

Engenharia de Redes Informáticas

Edmundo Monteiro

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Informática da FCTUC

Fernando Boavida

Professor Associado do Departamento de Engenharia Informática da FCTUC

Para a ficha técnica (FCA)

À Teresa.
Edmundo Monteiro

À Maria João.
Fernando Boavida

À memória do José Guilherme

Agradecimentos

Para este livro contribuíram, de alguma forma, várias pessoas e instituições, a quem desejamos expressar os nossos agradecimentos pelas contribuições e pelo incentivo. Destas destacam-se os nossos colegas do Laboratório de Comunicações e Telemática do Centro de Informática e Sistemas da Universidade de Coimbra (LCT-CISUC), dos quais referimos, em particular, o Gonçalo Quadros e o Paulo Simões.

Também gostaríamos de agradecer às instituições que ao longo de vários anos têm enquadrado a nossa actividade profissional nas suas vertentes de docência universitária (Departamento de Engenharia Informática da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra), de investigação científica (CISUC) e de engenharia (Laboratório de Informática e Sistemas do Instituto Pedro Nunes, LIS-IPN). Nestas instituições, os nossos alunos, os nossos colegas e os nossos colaboradores foram, desde o primeiro instante, determinados no apoio que nos manifestaram. Ao nosso colega Henrique Madeira queremos estender um agradecimento especial, por nos ter proporcionado um primeiro contacto com o editor.

A realização de actividades de engenharia de redes informáticas no âmbito de colaboração entre o LIS-IPN e variadas instituições públicas e privadas está na origem da elaboração deste livro, pelo que gostaríamos de agradecer a todas elas e, em particular, aos ministérios da Justiça e da Saúde.

Pela paciência e arte na elaboração das figuras agradecemos ao Paulo Pires.

Finalmente, gostaríamos de agradecer às nossas famílias pelo apoio, paciência e encorajamento durante os inúmeros dias (Fernando Boavida), noites e fins de semana (Edmundo Monteiro) de trabalho que conduziram à concretização desta obra.

Nota prévia

A procura de profissionais na área das Redes Informáticas tem tido um crescimento acentuado nos últimos anos, tendência essa que, segundo todos os indicadores, se continuará a registar nos próximos tempos. Para além da actividade de investigação na área a nível internacional – ela própria abrangendo muitos milhares de investigadores no mundo inteiro – as actividades de transferência de tecnologia, de desenvolvimento e, de uma maneira geral, de engenharia de Redes Informáticas assumem um papel fundamental na actual sociedade da informação.

Este livro tem por objectivo contribuir para a formação de profissionais competentes, actualizados e de nível internacional na área das Redes Informáticas, sendo dirigido a estudantes de licenciatura e pós graduação de disciplinas nas áreas das Redes de Computadores, Transmissão de Dados e Engenharia de Redes Informáticas. É, também, adequado aos profissionais com responsabilidades nos processos de planeamento, projecto, instalação e administração de redes informáticas em organizações industriais, empresas de serviços ou na administração pública, dado que se encontra elaborado não de uma perspectiva meramente académica, mas sim de uma perspectiva prática, fundamentada por actividade real de engenharia.

Nesta obra pretende-se fornecer uma visão abrangente e completa dos diversos aspectos envolvidos na Engenharia de Redes Informáticas, com particular ênfase nas questões relativas à cablagem, às tecnologias e equipamento, e ao planeamento e projecto. As diversas alternativas são caracterizadas em termos da sua relação custo / benefício, do seu desempenho, da sua divulgação no mercado e da sua capacidade de evolução.

Os diversos capítulos que compõem o livro abordam, sucessivamente, as aplicações telemáticas (aplicações tradicionais e novas aplicações multimédia), as principais arquitecturas protocolares (com ênfase na arquitectura TCP/IP), a cablagem de redes informáticas (normas, componentes, fabricantes, instalação e testes), as tecnologias de comunicação em ambientes LAN, MAN e WAN, a gestão de redes (arquitecturas, plataformas e ferramentas de gestão de redes), a segurança em redes (mecanismos de segurança e *firewalls*), os equipamentos de comunicação (*hubs, switches, routers, etc.*), o planeamento e projecto de redes informáticas e, por fim, alguns exemplos de aplicação.

Ao longo do texto dos diversos capítulos certos termos e expressões aparecem a negrito, como forma de destacar conceitos ou ideias importantes. Para além disso, de forma a auxiliar um posterior aprofundamento das matérias por parte do leitor interessado em adquirir um mais elevado nível de especialização, no final de cada capítulo é apresentada bibliografia relevante.

No final do livro encontra-se uma lista de acrónimos e abreviaturas, bem como um índice remissivo.

Índice geral

AGRADECIMENTOS.....	IV
NOTA PRÉVIA	V
ÍNDICE GERAL.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 REDES INFORMÁTICAS	2
1.1.1 Perspectiva de evolução	2
1.1.2 Classificação	4
1.1.3 COMPONENTES	10
1.2 Actividades de normalização	12
1.2.1 Internacional.....	12
1.2.2 Regional	14
1.2.3 Nacional	14
1.2.4 Sectorial.....	16
1.3 ORGANIZAÇÃO DO PRESENTE TEXTO	17
2. APLICAÇÕES TELEMÁTICAS	21
2.1 INTRODUÇÃO	21
2.2 APLICAÇÕES TELEMÁTICAS TRADICIONAIS	22
2.2.1 Acesso remoto a ficheiros	23
2.2.2 Acesso remoto a sistemas informáticos.....	27
2.2.3 Acesso remoto a recursos	27
2.2.4 Bases de dados distribuídas.....	28
2.2.5 Comunicação entre utilizadores	29
2.2.6 Aplicações de acesso a informação	32
2.2.7 Suporte do funcionamento das redes.....	35
2.3 APLICAÇÕES MULTIMÉDIA	36
2.3.1 Sistemas e aplicações	37
2.3.2 Sistemas de videoconferência	39
2.3.3 Normas para sistemas multimédia.....	41
2.4 NOVAS APLICAÇÕES TELEMÁTICAS.....	44
2.5 NECESSIDADES DAS APLICAÇÕES.....	46
2.6 CONCLUSÃO	55
BIBLIOGRAFIA.....	57
3. ARQUITECTURAS.....	59
3.1 INTRODUÇÃO	59
3.2 MODELO DE REFERÊNCIA OSI	60
3.2.1 Visão geral do modelo de referência OSI	61
3.2.2 Conceitos subjacentes	64

3.3 ARQUITECTURA TCP/IP	70
3.3.1 Breve história da Internet	71
3.3.2 Arquitectura protocolar	73
3.3.3 Endereços IP	81
3.3.4 Resolução de endereços	86
3.3.5 Encaminhamento na Internet.....	87
3.3.6 Protocolos e portos.....	88
3.3.7 Serviço de nomes	90
3.4 ARQUITECTURAS PROPRIETÁRIAS.....	93
3.4.1 <i>Systems Network Architecture (SNA)</i>	94
3.4.2 <i>Digital Network Architecture (DNA)</i>	97
3.4.3 Arquitectura Novell NetWare	100
3.4.4 NetBIOS / NetBEUI.....	103
3.4.5 Arquitectura AppleTalk	105
3.4.6 Outras arquitecturas de comunicação.....	106
3.5 CONCLUSÃO	109
BIBLIOGRAFIA.....	110
4. CABLAGEM.....	111
4.1 INTRODUÇÃO	111
4.2 TOPOLOGIAS DE CABLAGEM	114
4.2.1 Topologia de cablagem e topologia de rede.....	116
4.3 MEIOS FÍSICOS DE TRANSMISSÃO	117
4.3.1 Condutores metálicos	117
4.3.2. Meios de fibra óptica.....	123
4.3.3. Meios sem fios	127
4.3.4 Caracterização dos meios de transmissão.....	131
4.4 CABLAGEM ESTRUTURADA	135
4.4.1 Normalização	136
4.4.2 Estrutura	141
4.4.3 Especificações	146
4.4.4 Dimensionamento.....	149
4.5 COMPONENTES DA CABLAGEM ESTRUTURADA	151
4.5.1 Cabos de cobre	151
4.5.2 Cabos de fibra óptica.....	159
4.5.3 Equipamento de interligação para cabos de cobre	165
4.5.4 Equipamento de interligação para fibra óptica	171
4.5.5 Distribuidores	174
4.5.6 Principais fabricantes	180
4.6 INSTALAÇÃO, TESTE E ADMINISTRAÇÃO	182
4.6.1 Instalação.....	182
4.6.2 Teste e certificação.....	192
4.6.3 Administração	194
4.7 CONCLUSÃO	196
BIBLIOGRAFIA.....	197

5. TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO.....	199
5.1 INTRODUÇÃO	199
5.2 TECNOLOGIAS DE REDES LOCAIS	200
5.2.1 Normalização	201
5.2.2 Controlo do acesso ao meio físico.....	203
5.2.3 <i>Ethernet</i>	205
5.2.4 <i>Token Ring</i>	214
5.2.5 <i>Token Bus</i>	216
5.2.6 FDDI	216
5.2.7 Redes locais sem fios	219
5.3 TECNOLOGIAS DE REDES METROPOLITANAS.....	223
5.3.1 DQDB	224
5.3.2 SMDS	227
5.3.3 Tecnologias de acesso	228
5.4 TECNOLOGIAS DE REDES ALARGADAS	234
5.4.1 Rede telefónica.....	235
5.4.2 Circuitos alugados.....	236
5.4.3 Multiplexagem plesiócrons.....	237
5.4.4 Hierarquia digital síncrona.....	238
5.4.5 X.25.....	243
5.4.6 <i>Frame Relay</i>	244
5.4.7 Rede digital de serviços integrados.....	246
5.5 TECNOLOGIA ATM	248
5.5.1 Características gerais e conceitos básicos	249
5.5.2 Arquitectura protocolar	251
5.5.3 Interfaces com a rede ATM.....	252
5.5.4 Canais virtuais e caminhos virtuais	254
5.5.5 Estabelecimento de ligações.....	256
5.5.6 Serviços ATM.....	258
5.5.7 Gestão de tráfego.....	260
5.5.8 Emulação de LANs	261
5.5.9 IP sobre ATM.....	264
5.5.10 Avaliação da tecnologia ATM	266
5.6 WDM	266
5.7 CONCLUSÃO	271
BIBLIOGRAFIA.....	272
6. GESTÃO DE REDES	273
6.1 INTRODUÇÃO	273
6.2 FUNÇÕES DE GESTÃO	274
6.2.1 Gestão da configuração	275
6.2.2 Gestão de falhas	275
6.2.3 Gestão do desempenho.....	276
6.2.4 Gestão da contabilização.....	277
6.2.5 Gestão da segurança.....	277
6.3 ARQUITECTURAS DE GESTÃO DE REDES.....	277

6.3.1	Arquitetura de gestão OSI	280
6.3.2	Gestão de redes TCP/IP	284
6.3.3	Arquitetura de gestão de redes de telecomunicações	288
6.4	TECNOLOGIAS PARA GESTÃO DE REDES.....	289
6.4.1	SNMP	289
6.4.2	CMIP	294
6.4.3	Interfaces Q3 e Qx da TMN.....	295
6.4.4	Gestão baseada em Java	295
6.5	EQUIPAMENTOS PARA GESTÃO DE REDES	297
6.5.1	Plataformas de gestão.....	298
6.5.2	Aplicações de gestão	306
6.6	CONCLUSÃO	308
	BIBLIOGRAFIA.....	310
7.	SEGURANÇA	311
7.1	INTRODUÇÃO	311
7.1.1	Conceitos básicos	312
7.1.2	Necessidades de segurança.....	315
7.1.3	Nível de segurança	318
7.1.4	Políticas de segurança	320
7.2	ENCRIPTAÇÃO E AUTENTICAÇÃO	322
7.2.1	Criptografia	322
7.2.2	Autenticação.....	328
7.2.3	Gestão de chaves	331
7.3	SEGURANÇA NA COMUNICAÇÃO	334
7.3.1	Segurança no meio físico e na camada física	335
7.3.2	Segurança na camada de ligação de dados	338
7.3.3	Segurança nas camadas de rede e de transporte	341
7.3.4	Segurança na camada de aplicação	351
7.4	FIREWALLS.....	354
7.5	REDES PRIVADAS VIRTUAIS.....	362
7.5.1	O que são e para que servem.....	363
7.5.2	Benefícios da utilização de VPN.....	364
7.5.3	Critérios para escolha de soluções VPN	365
7.5.4	Tipos de soluções para VPN	366
7.5.5	Tecnologias para implementação de VPN	367
7.6	CONCLUSÃO	369
	BIBLIOGRAFIA.....	371
8.	EQUIPAMENTOS	373
8.1	INTRODUÇÃO	373
8.2	EQUIPAMENTO DE INTERLIGAÇÃO DE REDES	374
8.2.1	Repetidores.....	374
8.2.2	Concentradores (<i>hubs</i>)	376
8.2.3	Pontes (<i>bridges</i>)	379

8.2.4 Comutadores (<i>switchs</i>)	385
8.2.5 Encaminhadores (<i>routers</i>)	389
8.3 EQUIPAMENTO DE DIAGNÓSTICO E TESTE	394
8.3.1 Testes de cablagem.....	395
8.3.2 Testes de equipamentos.....	398
8.4 OUTRO EQUIPAMENTO DE REDE	401
8.5 CONCLUSÃO	404
BIBLIOGRAFIA.....	405
9. PLANEAMENTO E PROJECTO	407
9.1 INTRODUÇÃO	407
9.2 METODOLOGIA	409
9.2.1 Decomposição hierárquica	409
9.2.2 Planos de análise	412
9.2.3 Faseamento das actividades	413
9.3 ACTIVIDADE 1: ANÁLISE DE REQUISITOS	419
9.3.1 Definição dos objectivos	420
9.3.2 Levantamento das necessidades	422
9.3.3 Identificação das condicionantes.....	428
9.4 ACTIVIDADE 2: PLANEAMENTO	430
9.4.1 Estabelecimento do modelo de funcionamento.....	430
9.4.2 Definição da arquitectura lógica	434
9.4.3 Critérios para a definição da arquitectura lógica.....	436
9.4.4 Exemplo de definição da arquitectura lógica	440
9.4.5 Caracterização de fluxos individuais.....	443
9.4.6 Caracterização de fluxos agregados	450
9.4.7 Dimensionamento das ligações	451
9.4.8 Exemplo de dimensionamento	456
9.4.9 Outros aspectos do planeamento	461
9.5 ACTIVIDADE 3: PROJECTO	462
9.5.1 Parte 1: Ambiente de projecto	463
9.5.2 Parte 2: Especificações.....	465
9.5.3 Parte 3: Instalação e verificação.....	469
9.5.4 Anexos: Medições, Desenhos e Orçamento.....	472
9.6 ACTIVIDADE 4: ASSISTÊNCIA AO PROJECTO	476
9.7 ACTIVIDADE 5: TESTES E ENSAIOS.....	476
9.8 CONCLUSÕES.....	477
BIBLIOGRAFIA.....	478
10. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO.....	479
10.1 INTRODUÇÃO	479
10.2 EXEMPLO1: EMPRESA DE PEQUENA DIMENSÃO	480
10.2.1 Definição de requisitos.....	480
10.2.2 Planeamento	485
10.2.3 Projecto	487
10.3 EXEMPLO 2: EMPRESA DE GRANDE DIMENSÃO / ÚNICO EDIFÍCIO.....	511

10.3.1 Definição de requisitos.....	512
10.3.2 Projecto	513
10.4 EXEMPLO 3: EMPRESA DE GRANDE DIMENSÃO / VÁRIAS DELEGAÇÕES	522
10.4.1 Descrição geral da infra-estrutura	522
10.4.2 Especificação dos equipamentos	528
10.5 EXEMPLO 4: CAMPUS FABRIL	530
10.5.1 Descrição geral da infra-estrutura	531
10.5.2 Especificação dos materiais e equipamento	535
10.6 CONCLUSÃO	538
LISTA DE ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS	539
ÍNDICE REMISSIVO.....	549

Índice de figuras

Figura 1.1 – Evolução dos débitos de transmissão de algumas tecnologias de rede	3
Figura 1.2 – Cenário de interligação de redes LAN, MAN e WAN	6
Figura 1.3 – Exemplo de <i>intranet</i> ligada à Internet	8
Figura 1.4 – Exemplo de configuração de uma <i>extranet</i>	9
Figura 2.1 – Modelo usado pelo <i>File Transfer Protocol</i>	24
Figura 2.2 – Arquitectura típica de uma aplicação usando o mecanismo de RPC	26
Figura 2.3 – Conceito de base de dados distribuída	28
Figura 2.5 – Configuração típica de uma sala de videoconferência	40
Figura 2.7 – Sequência de imagens MPEG-1	44
Figura 2.8 – Armazenamento temporário e eliminação de <i>jitter</i> em aplicações do tipo <i>playback</i>	49
Figura 2.9 – Caracterização das aplicações em função dos requisitos de débito e variação de atraso	53
Figura 3.1 – Camadas e respectivas funções do modelo OSI	62
Figura 3.2 – Camadas e serviços numa arquitectura estratificada	64
Figura 3.3 – Utilizadores e fornecedores de um serviço	65
Figura 3.4 – Comunicação entre entidades de sistemas distintos	66
Figura 3.5 – Unidades de dados em camadas adjacentes de um mesmo sistema	67
Figura 3.6 – Encapsulamento e desencapsulamento de informação no modelo OSI	68
Figura 3.7 – Evolução do número de computadores ligados à Internet	72
Figura 3.8 – Níveis da arquitectura protocolar TCP/IP	73
Figura 3.9 – Formato de um pacote IP	75
Figura 3.10 – Exemplo de encaminhamento entre dois <i>hosts</i>	76
Figura 3.11 – Formato e alguns tipos de mensagens do protocolo ICMP	77
Figura 3.12 – Formato dos segmentos do protocolo UDP	78
Figura 3.13 – Formato dos segmentos do protocolo TCP	79
Figura 3.14 – Estabelecimento de uma ligação TCP	80
Figura 3.15 – Posicionamento de vários protocolos da arquitectura TCP/IP	81
Figura 3.16 – Classes de endereços IP	82
Figura 3.17 – Principais intervenientes no encaminhamento ao nível IP	88
Figura 3.18 – Ficheiro <i>/etc/protocols</i> num sistema Unix	89
Figura 3.19 – Excerto do ficheiro <i>/etc/services</i> num sistema Unix	89
Figura 3.20 – Espaço de nomeação do DNS	92
Figura 3.21 – Configuração típica de uma rede SNA simples	94
Figura 3.22 – Camadas funcionais da arquitectura SNA	96
Figura 3.23 – Tipos de nós numa rede SNA	97
Figura 3.24 – Níveis funcionais da arquitectura DNA Fase IV	99
Figura 3.25 – Níveis funcionais da arquitectura DNA Fase V	100
Figura 3.26 – Níveis protocolares da arquitectura Novell NetWare	101
Figura 3.27 – Arquitectura protocolar AppleTalk	105
Figura 3.28 – Arquitectura protocolar XNS	107
Figura 4.1 – Topologias utilizadas em sistemas de cablagem	115
Figura 4.2 – Reconfiguração de uma topologia em estrela para bus ou anel	116
Figura 4.3 – Interferências na transmissão diferencial sobre par entrançado	120

Figura 4.4 – Meios de transmissão de condutores metálicos	122
Figura 4.5 – Cabos de fibra óptica.....	124
Figura 4.6 – Efeito da dispersão modal em fibra óptica	126
Figura 4.7 – Meios de comunicação sem fios.....	129
Figura 4.8 – Variação do ACR, NEXT e atenuação com a frequência.....	135
Figura 4.9 – Elementos funcionais e subsistemas de uma cablagem estruturada.....	143
Figura 4.10 – Exemplo de um sistema de cablagem estruturada	144
Figura 4.11 – Arquitectura óptica centralizada.....	145
Figura 4.12 – Interfaces com o sistema de cablagem.....	146
Figura 4.13 – Comprimentos máximos dos cabos em cada subsistema	148
Figura 4.14 – Cabos de fibra óptica <i>tight-buffered</i> e <i>loose-tube</i>	163
Figura 4.15 – Conectores ISO 8877 macho e fêmea.....	168
Figura 4.16 – Tomadas, painéis e chicotes de interligação.....	170
Figura 4.17 – Conectores ST e SC.....	172
Figura 4.18 – Tomada, painel e chicote de fibra óptica.....	174
Figura 4.19 – Distribuidor <i>rack</i> de 19” e respectivo equipamento	179
Figura 4.20 – Zonas técnicas, caminhos de cabos e condutas.....	185
Figura 5.1 – Camadas protocolares e estrutura das PDUs em redes locais.....	201
Figura 5.2 – Colisão numa rede CSMA/CD	203
Figura 5.3 – Passagem de testemunho em redes em anel e em bus	204
Figura 5.4 – Topologia física em árvore de uma rede 10-Base-T.....	206
Figura 5.5 – Configuração em árvore de uma rede 100VG-AnyLAN	213
Figura 5.6 – Funcionamento básico de uma rede <i>Token Ring</i>	215
Figura 5.7 – Anel lógico de passagem de testemunho numa rede em bus	216
Figura 5.8 – Formas de ligação das estações numa rede FDDI e exemplo de reconfiguração.....	217
Figura 5.9 – Camadas funcionais das redes FDDI.....	218
Figura 5.10 – Infra-estrutura WLAN típica	221
Figura 5.11 – Configuração em anel de uma rede DQDB	225
Figura 5.12 – Quadro e slots DQDB.....	225
Figura 5.13 – Configuração típica de uma rede oferecendo o serviço SMDS.....	227
Figura 5.14 – Acesso à Internet através de uma rede de cabo	231
Figura 5.15 – Utilização de fibra óptica numa rede de telecomunicações	232
Figura 5.16 – Utilização de fibras ópticas nas redes de subscritor	233
Figura 5.17 – Comunicação sobre a linha telefónica, usando modems.....	235
Figura 5.18 – Tecnologias SONET/SDH, ATM e serviços	240
Figura 5.19 – Módulo STM-1	242
Figura 5.20 – Construção de um módulo STM-4 a partir de módulos STM-1	242
Figura 5.21 – Níveis protocolares das redes X.25	244
Figura 5.22 – Arquitectura <i>Frame Relay</i> e comparação com X.25.....	245
Figura 5.23 – Elementos da interface de acesso básico	247
Figura 5.24 – Estrutura de uma célula ATM	250
Figura 5.25 – Arquitectura protocolar da B-ISDN.....	251
Figura 5.26 – Configuração típica e interfaces de uma rede ATM	253
Figura 5.27 – Canais virtuais e caminhos virtuais	255
Figura 5.28 – Comutação de VPs e comutação de VCs.....	255
Figura 5.29 – Estabelecimento de um circuito virtual	257
Figura 5.30 – Classes de serviço de utilizador.....	258
Figura 5.31 – Pilha protocolar para emulação de LANs.....	262
Figura 5.32 – Componentes do serviço de emulação de LANs	263
Figura 5.33 – Modelo CLIP.....	264

Figura 5.34 – Canais distintos, sobre a mesma fibra óptica, usando o conceito de WDM	267
Figura 5.35 – Diagrama de blocos de um sistema DWDM.....	268
Figura 5.36 – <i>Add-drop multiplexer</i>	269
Figura 5.37 – Níveis infra-estruturais de uma rede AON WDM	269
Figura 5.38 – Cenário de evolução da utilização de serviços e tecnologias WDM	270
Figura 6.1 – Modelo gestor-agente, tipicamente utilizado nos sistemas de gestão	278
Figura 6.2 – Submodelos de gestão	280
Figura 6.3 – Interações gestor-agente no modelo de gestão OSI	282
Figura 6.4 – Modelo de comunicação da arquitetura de gestão OSI	282
Figura 6.5 – Modelo funcional da arquitetura de gestão OSI.....	284
Figura 6.6 – Modelo genérico de gestão TCP/IP	285
Figura 6.7 – Árvore de registo Internet.....	286
Figura 6.8 – Hierarquia de gestão TMN	290
Figura 6.9 – Operações SNMP	291
Figura 6.10 – Paradigma de gestão RMON	293
Figura 6.11 – Interfaces na hierarquia TMN	296
Figura 6.12 – Enquadramento de gestão baseada em Java	296
Figura 6.13 – Arquitetura funcional das plataformas de gestão de redes	302
Figura 6.14 – Arquitetura de gestão IBM	305
Figura 7.1 – Envio de uma mensagem digitalmente assinada.....	327
Figura 7.2 – Recepção de uma mensagem digitalmente assinada.....	328
Figura 7.3 – Autenticação de um cliente perante um servidor, usando o Kerberos	331
Figura 7.4 – Verificação de um certificado digital	334
Figura 7.5 – Implementação do IPSec nos sistemas terminais.....	346
Figura 7.6 – Implementação do IPSec nos <i>routers</i>	347
Figura 7.7 – Modo de transporte e modo de túnel	348
Figura 7.8 – Arquitectura SSL.....	350
Figura 7.9 – Configuração <i>bastion host</i>	356
Figura 7.10 – <i>Firewall</i> baseado num <i>screening router</i>	357
Figura 7.11 – Arquitectura de acesso baseada num <i>screening router</i> e num <i>firewall</i>	357
Figura 7.12 – Arquitectura de acesso com múltiplas linhas de defesa, para ambiente <i>intranet/extranet</i>	358
Figura 7.13 – Exemplo de VPN suportada na Internet	363
Figura 7.14 – Tecnologias para suporte de VPN nos diversos níveis protocolares.....	368
Figura 8.1 – Segmentos de uma LAN interligados por repetidores	375
Figura 8.2 – Posicionamento funcional dos repetidores face ao modelo OSI.....	375
Figura 8.3 – Utilização de um hub para constituição de uma pequena rede local	377
Figura 8.4 – Configuração típica de uma rede com vários concentradores.....	378
Figura 8.5 – Posicionamento funcional das pontes face ao modelo OSI	379
Figura 8.6 – Diagrama de blocos de uma ponte.....	380
Figura 8.7 – Cenário de interligação de várias LANs, constituindo uma <i>bridged LAN</i>	382
Figura 8.8 – Formato de um quadro com informação de encaminhamento, numa rede <i>Token Ring</i>	385
Figura 8.9 – Várias comunicações simultâneas numa rede <i>Ethernet</i> com um <i>switch</i>	386
Figura 8.10 – Exemplo de configuração de VLANs numa rede local	388
Figura 8.11 – Cenário de interligação de redes de diferentes tecnologias e âmbitos.....	389
Figura 8.12 – Posicionamento funcional dos encaminhadores face ao modelo OSI.....	390
Figura 8.13 – Arquitectura de encaminhamento na Internet	394
Figura 8.14 – Configuração de teste, usando um testador de cablagem em cobre.....	396
Figura 8.15 – Exemplo de resultado de teste de Categoria 5	397

Figura 8.16 – Configuração de teste, usando um testador de fibras ópticas	398
Figura 8.17 – Exemplo de resultado de um teste de uma ligação em fibra óptica	399
Figura 8.18 – Ligação de vários terminais a um servidor remoto, através de um servidor de terminais	402
Figura 8.19 – Exemplo de utilização de um servidor de acesso	403
Figura 9.1 – Decomposição hierárquica de uma rede informática.....	411
Figura 9.2 – As três dimensões de projecto de rede informática	419
Figura 9.3 – Modelo de funcionamento de uma rede informática (exemplo)	433
Figura 9.4 – Arquitectura lógica de uma rede informática (exemplo)	442
Figura 9.5 – Dimensionamento de ligações com agregados de fluxos.....	451
Figura 10.1 – Planta do piso onde se encontra a empresa.....	482
Figura 10.2 – Esquema geral da rede estruturada	507
Figura 10.3 – Esquema geral de interligação do equipamento activo.....	508
Figura 10.4 – Traçados da cablagem e localização das tomadas e bastidor.....	509
Figura 10.5 – Esquema geral da rede estruturada (Exemplo 2)	514
Figura 10.6 – Esquema geral de interligação do equipamento activo de dados (Exemplo 2).....	518
Figura 10.7 – Arquitectura global da rede (Exemplo 3)	523
Figura 10.8 – Rede da sede (Exemplo 3).....	525
Figura 10.9 – Rede das delegações regionais (Exemplo 3).....	526
Figura 10.10 – Rede das delegações locais (Exemplo 3).....	527
Figura 10.11 – Organização do campus fabril (Exemplo 4)	531
Figura 10.12 – Estrutura geral do backbone de campus (Exemplo 4)	532
Figura 10.13 – Traçados do backbone de campus (Exemplo 4)	532
Figura 10.14 – Estrutura das sub-redes das naves fabris (Exemplo 4).....	534
Figura 10.15 – Arquitectura do subsistema de acesso ao exterior (Exemplo 4)	535