e o Estado. O evento de mudança de residência de um cidadão, implicaria que este apenas tivesse de especificar ao seu agen-te especializado tal facto, nomeadamente a residência anterior e a actual, conjuntamente com outros detalhes de segurança. Todos os restantes aspectos seriam tratados transparentemente entre este agente (de Cidadão) com os do Estado – por exemplo, com o do Ministério das Finanças para alteração do cartão de contribuinte, com o do Minis-tério de Administração Interna para alteração dos cartões de BI, condução, título de propriedade de veículo, etc.

Como sugerido nos dois exemplos anteriores, os utilizadores delegam um conjunto de tarefas nos seus agentes, em vez de serem eles próprios os actores da realização das tarefas pretendidas. Por conseguinte, os agentes, enquanto representantes do paradigma de manipulação indirecta, são particularmente adequados a suportarem os utilizadores na realização de tarefas complexas, tediosas e/ou repetitivas, mormente em ambientes abertos, dinâmicos, vastos e pouco estruturados – como por exemplo a Internet.

Atributos específicos de agentes, tais como a inteligência ou a mobilidade, não são segundo o ponto de vista do livro, fundamentais para se definir uma entidade de software como agente. Concorde-se todavia que tanto a inteligência como a mobilidade possam ser atributos importantes no desenvolvimento de agentes para determinadas classes de aplicações, dependendo dos seus requisitos específicos. No entanto, é impor-tante nesta fase esclarecer claramente que nem todos os agentes englobados em aplica-ções baseadas em agentes tenham de ser inteligentes e/ou móveis.

1.2 Enquadramento

Os sistemas de informação podem ser agrupados segundo inúmeros critérios de análise. A Tabela 1.1. apresenta uma possível análise segundo dois vectores. Por um lado, a **dimensão**, que corresponde ao número de utilizadores que o sistema potencialmente suporta. Por outro, o **nível de coesão** subjacente à comunidade de

utilizadores cor-respondente. A Tabela 1.1 enquadra resumidamente as quatro principais abordagens tecnológicas de sistemas de informação actualmente existentes segundo estes dois crité-rios de análise.

Nível de Coesão Dimensão	Forte	Fraco
Pequena / Média	Cliente-Servidor ①	Sist. Federado ③
Grande	Centralizado ② (Cliente-Servidor)	Web ④

Tabela 1.1: Uma possível classificação dos sistemas de informação.

A distinção entre pequena/média e grande dimensão diz respeito ao número de utilizadores que o sistema de informação em princípio deverá suportar. Considera-se que um sistema de informação de grande dimensão apresenta pelo menos uma centena de potenciais utilizadores.

Por outro lado, a distinção entre nível de coesão fraco e forte diz respeito à estrutura da comunidade de utilizadores subjacente, e aos procedimentos mais ou menos formais, que permitem estabelecer uma comunidade, e que permitem atribuir-lhe membros (utilizadores). Por exemplo, e em termos gerais, uma empresa apresenta um nível elevado de coesão entre todos os seus participantes, enquanto que um conjunto de empresas que estabelecem relações comerciais, apresentam um nível de coesão médio, e uma comunidade de utilizadores anónimos, baseados por exemplo na Internet, apresenta um nível de coesão baixo.

A generalidade dos sistemas de informação existentes actualmente funcionam no contexto interno das suas respectivas organizações (nível de coesão forte), quer sejam de pequena ou de grande dimensão, e são suportados, respectivamente, por redes locais ou por redes privadas de grande área. Por outro lado, têm surgido recentemente sistemas de informação que suportam múltiplas relações entre diversas organizações e indivíduos (nível de coesão fraco), quer seja por motivos comerciais, administrativos, políticos, ou outros.

Os **sistemas de informação internos das pequenas e médias organizações** (situação 1) recorrem actualmente ao modelo cliente/servidor, correspondendo a uma tecnologia já perfeitamente estável e produtiva. São fáceis de desenvolver mas apresentam problemas relativamente à instalação e manutenção de versões dos clientes. Em geral existe uma ou várias bases de dados geridas por um servidor

especializado e uma ou várias aplicações com elevada capacidade de interacção homem-máquina.

Os **sistemas de informação internos das grandes organizações** (situação 2) têm-se baseado historicamente no modelo centralizado e mais recentemente adoptado algumas soluções cliente/servidor. Estes sistemas apresentam requisitos de desenvolvimento, de instalação e de operacionalidade mais exigentes, pelo facto do número de utilizadores ser grande (superior a 100) e dos computadores se encontrarem distribuídos/replicados geograficamente (nalguns casos à escala mundial).

A situação tradicional de **sistemas de informação que suportam relações entre um número restrito de organizações**, num contexto circunscrito e limitado, é o EDI (*Electronic Data Interchange* [Pre96]) (situação 3). Nesta situação, um número reduzido de organizações acordam a semântica e sintaxe (formato) de um conjunto restrito de mensagens que poderão trocar entre si. Exemplos desta classe de sistemas de informação encontram-se na indústria automóvel (entre os fabricantes da marca e os fornecedores das diferentes componentes), na comunidade de transportes portuários (entre a administração portuária, a alfândega, os agentes de navegação, os operadores de estiva, etc.), ou no comércio de grandes superfícies (entre os hipermercados e os seus fornecedores). Esta classe de sistemas é caracterizada por uma solução federativa. Cada interveniente tem o seu sistema de informação próprio, que é responsável pelo tratamento correspondente ao envio e recepção de todas as mensagens envolvidas. No envio, o sistema de informação da organização emissora é responsável pela criação da mensagem (a partir de informação mantida em determinada base de dados) e pelo seu envio para um sistema central (“centro de compensação”). O centro de compensação será responsável por assegurar que todas as mensagens recebidas chegam efectivamente aos seus destinos, por confirmar aos emissores a chegada das mensagens, e por manter mecanismos de gestão e de contabilização de recursos. Na recepção, o sistema de informação da organização destino é responsável por descodificar a mensagem e introduzi-la na sua base de dados.

Por fim, os **sistemas de informação que suportam múltiplas relações entre uma ilimitada comunidade de organizações e de indivíduos** (situação 4), a uma escala global, começaram recentemente a ser objecto de investigação e de interesse tendo em conta o sucesso da tecnologia Web. A Web é um sistema hipermédia distribuído em grande escala (vid. Capítulo 2) que contribuiu decisivamente para o crescimento e sucesso da Internet. Todavia, a generalidade dos sistemas de informação baseados na Web, são constituídos por documentos HTML. Parte destes documentos são estáticos, enquanto que outros são gerados dinamicamente a partir de informação mantida em bases de dados específicas. Todavia, o estado da arte desta tecnologia apresenta ainda consideráveis limitações ao nível de interactividade homem-máquina, e dificuldades no desenvolvimento de aplicações flexíveis ou complexas, nomeadamente com as características de dinamismo e distribuição exigidas (vid. Capítulo 3).

Constata-se que a Internet é, antes de mais, um espaço tecnológico partilhado por centenas de milhares de comunidades, cada uma com um número distinto de utilizado-

res, que poderá variar entre dois utilizadores a centenas de milhares de utilizadores. Algumas das comunidades poderão ser públicas, outras privadas (e.g., empresas, igrejas, clubes). Algumas poderão ser locais (e.g., uma organização, uma cidade, ou um país), enquanto que outras globais (e.g., uma empresa multinacional, um grupo de interesse). Por outro lado, um utilizador pertence tipicamente, de forma mais ou menos activa, a um conjunto variável, mas restrito, de comunidades. Neste contexto (situação 4) colocam-se inúmeras questões, nomeadamente as que motivaram a realização do pre-sente trabalho e consequente livro.

1.3 Objectivos do Livro

O principal objectivo deste livro é apresentar e discutir que problemas e soluções existem para a concepção e construção de sistemas de informação que funcionem em ambientes heterogéneos, abertos, dinâmicos, com um número médio/elevado de utilizadores, e que se adaptem facilmente às diferentes e dinâmicas exigências dos seus utilizadores e respectivas comunidades, e que adicionalmente também possibilitem o paradigma de interacção homem-máquina indirecta.

Argumenta-se ao longo deste livro que o paradigma de agentes de software é adequado para a concepção e construção de aplicações para ambientes/comunidades de média/ grande dimensão e com um nível de coesão médio ou fraco.

A noção aqui expressa de aplicação baseada em agentes é inovadora, pois não corresponde à noção tradicional de aplicação que é gerida por determinada pessoa ou organização. Em vez dessa visão, esta classe de aplicações é melhor entendida como,

- Uma teia de agentes, em que tipicamente cada agente corresponde a uma mini-aplicação.
- Possuída e gerida por um número dinâmico de entidades com diferentes objectivos e atitudes (possivelmente em conflito).
- Encontrando-se distribuída por distintos locais computacionais (tais como PC, computadores de grande porte, ou telefones móveis).

A noção de aplicações baseadas em agentes pode ser, por conseguinte, entendida como uma “aplicação virtual” à imagem do que acontece com as conhecidas aplicações hipermédia baseadas na Web, em que por vezes se perde a noção de onde começa e acaba a aplicação e em que não se define precisamente quais são os promotores e os gestores das referidas aplicações. Todavia e embora uma aplicação baseada em agentes possa ser “aparentemente” virtual e desorganizada, tem de ser necessariamente promo-vida e mantida por um núcleo principal de uma ou mais organizações que se tornam simultaneamente os motores e os responsáveis pelas funcionalidades nela existentes.

As aplicações baseadas em agentes tratadas neste livro apresentam um número de características e de requisitos que têm sido abordados no passado de forma

independente. É na sua combinação e integração que se colocam os maiores problemas e os novos desafios. Entre outros objectivos destacam-se os seguintes:

- **Autonomia:** Cada utilizador deve poder criar e manter os seus próprios agentes, usando os seus próprios recursos, e/ou os recursos de outros.
- **Heterogeneidade:** Deverá ser suportada uma gama variável de plataformas computacionais e de sistemas afins, designadamente: arquitecturas de computadores, sistemas de bases de dados, protocolos de comunicações, e sistemas operativos.
- **Abertura:** De forma que os agentes possam interactuar com outros agentes e/ou aplicações tradicionais, mesmo de organizações externas, deverão existir mecanismos normalizados de comunicação entre agentes e entre agentes e aplicações tradicionais.
- **Distribuição:** As aplicações baseadas em agentes preconizadas são essencialmente distribuídas. A plataforma comunicacional de suporte é a Internet, o que pressupõe que os agentes existem em diferentes locais de execução à escala global. Por outro lado, máquinas e utilizadores encontram-se também eles geograficamente distribuídos.
- **Dinamismo:** De forma a suportar a introdução, alteração e remoção de agentes em qualquer momento que o seu utilizador o desejar. O aparecimento ou desaparecimento de um agente deverá ser uma situação normal no sistema, não exigindo procedimentos particulares (e.g., reinicializar o sistema operativo).
- **Robustez:** Em parte devido ao dinamismo referido no objectivo anterior, e também devido à inactividade da infraestrutura de suporte, os agentes deverão sobreviver a serviços indisponíveis, ao aparecimento de novas versões de serviços, ligações temporariamente desactivas, e outras dificuldades similares. Por exemplo, um agente não pode abortar a sua execução ou deixar de se executar apenas porque um determinado servidor se encontra temporariamente desactivado.
- **Segurança:** Dependendo das características e estratégias das diferentes aplicações, deverão ser suportados diferentes níveis e mecanismos de segurança. Nomeadamente em aplicações de comércio electrónico a segurança deverá ser um requisito fundamental. Deverão ser assegurados mecanismos de controlo de acessos flexíveis de forma a suportarem-se diferentes níveis de exigência de distintas aplicações específicas.

O contexto computacional e comunicacional subjacente ao conteúdo do livro é nitidamente a Internet. Todavia, aplicações para contextos internos de grandes organizações e/ou contextos restritos de um número limitado de organizações poderão também beneficiar com o modelo e as contribuições apresentadas e discutidas ao longo deste texto.

1.4 Organização do Livro

O livro encontra-se organizada em oito capítulos e três apêndices conforme se resume de seguida.

No Capítulo 2 (“A Internet: Uma Visão Tecnológica”) faz-se uma análise crítica da evolução histórica, motivações e tecnologia envolvida nas redes de computadores à escala mundial e as suas inter-relações com os sistemas de informação. Faz-se uma síntese da história, do funcionamento e da arquitectura da Internet, e uma descrição sumária dos seus principais serviços. Pela sua importância para o crescimento e popularização da Internet, dá-se um ênfase especial ao serviço Web, designadamente descreve-se a sua motivação, evolução histórica, e tecnologia envolvida. Por fim, é dado uma referência particular ao sistema Java atendendo à sua particular importância relativamente à construção de agentes de software para a Internet.

No Capítulo 3 (“Sistemas de Informação Distribuídos”) define-se “sistema de informação” e as suas componentes fundamentais. Por ser um conceito extremamente abrangente e envolver conseqüentemente diferentes áreas tecnológicas e científicas, focaliza-se a apresentação nos principais modelos de funcionamento e tecnologias. Referem-se os principais paradigmas de comunicação dos sistemas de informação distribuídos, bem como as principais abordagens tecnológicas existentes. Por fim, faz-se uma análise exaustiva das aproximações de sistemas de informação existentes na, e para a, Web.

No Capítulo 4 (“Agentes de Software para a Internet”) esclarece-se o que são agentes de software através da apresentação e discussão de várias definições e tipificações propostas. Em particular, é apresentada a definição do autor para agente de software, é proposta uma classificação de agentes e são referidos exemplos ilustrativos. Por fim, apresenta-se a visão das futuras aplicações para a Internet baseadas em agentes.

No Capítulo 5 (“Modelo de Referência de Sistemas de Agentes”) apresenta-se um modelo de referência genérico de infraestruturas de agentes que permita: por um lado, classificar, comparar e avaliar com rigor as principais características de sistemas de agentes emergentes; e por outro lado, introduzir os principais conceitos e a arquitectura genérica de suporte, de desenvolvimento e de gestão de aplicações dinâmicas e distribuídas.

No Capítulo 6 (“A Infraestrutura AgentSpace”) introduz-se a infraestrutura AgentSpace descrevendo-se de forma geral a sua arquitectura, o respectivo modelo de objectos, os seus objectivos. Por fim, apresenta-se o AgentSpace segundo a perspectiva do utilizador final. Para tal definem-se perfis principais de utilização e com base nestes apresentam-se as principais operações providenciadas.

No Capítulo 7 (“Análise de Sistemas de Agentes”) apresenta-se basicamente duas partes com objectivos complementares de avaliação. Por um lado, é realizada uma avaliação genérica das características do AgentSpace em comparação com outros

projectos de investigação. Por outro lado, através do desenvolvimento de uma ABA sobre os sistemas Aglets e AgentSpace, avaliar as suas características gerais de programação e analisar alguns resultados de desempenho relativo.

No Capítulo 8 (“Conclusão”) faz-se uma análise global do trabalho realizado tendo por base a hipótese originalmente estabelecida. Discute-se os principais benefícios, expectativas, limitações e desafios que o paradigma/tecnologia dos agentes de software suscita no âmbito das futuras aplicação para a Internet.

No Apêndice A (“Guia de Recursos Electrónicos sobre Agentes”) apresentam-se de modo classificado e comentado um conjunto significativo de recursos electrónicos sobre o tema abordado neste livro.

No Apêndice B (“Glossário, Siglas e Abreviaturas”) apresentam-se três tabelas com informação de, respectivamente: o glossário, as siglas, e as abreviaturas adoptadas ao longo de todo o livro. Não se pretende apresentar um glossário de inglês-português completo e exaustivo (para tal consulte-se, por exemplo, a referência <http://bruxelas.inesc.pt/~alb/gtti.html>, mantida actualmente pelo autor do livro, e a qual é o resultado de um esforço colectivo de alguns investigadores portugueses), mas tão só identificar a conversão inglês-português dos termos técnicos mais usados ao longo deste texto.

Em “Referências” listam-se, por ordem alfabética todas as referências bibliográficas utilizadas ao longo do livro. Em algumas referências apresentam-se endereços electrónicos (i.e., URL); nestes casos a data de referência associa a data da consulta realizada.

Por fim, apresenta-se o “Índice Remissivo” dos principais aspectos abordados.

1.5 Notações Adoptadas

Ao longo do livro são adoptadas genericamente as seguintes regras de notação textual:

- Nomes e expressões em inglês são escritas em *itálico*. As excepções são expressões vulgarmente adoptadas para o Português (e.g., software, bit), expressões intensa-mente usadas ao longo do texto (e.g., Internet, Web, applet), ou nomes de produtos de origem anglo-saxónica (e.g., MS-Word, Firefly).
- Frases e expressões que se pretendam destacar são escritas com ênfase (i.e., **negrito**).
- Exemplos de código, pseudocódigo, nomes de classes, ou endereços electrónicos são apresentados numa fonte de tamanho fixo (i.e., **Courier**).

Relativamente à representação de diagramas será utilizada, sempre que for adequado, a linguagem UML (*Unified Modeling Language*) [Rat97, EP97], em particular os seus diagramas de classes, de objectos, de colaboração, de casos de utilização, e de estado.

Capítulo 2

2 A Internet: Uma Visão Tecnológica

Neste capítulo faz-se uma análise crítica da evolução histórica, motivações e tecnologia envolvida nas redes de redes de computadores à escala mundial e as suas inter-relações com os sistemas de informação. Faz-se uma síntese da história, do funcionamento e da arquitectura da Internet, e uma descrição sumária dos seus principais serviços. Pela sua importância para o crescimento e popularização da Internet, dá-se um ênfase especial ao serviço Web, designadamente descreve-se a sua motivação, evolução histórica, e tecnologia envolvida. Por fim, é dado uma referência particular ao sistema Java atendendo à sua particular importância relativamente aos trabalhos experimentais realizados no contexto do livro.

2.1 A Internet

A Internet, uma rede de redes de computadores à escala mundial, interliga actualmente, segundo dados compilados pela Nua e pela Network Wizards cerca de 30 milhões de máquinas (*hosts*) [NW98] e um número estimado de cerca 120 milhões de utilizadores [Nua98]. Este número é estimado por algumas entidades que supõem uma média de quatro utilizadores por máquina (endereço). Não se conhece qualquer processo mais credível de quantificação do número de utilizadores na Internet, que não seja o método de estimativas, quer associado ao número de máquinas ligadas, quer ao tráfego de informação existente na rede. A Internet tem apresentado nos últimos anos ritmos de crescimento elevados, sendo expectável que esse crescimento se acentue nos anos mais próximos, nomeadamente na Europa, na sequência da liberalização prevista, ou já em curso, do sector das telecomunicações.

O grande sucesso da Internet deve-se a dois factores decisivos. Por um lado, a vertente tecnológica que se encontra razoavelmente estável e madura assente segundo (1) um conjunto de protocolos de comunicação adequados a redes heterogéneas; (2) mecanismos de atribuição e gestão de endereços e de nomes hierarquicamente descentralizado; e (3) um conjunto alargado de aplicações baseadas no paradigma cliente/servidor. Por outro lado, a vertente política e de gestão, ou seja, pelo facto da Internet ser uma rede aberta e democrática em que a sua propriedade, gestão e responsabilidade encontra-se distribuída entre diferentes países, instituições, empresas e grupos de indivíduos.

Nesta secção apresenta-se uma visão resumida da Internet segundo três vectores: a visão histórica e actual enquadramento; o seu modo de funcionamento; e os seus serviços básicos. Outro tipo de análise e discussão da Internet sai fora do âmbito deste trabalho. Em [Har96, Wir98] são apresentados temas que abordam outros aspectos, nomeadamente as relações da Internet com a política, economia, educação, direito, e comunicação social.

2.1.1 História

A Internet encontra as suas raízes mais longínquas nos Estados Unidos (EU) no período da “Guerra Fria” [Sal95]. Em 1957 foi criado pelo Departamento de Defesa americano (DoD), em resposta ao programa Sputnik da então URSS, a ARPA (*Advanced Research Projects Agency*). Em 1969, o DoD promoveu a criação de um sistema de comunicações que permitisse interligar os computadores dos principais centros da ARPA. Surgiu deste modo a ARPAnet, uma rede de computadores que deveria funcionar com quebra parcial de troços da rede, como prevenção de ataques de longa escala, tal como os nucleares. A ARPAnet baseava-se no protocolo NCP (*Network Control Protocol*) e providenciava serviços básicos, tais como a execução remota de sessões e transferência de ficheiros.

A Figura 2.1 apresenta de forma esquemática a evolução histórica da Internet ao longo de quase três décadas de existência, com evidência para as diferentes entidades que dominaram ou influenciaram o seu crescimento e a sua existência.

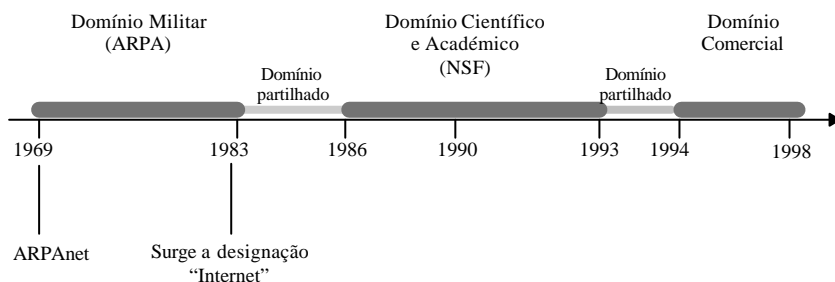


Figura 2.1: Evolução histórica da Internet.

Entre 1974 e 1978, Vincent Cerf e Bob Kahn conceberam um novo protocolo de comunicação, designado por TCP/IP (*Transmission Control Protocol / Internet Protocol*) que viria a ser o standard dos protocolos de comunicações da Internet até aos nossos dias. Todavia, somente a 1 de Janeiro de 1983, a ARPAnet mudou oficialmente o seu conjunto de protocolos, de NCP para TCP/IP. Nessa data assinalou-se a sua interligação efectiva com outras redes que entretanto tinham surgido e a designação “**Internet**” começou a ser efectivamente referida. A inclusão, ainda em 1983, dos protocolos TCP/IP no sistema Unix de Berkeley, com a sua subsequente

adopção nos meios académicos e industriais contribuíram decisivamente para o início da sua utilização nos meios não militares.

Em 1986, a NSF (*National Science Foundation*) dos EUA, promoveu a criação da rede NSFnet, de modo a fornecer a principal estrutura (*backbone*) de comunicações da Internet.

Em 1992/93 face ao crescimento entretanto notório da Internet, a NSF promoveu a criação de um conjunto de organizações que permitissem uma melhor gestão e coordenação da Internet. Em 1992 foi fundada a ISOC (*Internet Society*) com o objectivo de coordenar e supervisionar todos os esforços e desenvolvimentos respeitantes com a Internet. Sob a supervisão da ISOC foram criadas algumas estruturas específicas. Por exemplo IAB (*Internet Architecture Board*) é responsável pela coordenação técnica de diversas subcomissões e pela aprovação de novos standards. A IETF (*Internet Engineering Task Force*) é responsável pelo desenvolvimento de novos standards e pela sua recomendação à aprovação do IAB. A IANA (*Internet Assigned Numbers Authority*) é responsável pela distribuição de endereços da Internet. No entanto, em 1993, foi criado o InterNIC como organismo isento e responsável pela gestão e atribuição de endereços Internet à escala internacional e nos diferentes domínios mantidos nos EU. Paralelamente foram atribuídas responsabilidades idênticas a organismos similares no contexto continental e nacional. Por exemplo, na Europa a entidade responsável pela gestão de endereços é o RIPE (*Réseaux IP Européens*), e em Portugal a FCCN (Fundação para o Cálculo Científico Nacional).

Em 1994 a NSF, sujeita às pressões dos grandes grupos económicos que começavam a utilizar a Internet, levanta as restrições da utilização do tráfego comercial sobre os troços da NSFnet. Esta termina oficialmente as suas funções em 1995, sendo substituída por operadores privados.

No final de 1995 e durante 1996, projectos de grandes redes proprietárias de computadores como a American OnLine, Compuserve, ou a Microsoft Network abandonaram ou alteraram estratégias face ao crescente sucesso da Internet. Esta tornou-se a infraestrutura *de facto* para o suporte das referidas Auto-Estradas de Informação do futuro.

Actualmente a Internet é mantida e dinamizada principalmente por empresas e grupos económicos de telecomunicações, de software, de entretenimento e comunicação, mas também pelos Estados da generalidade dos países existentes.

2.1.2 Arquitectura e Tecnologia

A Internet é uma rede que engloba dezenas de milhares de outras redes de computado-res, algumas das quais à escala mundial. A sua gestão, propriedade, responsabilidade e funcionamento encontra-se organizada de forma descentralizada

hierarquicamente segundo áreas geográficas (e.g., a nível internacional, nacional ou regional), e níveis de investimento realizado.

Por exemplo, os Estados e empresas que investem na infraestrutura básica de comunicações (redes de fibra óptica, satélites, etc.); as empresas que investem no serviço de acesso (em computadores, *routers*, formação, publicidade, etc.); ou ainda as empresas e indivíduos em geral. Todos estes intervenientes são, a diferentes níveis, os verdadeiros gestores, donos, e responsáveis da, e pela, Internet.

A tecnologia subjacente da Internet tem de possuir mecanismos de modo a suportar a sua gestão e funcionamento com as características referidas. Essencialmente esses mecanismos agregam-se segundo três componentes básicas (1) um protocolo de comunicação que se adapte e suporte ambientes computacionais heterogéneos; (2) uma forma de gerir, atribuir e referenciar recursos de forma descentralizada e dinâmica; e (3) suporte a serviços básicos de comunicação e de interacção entre uma comunidade dinâmica de utilizadores.

Protocolos de Comunicação

A Internet é uma rede comutada de pacotes suportada pela pilha de protocolos TCP/IP [Com88]. Recorrendo ao modelo de referência OSI [ISO94] da ISO, temos o protocolo IP no nível rede, e o protocolo TCP no nível transporte.

O IP é um protocolo de comunicação sem conexão que providencia transmissão de pacotes isolados. Cada pacote é encapsulado por um envelope com um endereço único do remetente e do destinatário e percorre um número (não conhecido à priori) de percursos, desde a origem até ao destino, passando por um conjunto de máquinas intermédias designadas, neste contexto, por encaminhadores (*routers*). Cada encaminhador mantém dinamicamente uma visão o mais real possível do estado da rede na sua vizinhança (tabelas de encaminhamento). Com base nesse estado e no endereço de destino, re-encaminha cada pacote para a máquina adjacente mais adequada, e assim sucessivamente até o pacote chegar ao seu destino.

O TCP, usando os serviços providenciados pelo IP, providencia sessões de comunicação orientadas à conexão, sendo conseqüentemente responsável pela fragmentação dos dados originais em pacotes e na sua correcta transmissão. O TCP providencia nomeadamente os seguintes mecanismos: controlo de fluxo de modo a prevenir pacotes perdidos; reconhecimento de chegada de pacotes; sequenciamento de pacotes; garantia da integridade de pacotes; e retransmissão de pacotes corruptos ou que não tenham chegado em tempo útil.

O TCP cria a noção de linha virtual dedicada entre as máquinas envolvidas numa interacção. Com a noção de porto de contacto introduz-se a noção de linha virtual dedicada entre aplicações de um serviço comum. Por exemplo, os clientes do serviço de execução remota de sessões ligam-se a um porto previamente conhecido de determinada máquina de forma a contactarem o servidor correspondente desse serviço. Qualquer servidor encontra-se sempre à escuta num porto bem determinado. Um *socket* corresponde a um ponto de comunicação ao nível aplicacional, ou seja,

corresponde à informação conjunta do endereço de determinada máquina com a informação do porto, nessa máquina, onde determinada aplicação estabelece uma comunicação (quer provi-denciando, quer solicitando um serviço). Na Tabela 2.1 apresentam-se os portos por omissão associados aos servidores dos serviços básicos da Internet.

Gestão de Endereços

Cada máquina (*host*) ligada à Internet pode ser referenciada, como origem ou destino de qualquer pacote IP. Como tal, tem de ter um endereço único e determinado, ao qual se designa endereço IP. Actualmente os endereços consistem em números de 32 bits divididos em quatro octetos. A futura versão do IP (IPv6 ou IPng [Hin96]) permitirá aumentar a capacidade de encaminhamento e de endereçamento com endereços de 128 bits. Exemplos de endereços IP são: 12.0.0.0, 146.193.0.171 ou 194.65.3.0. Os endereços tem duas componentes complementares (1) a componente que endereça a rede (e.g., 146.193.0 para a rede IP da organização INESC); e (2) a componente, que relativamente à referida rede, endereça uma máquina em particular (e.g., 171 para a máquina *cupido* da organização INESC).

O facto dos endereços IP serem valores numéricos relativamente grandes, torna difícil a sua memorização e manipulação por parte dos seres humanos. Em consequência, e de modo a facilitar a gestão dos endereços, foi criado um serviço de suporte a nomes lógicos e respectiva conversão para endereços numéricos: o DNS (*Domain Name System*) [Alb+92].

O DNS é um sistema de gestão de espaço de nomes, que tal como a Internet, é descentralizado hierarquicamente. Cada nível da hierarquia corresponde a um domínio, o qual corresponde a algum nível de estruturação de recursos computacionais. Os domínios de primeiro nível (os domínios mais gerais) são representados fora dos EUA pelos dois caracteres da nomenclatura ISO 3166 da identificação de países (e.g., *pt*, *es*, *uk*); e nos EUA pelas agregações originais existentes: *com* (empresas), *edu* (educação e universidades), *gov* (organismos governamentais), *mil* (organismos militares), *org* (organismos não comerciais), e *net* (organismos responsáveis pela gestão e coordenação da Internet). Os domínios de segundo nível são representados pelos nomes (ou siglas) de empresas e instituições (e.g., *ist.pt*, *ibm.com*). Os domínios dos níveis seguintes são da responsabilidade das organizações de segundo nível e retratam tanto quanto possível alguma forma de estruturação interna. A representação de endereços lógicos de recursos computacionais da Internet é por conseguinte, constituída por uma sucessão de nomes lógicos de domínios e de máquinas, em que os endereços mais gerais encontram-se mais à direita. Por exemplo, o endereço lógico da máquina *cupido* é *cupido.inesc.pt*.

Modelo de Suporte aos Serviços

Muitos serviços existentes na Internet adoptaram o modelo cliente/servidor (vid. Capítulo 3), pelo facto de ser adequado para aplicações em ambientes distribuídos e hetero-

géneos. Esses serviços são constituídos genericamente por dois programas complementares e designados cliente e servidor, conforme ilustrado na Figura 2.2.

O cliente e o servidor comunicam entre si segundo um protocolo conhecido e específico ao serviço que ambos implementam. O cliente providencia um interface com o utilizador e é responsável pelo estabelecimento de conexões com um ou mais servidores.

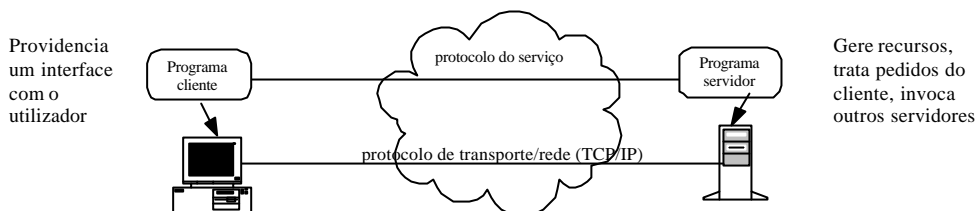


Figura 2.2: Modelo cliente/servidor aplicado aos serviços da Internet.

Por outro lado, o servidor gere recursos (e.g., ficheiros, bases de dados, caixas de correio), recebe e trata pedidos dos programas clientes, e eventualmente ainda comunica com outros servidores.

2.1.3 Serviços Básicos

Como foi dito anteriormente, a generalidade dos serviços existentes na Internet baseiam-se no modelo cliente/servidor. Apresentam-se de seguida os serviços tradicionalmente mais usados na Internet.

Execução Remota de Sessões

A execução remota de sessões permite que um utilizador se ligue a uma outra máquina (à qual tenha permissões de acesso) de modo a poder executar nessa máquina uma sessão regular de trabalho (tais como: editar ficheiros, compilar programas, invocar quaisquer programas existentes nessa máquina). Existem duas concretizações básicas deste tipo de serviço: o serviço *Telnet* que providencia um interface do tipo terminal; e o serviço *X-Windows* [OQ88] que providencia funcionalidades adicionais suportadas por um interface gráfico.

Transferência de Ficheiros

O serviço de transferência de ficheiros, suportado pelo protocolo FTP (*File Transfer Protocol*) [PR85], permite a transferência de ficheiros entre máquinas distintas, em ambos os sentidos, i.e., da máquina do servidor para a máquina do cliente (*download*) e inversamente, da máquina do cliente para a máquina do servidor (*post* ou *upload*). Existem duas variantes ao serviço FTP: anónimo (não é exigido uma conta e palavra-

-chave na máquina do servidor) e identificado (é exigido uma conta e respectiva palavra-chave). A generalidade dos servidores públicos são operados por servidores FTP anónimos.

Até ao início de 1995, o tráfego derivado do serviço FTP era o maior de todos os restantes serviços existentes (com cerca de um terço do tráfego total), sendo entretanto ultrapassado pelo tráfego derivado do serviço Web.

Correio Electrónico

O serviço de correio electrónico (*E-Mail*) permite o envio e recepção assíncrona de mensagens entre dois utilizadores ou mais. Os utilizadores podem encontrar-se não apenas ligados à Internet, mas também, e através de conversores especializados (*gateways*), em outras redes como a BITNET ou a UUCP. As mensagens recebidas são mantidas em recursos especiais, conhecidos por caixas de correio, geridos e mantidos por cada utilizador individualmente e pelo servidor de E-Mail.

Contrariamente aos dois serviços anteriormente referidos, o E-Mail não é um serviço baseado no modelo cliente/servidor, mas sim baseado no modelo assíncrono de armazenamento e reenvio (*store and forward*). As mensagens são transmitidas de um servidor de E-Mail para outro servidor, e assim sucessivamente até chegar ao servidor de E-Mail do destinatário correspondente. O protocolo tradicional entre servidores de e-mail é o SMTP (*Simple Mail Transfer Protocol*) [Pos82], e POP (*Post Office Protocol*) [MR94] um dos mais usuais protocolos entre o cliente e o servidor de e-mail.

Com a especificação MIME (*Multipurpose Internet Mail Extensions*) [BF92] tornou-se possível a definição e transferência de mensagens de correio electrónico relativamente complexas, designadamente com inclusão de ficheiros e outros objectos multimédia. MIME é um sistema extensível de tipificação de informação, suportada por uma lista standard de tipos e sub-tipos de documentos (e.g., `text/plain`, `text/html`, `video/mpeg`).

Grupos de Notícias

O serviço mais conhecido de discussão e partilha de notícias em grupo da Internet designa-se por *News*. Este serviço permite a criação, subscrição, abandono de grupos de notícias, a consulta e leitura de mensagens e o envio de novas, ou comentários a anteriores mensagens.

O serviço de News baseia-se num conjunto de grupos designados por grupos de notícias (*newsgroups*), os quais se encontram organizados hierarquicamente em áreas gerais, e estas em sub-áreas e assim sucessivamente (e.g., `comp.lang.pascal`, `inesc.geral`, `pt.mercado`).