

Dominando o IPv6 a partir do IPv4



ITIT

Ademar Felipe Fey
Raul Ricardo Gauer

3ª edição
2016

**ADEMAR FELIPE FEY
RAUL RICARDO GAUER**

**DOMINANDO O IPV6 A PARTIR
DO IPV4**

3ª edição

**Caxias do Sul
Ademar Felipe Fey
2016**

RESUMO:

O protocolo IPv6 surgiu da necessidade de ampliar os endereços lógicos atribuídos às redes e aos dispositivos conectados à Internet. Como sempre ocorre, a troca de um padrão (IPv4) por outro (IPv6) requer tempo para as devidas adaptações e para que se adquiram os conhecimentos necessários para assimilar esse novo padrão. Este livro pretende exatamente facilitar a transição na aquisição de conhecimento de um protocolo para outro. Ou seja, levando em consideração o conhecimento adquirido no IPv4 vai-se destacando as diferenças com o IPv6 e introduzindo os novos conceitos em relação ao mesmo. A exaustão dos endereços IPv4 torna-se uma realidade a cada dia que passa e precisamos nos concentrar no estudo e entendimento do protocolo IP da próxima geração. O livro disponibiliza questões teóricas no final de cada capítulo e um estudo de caso prático no capítulo final. As respostas das questões teóricas e a solução do estudo de caso (com as configurações utilizadas) são disponibilizadas no livro.

Fey, Ademar Felipe. Gauer, Raul Ricardo.

Dominando o IPv6 a partir do IPv4 / Ademar Felipe Fey – 3ª ed. - Caxias do Sul: 2016

ISBN 978-85-919835-7-5

© Ademar Felipe Fey e Raul Ricardo Gauer

Todos os direitos reservados. Proibida a reprodução parcial ou total sem autorização por escrito dos autores

Nota: apesar dos cuidados e revisões, podem ocorrer erros de digitação, ortográficos e dúvidas conceituais. Em qualquer hipótese, solicitamos a comunicação para o e-mail ademar.fey@gmail.com, para que possamos esclarecer ou encaminhar a questão.

Nem o editor nem os autores assumem qualquer responsabilidade por eventuais danos ou perdas a pessoas ou bens, originados do uso desta publicação.

APRESENTAÇÃO

Este e-book foi criado com o objetivo de auxiliar o leitor no aprendizado do novo protocolo IPv6 e facilitar a transição do uso do IPv4 para o IPv6.

O esgotamento dos endereços IPv4 é uma preocupação mundial e a adoção do IPv6 torna-se cada vez mais necessária e crítica.

A partir do conhecimento adquirido no nosso curso on-line sobre IPv6 e de pesquisas realizadas sobre esse protocolo surgiu este livro que esperamos possa auxiliar todos os profissionais de TI a superarem as dificuldades de entendimento do IPv6 e facilitar a transição da sua adoção nas organizações.

Como é previsível, o IPv4 terá um longo período de vida pela frente, coexistindo com o IPv6. Por isso o livro parte do estudo do IPv4 e avança para o estudo do IPv6. Em outras palavras o conhecimento dos dois protocolos torna-se fundamental para o profissional da área de TI.

Sugestões, críticas e pedidos de informações podem ser enviados para o e-mail ademar.fey@gmail.com.

PREFÁCIO DA 2ª EDIÇÃO

Na 2ª edição foram realizadas as seguintes melhorias:

- Revisão total do texto;
- Atualizações em diversos capítulos;
- Inclusão de exercícios que consideramos relevantes ao final dos capítulos teóricos, objetivando consolidar os conceitos vistos em cada um deles;
- Inclusão do capítulo 10 com detalhamento completo de configurações IPv6 mais usuais.

PREFÁCIO DA 3ª EDIÇÃO

Na 3ª edição foram realizadas as seguintes melhorias:

- Revisão total do texto;
- Atualizações em diversos capítulos;
- Inclusão do capítulo 11 com conceitos matemáticos sobre conversão de bases numéricas, combinação de números binários e outros conceitos matemáticos fundamentais para conhecer o IPv6 em maiores detalhes.

As respostas das questões teóricas estão disponíveis no Anexo A deste livro e os arquivos de configurações sobre o IPv6 do capítulo final podem ser baixados acessando o link abaixo e realizando o download do material complementar a este livro

<https://drive.google.com/file/d/16lBgvKzGvzMxhqyWJ0v2kCphgoUwF3mi/view?usp=sharing>

AVISOS

Esta publicação pode conter imprecisões ortográficas e técnicas ou erros tipográficos. Periodicamente são feitas alterações nas informações aqui contidas; essas alterações serão incorporadas em novas edições da publicação. Os autores podem fazer melhorias e/ou alterações nesta publicação a qualquer momento sem aviso prévio.

As informações contidas nesta publicação são de caráter informativo e introdutório, sendo da responsabilidade do leitor buscar aprofundamento no assunto se desejar aplicar os conhecimentos descritos nesta publicação numa situação prática, na área de sua atuação profissional.

A reprodução parcial ou completa é proibida sem autorização escrita dos autores.

CONSIDERAÇÕES INICIAIS.

Partimos do princípio que o conhecimento do IPv4 é útil para entendermos o IPv6. Esse conhecimento prévio facilita o estudo do protocolo de nova geração da Internet.

Ambos trabalham na camada de rede do modelo TCP/IP e ambos coexistirão por um bom tempo.

Nesse sentido, iniciamos o livro com o Capítulo 1 explicando rapidamente o que é o TCP/IP, com uma breve referência também ao modelo OSI de protocolos de interconexão.

No Capítulo 2 explicamos o que é o protocolo IP e a camada de rede do modelo TCP/IP, onde o IP está inserido.

Caso você tenha domínio pleno desses conhecimentos, pule o Capítulo 1 e 2, e inicie no Capítulo 3 deste livro.

Caso não tenha segurança plena desses conhecimentos ou necessite de uma revisão desses conceitos deve seguir estudando o Capítulo 1 e depois o Capítulo 2.

O Capítulo 3 trata da introdução ao protocolo IPv6, da motivação para o seu surgimento e de suas características principais.

No Capítulo 4 inserimos o estudo do cabeçalho do IPv6, diferenças e semelhanças com o IPv4, novas facilidades e conceitos relacionados.

Já no Capítulo 5, tratamos do endereçamento do IPv6, motivação principal para seu surgimento, suas particularidades em relação ao IPv4, novo formato e regras de alocação.

No Capítulo 6, estudamos o roteamento no IPv6, função principal deste protocolo no envio dos pacotes da origem ao destino. Estudaremos os principais protocolos de roteamento dinâmico e também o roteamento estático.

O estudo dos Serviços Básicos é visto no Capítulo 7, onde a presença do protocolo ICMPv6 e a grande variedade de serviços por ele prestados serão abordadas.

No Capítulo 8 tratamos da Mobilidade e Segurança no IPv6, assuntos onde o novo protocolo se diferencia bastante do IPv4 e cujas implementações tornarão o Mundo Internet um pouco mais seguro.

Já no Capítulo 9 inserimos o estudo dos aspectos da coexistência do IPv4 com o IPv6 onde abordaremos as diferentes técnicas que tornam possível a transição entre os dois protocolos, fundamentais na expansão eficiente da Internet.

No capítulo 10 procuramos demonstrar as configurações mais usuais do protocolo IPv6 utilizando exemplos criados no Simulador de redes.

Por último, no Capítulo 11 (que poderíamos chamar de anexo), inserimos uma fundamentação matemática sobre sistemas numéricos, conversão de bases numéricas e cálculo de combinação no sistema binário. Não pretende esgotar o tema, mas sim fornecer informações básicas sobre o assunto e servir de revisão sobre ele. O leitor deve recorrer a esse capítulo quando achar necessário.

O conteúdo deste livro está baseado principalmente em quatro fontes de informação:

- Livro Introdução às Redes de Computadores: modelos OSI e TCP/IP;
- Curso on-line IPv6: teoria e prática;
- Site e material do NIC.br (IPv6.br);
- Site e material do IANA;
- E-book Como Criar Sub-redes em Redes IP de nossa autoria.
- E-book Dominando Sub-redes no IPv4 e no IPv6 de nossa autoria.

O site NIC.br disponibiliza vários documentos para estudo do IPv6 e incentiva sua utilização para disseminação do conhecimento do IPv6 no Brasil. O site do IANA realiza o mesmo trabalho em nível mundial.

Nas referências bibliográficas citamos essas fontes com maiores detalhes.

Procuramos criar este livro da forma mais didática possível e esperamos que ele atinja o objetivo de proporcionar ao leitor um conhecimento sólido sobre o protocolo IPv6.

CONVENÇÕES UTILIZADAS NESTE LIVRO

- Utilizamos a grafia de **sub-rede**, de acordo com a nova ortografia portuguesa.
- Utilizamos a grafia **sub-net** da língua inglesa.
- Em algumas palavras-chave ou termos-chaves usamos e abusamos de artifícios gráficos, tais como, **negrito**, **aspas**, **colorido**, **primeira letra em maiúscula**, **fonte do caractere aumentada**, no intuito de chamar a atenção dos leitores. Pedimos desculpas se elas ferem algumas regras ortográficas.
- O plural de algumas palavras estrangeiras foi feito utilizando a letra “s” logo após essas palavras (como exemplo, a palavra Bits ou a palavra Hosts), sem usar o apóstrofo, portanto.
- As **citações** estão no texto com **números sobrescritos** que remetem à obra citada nas **referências bibliográficas** (exemplificando: conceito¹¹, onde o “11” é o número da referência).
- Utilizamos o artifício de indicar a referência número 10 (¹⁰) para que o leitor possa retirar eventuais dúvidas ou mesmo buscar maiores detalhes da matemática binária no capítulo 6 deste livro.
- Na explanação sobre o endereço IP (composto por 4 octetos ou bytes), consideramos o 1º octeto como sendo o da esquerda (o mais significativo) e o 4º Octeto como sendo o da direita (o menos significativo). Esse 1º octeto também foi considerado como sendo o 1º campo da representação do endereço IP.
- Nos exemplos de conversão binária e cálculos de sub-redes, nos capítulos correspondentes, em algumas situações usamos referenciar a posição dos bits como do 1º ao 8º bit (considerando o 1º bit, o mais da direita, ou seja, o menos significativo) sem levar em consideração a convenção padrão (que nomeia os bits como sendo de bit 0 a bit 7, sendo o bit 0 o de menor peso, ou seja, o mais da direita). Utilizamos esse artifício por consideramos mais didático, conforme o caso específico, mas sempre salientando a metodologia usada.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO AO TCP/IP	20
1.1 INTRODUÇÃO	20
1.2 BÁSICO DO MODELO OSI.....	21
1.3 BÁSICO DO MODELO TC/IP	23
1.4 EXERCÍCIOS	27
CAPÍTULO 2 A CAMADA DE REDE E O PROTOCOLO IPV4.....	28
2.1 INTRODUÇÃO	28
2.2 CONCEITOS BÁSICOS DA CAMADA DE REDE	28
2.2.1 Função	28
2.2.2 Funcionamento.....	28
2.2.3 Protocolos da Camada de Rede	29
2.3 FUNCIONAMENTO DO PROTOCOLO ROTEÁVEL IP	29
2.3.1 O que é o protocolo IP?.....	30
2.3.2 Cabeçalho IP	31
2.3.2.1 Campos do Cabeçalho IP	31
2.3.3 Importância dos Campos do Cabeçalho do Protocolo IP	34
2.3.4 Conversão binária para decimal.....	34
2.3.5 Determinando a Rede de um endereço IP	37
2.3.6 Aplicando a Máscara.....	38
2.3.7 Classes de Endereçamento IP	38
2.3.8 Identificando a Classe de um endereço IP	41
2.3.9 Endereços IP Especiais e Reservados.....	42
2.3.10 Porque da utilização de endereços IPs de Sub-Rede	43
2.4 EXERCÍCIOS	44
CAPÍTULO 3 INTRODUÇÃO AO IPV6.....	46
3.1 INTRODUÇÃO	46
3.2 O QUE VEM A SER O IPV6?.....	46
3.3 MOTIVAÇÃO DA CRIAÇÃO DO IPV6.....	46
3.4 ENTENDA O PORQUÊ DO IPV4 ESTAR SE ESGOTANDO.	49

3.5 RECORDANDO A CONVERSÃO DECIMAL PARA BINÁRIO	53
3.5.1 Revisando o endereçamento IPv4	53
3.6 CONVERSÃO DECIMAL PARA HEXADECIMAL	56
3.7 OUTRAS CONSIDERAÇÕES INICIAIS SOBRE O IPV6	59
3.8 EXERCÍCIOS	59
4.1 INTRODUÇÃO	61
4.2 CABEÇALHOS	61
4.3 CAMPOS DO CABEÇALHO DO IPV6	62
4.3.1 Version (Versão)	62
4.3.2 Tráfego Classe (Classe de Tráfego)	62
4.3.3 Flow Label (Rótulo do Fluxo).....	63
4.3.4 Payload Length (Comprimento dos Dados Úteis)	63
4.3.5 Next Header (Próximo Cabeçalho).....	64
4.3.6 Hop Limit (Limite de Saltos)	64
4.3.7 Source Address (Endereço de Origem) e Destination Address (Endereço de Destino).....	65
4.4 CABEÇALHOS DE EXTENSÃO	65
4.4.1 Cabeçalho tipo zero (0) - Hop-by-Hop Options – RFC 2460	67
4.4.2 Cabeçalho tipo 43 – Routing Options – RFC 2460.....	68
4.4.3 Cabeçalho tipo 44 – Fragmentation Options – RFC 2460.....	68
4.4.3.1 O que é MTU?	68
4.4.3.2 MTU do Caminho, o que vem a ser?.....	68
4.4.3.3 O que é e como é feita a Fragmentação?	68
4.4.3.4 Quais as vantagens da Fragmentação?	69
4.4.3.5 Como é descoberto a MTU do Caminho, ou Path MTU?	71
4.4.4 Cabeçalho tipo 50 – Encapsulating Security Payload – RFC 2406	71
4.4.5 Cabeçalho tipo 51 – Authentication Options – RFC 2402	72
4.4.6 Cabeçalho tipo 60 - Destination Options – RFC 2460.....	72
4.4.7 Cabeçalho tipo 59 – No Next Header – RFC 2460.....	72
4.4.8 Cabeçalho tipo 58 – ICMPv6 – RFC 2463.....	72
4.4.8.1 Mas afinal, o que é Neighbor Discovery?	73
4.5 EXERCÍCIOS	73
CAPÍTULO 5 ENDEREÇAMENTO IPV6	75
5.1 INTRODUÇÃO	75

5.2 ENDEREÇAMENTO IPV6.....	75
5.2.1 Estrutura Hierárquica do Endereçamento IPv6	80
5.3 RECOMENDAÇÕES PARA DESIGNAÇÃO DE ENDEREÇOS IPV6	83
5.4 ENDEREÇAMENTO UNICAST	84
5.4.1 Aggregatable Global Unicast Address.....	85
5.4.2 Interface ID, EUI 64 ou endereço único da interface	87
5.4.3 Link Local Unicast Address	90
5.4.4 Unique Local Address (ULA)	90
5.4.5 Loopback address	92
5.4.6 Unspecified address	93
5.4.7 IPV4-Compatible IPV6 Address	93
5.4.8 Outros endereços IPv6 especiais.....	94
5.5 ENDEREÇAMENTO ANYCAST.....	94
5.5.1 Endereços Anycast Especiais	96
5.6 ENDEREÇAMENTO MULTICAST	97
5.6.1 Gerenciamento de Grupos Multicast	103
5.7 SUB-REDES NO IPV6	104
5.8 MÉTODO PARA FORMAR AS SUB-REDES NO IPV6.....	107
5.9 COMO IDENTIFICAR AS SUB-REDES EM IPV6	110
5.10 EXERCÍCIOS	111
CAPÍTULO 6 ROTEAMENTO NO IPV6	113
6.1 INTRODUÇÃO	113
6.2 FUNDAMENTOS DO PROCESSO DE ROTEAMENTO	113
6.3 TABELA DE ROTAS	115
6.4 PROTOCOLO DE ROTEAMENTO RIPNG OU RIP NEXT GENERATION.....	115
6.4.1 Resumo do RIPng.....	117
6.4.2 Limitações do RIPng	118
6.4.3 Atualização da tabelas de rotas	118
6.4.4 Detalhamento da RTE	118
6.4.4.1 Componentes do RTE (route table entry).....	118
6.5 PROTOCOLO DE ROTEAMENTO OSPF.....	118
6.5.1 OSPFng ou OSPF Next Generation ou ainda, OSPFv3.....	119
6.5.1.1 Procedimento de roteamento no Link (IPv6) versus Sub-rede (IPv4).	119
6.5.1.2 Removida a referência de Endereçamento.	119

6.5.1.3 Escopo dos Fluxos de Dados.....	119
6.5.2 Resumindo o OSPF.	120
6.5.3 Semelhanças entre OSPFv2 e OSPFng	121
6.5.4 Diferenças entre OSPFv2 e OSPFng.....	121
6.6 PROTOCOLO BGP 4 OU BORDER GATEWAY PROTOCOL VERSÃO 4.....	122
6.6.1 Como Funciona o BGP?.....	122
6.6.2 Neighbors e Peers no BGP	122
6.6.3 As Mensagens BGP	123
6.7 RESUMINDO OS PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO	124
6.8 EXERCÍCIOS	124
CAPÍTULO 7 SERVIÇOS BÁSICOS	126
7.1 INTRODUÇÃO	126
7.2 SERVIÇOS BÁSICOS IPV6	126
7.3 ICMPv6.....	126
7.4 MENSAGENS DO ICMPV6.....	127
7.4.1 Mensagens de Erro	127
7.4.2 Mensagens de Informação	127
7.4.3 Detalhamento das Mensagens de Erro	128
7.4.3.1 Destination Unreachable	128
7.4.3.2 Packet Too Big	129
7.4.3.3 Time Exceeded	129
7.4.3.4 Parameter Problem	129
7.5 NEIGHBOR DISCOVERY	130
7.5.1 Router Solicitation	131
7.5.2 Router Advertisement.....	134
7.5.3 Neighbor Solicitation.....	137
7.5.4 Neighbor Advertisement.....	139
7.5.5 Redirect Message	139
7.5.6 Resumo dos Comandos do Neighbor Discovery Protocol.....	141
7.5.6.1 Descoberta de vizinhança	142
7.6 AUTOCONFIGURAÇÃO IPV6	143
7.6.1 Passos para a Autoconfiguração.....	143
7.6.2 Autoconfiguração Stateless.....	145
7.6.3 Autoconfiguração Stateful	145

7.7 FRAGMENTAÇÃO IPV6	145
7.7.1 Cabeçalho de Fragmentação	146
7.8 PATH MTU OU MTU DO CAMINHO.....	146
7.9 IPv6 DNS.....	148
7.9.1 Os Registros importantes do DNS	149
7.9.2 Resolução de Nomes	149
7.9.2.1 Resolução de Nomes utilizando Registros de recursos AAAA.....	149
7.9.2.2 Resolução de Nomes utilizando Registros A6.....	150
7.9.3 Resumindo o DNS para o IPv6	150
7.10 QOS OU QUALITY OF SERVICE	152
7.10.1 Os Campos de QoS no cabeçalho IPv6	153
7.11 DHCPv6	153
7.11.1 Mensagens do DHCPv6	154
7.11.2 Modos de operação do DHCPv6.....	155
7.12 EXERCÍCIOS	155
CAPÍTULO 8 MOBILIDADE E SEGURANÇA NO IPV6	157
8.1 INTRODUÇÃO	157
8.2 MOBILIDADE IP OU MOBILE IP.....	157
8.3 MOBILIDADE SUPOSTADA PELO IPV6.....	158
8.3.1 As Bases da Mobilidade IPv6.....	158
8.3.2 Modos de Nós Correspondentes.....	159
8.3.3 Mobilidade IPv6 comparada com Mobilidade IPv4.....	161
8.3.4 Resumindo sobre mobilidade IP.....	161
8.3.5 Como opera o Proxy para Mobilidade IPv6?	162
8.3.6 Funções do MAG e do LMA	163
8.3.6.1 Mobile Access Gateway (MAG).....	163
8.3.6.2 Local Mobility Anchor (LMA).....	164
8.4 SEGURANÇA NO IPV6.....	165
8.4.1 IP Security Protocol (IPsec).....	166
8.4.2 Layer Two Tunneling Protocol. RFC 2661.....	166
8.4.3 Tornando mais específicas as informações sobre IPsec.....	169
8.4.4 Modos de Operação do Ipsec	169
8.4.4.1 Modo de Transporte	169
8.4.4.2 Modo Túnel (VPN de camada 3).....	169

8.4.5 Recursos do IPSec.....	170
8.4.5.1 Authentication Header (AH).....	170
8.4.5.2 Encapsulating Security Payload (ESP).....	171
8.4.5.3 Internet Key Exchange (IKE)	171
8.4.6 Secure Neighbor Discovery (SEND)	172
8.5 EXERCÍCIOS	173
CAPÍTULO 9 COEXISTÊNCIA DO IPV4 COM O IPV6	175
9.1 INTRODUÇÃO	175
9.2 COEXISTÊNCIA ENTRE IPV4 E IPV6.....	175
9.3 VANTAGENS DO IPV6	175
9.4 FORMAS DE COEXISTÊNCIA ENTRE IPV4 E IPV6	176
9.4.1 Dual Stack ou Pilha Dupla.....	176
9.4.1.1 Características técnicas da Pilha Dupla	177
9.4.2 Tunelamento	177
9.4.2.1 Modos de Tunelamento.....	178
9.4.2.1.1 Modo de Tunelamento de Roteador a Roteador	178
9.4.2.1.2 Modo de Tunelamento de Host a Roteador e de Roteador a Host.....	179
9.4.2.1.3 Modo de Tunelamento de Host a Host.....	180
9.4.2.2 Técnicas de Tunelamento do IPv6 no IPv4	180
9.4.2.2.1 Técnica de Tunelamento 6to4	180
9.4.2.2.2 Técnica de Tunelamento 6to4 Relay	183
9.4.2.2.2.1 Elementos do Tunelamento 6to4.....	184
9.4.2.2.3 Técnica de Tunelamento ISATAP	184
9.4.2.2.4 Técnicas de Tunelamento Brokers.....	186
9.4.2.2.5 Técnicas de Tunelamento GRE	187
9.4.2.2.6 Técnica de Tunelamento TEREDO	187
9.4.2.2.7 Técnica de Tunelamento 6over4 (IPv6-over-IPv4)	190
9.4.2.2.8 Técnica de Tunelamento 6rd.....	190
9.4.2.2.9 Técnica de Encapsulamento 6in4	193
9.4.3 Técnicas Mistas de Pilha Dupla e Tunelamento.....	194
9.4.3.1 Tunelamento Dual Stack Lite (DS-Lite)	194
9.4.3.2 Tunelamento 4rd	196
9.4.4 Tradução	199
9.4.4.1 Técnicas de Tradução	200

9.4.4.1.1 Técnicas IVI, dIVI e dIVI-pd.....	200
9.4.4.1.2 Técnica dIVI e dIVI-pd.....	205
9.4.4.1.3 Técnica NAT64 e DNS64	206
9.4.4.1.4 Técnica 464XLAT	208
9.4.4.1.5 Técnica 6PE e 6VPE	211
9.4.4.1.6 Técnica SIIT	212
9.4.4.1.7 Técnica BIS	212
9.4.4.1.8 Técnica BIA	213
9.4.4.1.9 Técnica TRT	213
9.4.4.1.9.1 Mas afinal o que é DNS-ALG?	213
9.4.4.1.10 Considerações finais sobre mecanismos de transição.....	214
9.5 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	215
9.6 EXERCÍCIOS	215
CAPÍTULO 10 CONFIGURANDO O IPV6.....	217
10.1 INTRODUÇÃO	217
10.2 CONFIGURANDO O IPv6 NO PC WINDOWS XP.....	217
10.3 CONFIGURANDO O IPv6 NO PC WINDOWS 7 ULTIMATE	221
10.4 O IPv6 NA LAN da Matriz.....	223
10.4.1 Comentários sobre o IPv6 na LAN	227
10.5 INTERCONECTANDO REDES LANs COM O IPv6.....	227
10.6 CONECTANDO AS REDES LANs COM A INTERNET VIA IPv6.....	231
10.7 A AUTOCONFIGURAÇÃO NO IPv6	233
10.7.1 Autoconfiguração Stateless.....	233
10.7.2 Autoconfiguração Stateful	235
10.8 CONFIGURANDO ROTEAMENTO NO IPv6	238
10.8.1 Introdução	238
10.8.2 Configurando parâmetros do IPv6.....	239
10.8.2.1 Configurando IPv6 no Router0 da Topologia Rotas Estáticas.....	241
10.8.2.2 Configurando IPv6 no PC0 da LAN A da Topologia Rotas Estáticas	241
10.8.2.3 Configurando IPv6 no Router1 da Topologia Rotas Estáticas.....	242
10.8.2.4 Configurando IPv6 no PC2 da LAN B da Topologia Rotas Estáticas	243
10.8.2.5 Configurando IPv6 no Router2 da Topologia Rotas Estáticas.....	244
10.8.2.6 Configurando IPv6 no Router3 da Topologia Rotas Estáticas.....	245
10.8.3 Configurando Rotas Estáticas no IPv6.....	245

10.8.4 Configurando Rotas Dinâmicas no IPv6.....	248
10.8.4.1 Introdução	248
10.8.4.2 Roteamento dinâmico RIPng.....	248
10.8.4.3 Roteamento dinâmico OSPFng em Área única	251
10.8.4.4 Roteamento dinâmico OSPFng em diferentes Áreas	254
10.8.4.5 Roteamento dinâmico BGP4	258
10.9 CONFIGURANDO TÉCNICAS DE COEXISTÊNCIA ENTRE IPv4/IPv6	264
10.9.1 Introdução	264
10.9.2 Pilha Dupla ou Dual Stack.....	264
10.9.2.1 Configurações do Roteador da Rede A.....	267
10.9.2.2 Configurações do Roteador da Rede B.....	267
10.9.2.3 Topologia Dual Stack com conexão Internet	268
10.9.2.3.1 Configurando Roteador da Rede A	270
10.9.2.3.2 Configurando Roteador da Rede B	271
10.9.4 Topologia Dual Stack e Tunelamento GRE.....	273
10.10 CONFIGURANDO TUNELAMENTO 6to4.....	277
10.10.1 Topologia Tunelamento 6to4.....	277
10.10.2 Configurações do Roteador R1 da Topologia Tunelamento 6to4.....	278
10.10.3 Configurações do Roteador R2 da Topologia Tunelamento 6to4.....	279
10.10.4 Testes de ping do PC1 para o PC2.....	280
10.11 CONFIGURANDO TUNELAMENTO 6to4 RELAY	282
10.11.1 Topologia Tunelamento 6to4 Relay.....	282
10.11.1.1 Configurações do Roteador INTERNET da Topologia Tunelamento 6to4 Relay	282
10.11.1.2 Configurações dos Roteadores R2 e R1 da Topologia Tunelamento 6to4 Relay	283
10.11.2 Testes de ping do PC1 para o PC2 e para a INTERNET	284
CAPÍTULO 11 MATEMÁTICA BÁSICA PARA COMPUTAÇÃO	285
11.1 INTRODUÇÃO AOS SISTEMAS NUMÉRICOS.....	285
11.2 SISTEMA DECIMAL.....	285
11.3 POTENCIAÇÃO	286
11.3.1 Propriedades da Potenciação	286
11.4 SISTEMA BINÁRIO	287
11.4.1 Pequeno Histórico do Sistema Binário	287

11.4.2 Sistema Binário na Prática	288
11.5 SISTEMA HEXADECIMAL	289
11.5.1 Sistema Hexadecimal na Prática.....	290
11.6 CONVERSÃO DE BASE NUMÉRICA	291
11.6.1 Transformando Decimal em Binário	291
11.6.1.1 Transformando Decimal em Binário pelo Uso do Valor Posicional	291
11.6.1.2 Transformando Decimal em Binário por Divisões Sucessivas	292
11.6.2 Transformando Binário em Decimal	292
11.6.3 Conversão Decimal para Hexadecimal	293
11.6.3.1 Método das divisões sucessivas	293
11.6.3.2 Método da conversão decimal para binário e depois binário para hexadecimal	294
11.6.4 Conversão Hexadecimal para Decimal	296
11.7 COMBINAÇÕES EM BINÁRIO.	297
11.8 OPERAÇÃO LÓGICA AND	299
CONCLUSÃO	300
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	301
ANEXO A – RESPOSTAS DAS QUESTÕES TEÓRICAS	303
APÊNDICE A – CADASTRO NO BLOG INFRAESTRUTURA DE REDES	314
APÊNDICE B – INDICAÇÕES DE CURSOS INFRA/E-BOOKS POR ASSUNTO	315
APÊNDICE C – CURSOS DE INFRAESTRUTURA DE REDE DOS AUTORES	318
APÊNDICE D – OUTROS E-BOOKS/LIVROS DOS AUTORES.....	319
APÊNDICE E – VIDEOAULAS DOS AUTORES.....	320

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO AO TCP/IP

1.1 INTRODUÇÃO

De uma forma simples e rápida, podemos dizer que o TCP/IP é um conjunto de protocolos de comunicação que foi padronizado para que os computadores possam trocar mensagens entre si.

A partir de 1950, os computadores foram criados por diversos fabricantes. Cada fabricante possuía seu conjunto próprio de protocolos de comunicação:

- IBM – **SNA** (Systems Network Architecture);
- Burroughs Corporation – **BNA** (Burroughs Network Architecture);
- DEC ou Digital Equipment Corporation – **DNA** (Digital Network Architecture).

Ocorre que computadores de diferentes fabricantes não podiam trocar mensagens, pois os conjuntos de protocolos de comunicação não eram compatíveis entre si.

Quando as redes de computadores começaram a surgir, na década de 1960 em diante, percebeu-se o problema de interconexão entre computadores com diferentes conjuntos de protocolos de comunicação.

Houve duas tentativas de se criar um conjunto de protocolos de comunicação padrão em nível mundial:

- **TCP/IP**, a partir da rede ARPANET nos EUA.
- **OSI**², a partir das entidades de padronização ITU-T (antigo CCITT) e ISO.

A ARPANET foi uma rede de computadores do governo americano que interligava alguns centros de pesquisa e algumas bases militares. Os protocolos de comunicação que rodavam nessa rede foram os precursores dos protocolos do modelo TCP/IP.

A **ITU** (International Telecommunication Union) é uma entidade que padroniza e regulamenta o setor de telecomunicação em nível mundial. A **ISO** (International Organization for Standardization) é uma organização internacional que padroniza e regulamenta procedimentos em várias áreas do conhecimento humano, incluindo a área de redes de computadores.

O TCP/IP surgiu de um ambiente informal (centro de pesquisas e universidades americanas) e se tornou o **padrão de facto**.

O OSI surgiu de um ambiente formal das entidades de padronização (ITU-T e ISO) e, num primeiro momento, se tornou um **padrão oficial**, sendo posteriormente adotado no mundo inteiro como um **padrão referencial** no ensino de redes de computadores.

O fato é que o TCP/IP tornou-se o padrão adotado no mundo inteiro, pela sua simplicidade, baixo custo de adoção e informalidade no desenvolvimento de melhorias e de criação de novos protocolos.

Vamos ver em seguida, de forma sintética, a organização desses dois conjuntos de protocolos.

1.2 BÁSICO DO MODELO OSI

O modelo OSI ² foi então concebido para operar em 7 camadas, as quais indicamos abaixo, com suas principais funções:

Tabela 1.1 Camadas modelo de referência OSI.¹

Número da camada	Nome da Camada	Função da Camada
7	Aplicação	Aplicação
6	Apresentação	Aplicação
5	Sessão	Aplicação
4	Transporte	Comunicação
3	Rede	Comunicação
2	Enlace	Comunicação
1	Física	Comunicação

O modelo OSI foi projetado em 7 camadas ¹² por um motivo bem simples: é mais fácil resolver o complicado problema de transferir informações de um computador para outro, dividindo as tarefas em partes, ou seja, cada camada tem por função resolver uma ou mais funções dessas tarefas de comunicação entre computadores. Essa ideia de resolver um problema decompondo-o em partes menores (no nosso caso, as camadas) foi difundida pelo filósofo René Descartes, em torno de 1644.

Vamos explicar resumidamente a função de cada camada:

A camada 7 – Aplicação – é responsável pela interface com o aplicativo do usuário, tornando ao usuário final transparente a complexidade dos protocolos de comunicação.

A camada 6 – Apresentação – é responsável para tradução dos códigos de caracteres utilizados pelos computadores que trocam dados entre si.

A camada 5 – Sessão – é responsável pelo controle de sessões existentes entre aplicações ativas entre computadores que trocam dados entre si.

A camada 4 – Transporte – é responsável pela troca de dados entre computadores fim a fim, que trocam dados entre si. A troca de dados pode ser orientada a conexão (com controle de fluxo) ou não orientada a conexão (sem controle de fluxo).

A camada 3 – Rede – é responsável pelo encaminhamento dos pacotes entre nós intermediários das redes de computadores e pela administração dos endereços lógicos dos computadores nas redes.

A camada 2 – Enlace – é responsável pela comunicação de dados entre dois equipamentos vizinhos, separados pelo meio físico.

A camada 1 – Física – é responsável pela manipulação dos bits transmitidos ou recebidos e a sua adaptação ao meio físico.

Cada camada do modelo OSI manipula ou trabalha com uma unidade básica chamada de PDU (Unidade de dados do protocolo da camada). Imagine a PDU como sendo a matéria-prima básica para produzir um determinado produto ou serviço.

Veja abaixo as PDUs das Camadas do Modelo OSI.

Tabela 1.2 PDUs das Camadas modelo de referência OSI.¹

Número da camada	Nome da Camada	PDU da Camada
7	Aplicação	Dados ou Mensagem
6	Apresentação	Dados ou Mensagem
5	Sessão	Dados ou Mensagem
4	Transporte	Segmento
3	Rede	Pacote
2	Enlace	Frame
1	Física	Bit

Cada camada pode conter um ou mais protocolos que realizam as funções determinadas para as mesmas. O tratamento ou a manipulação da PDU padronizada para essa camada é realizado pelo protocolo correspondente.

1.3 BÁSICO DO MODELO TC/IP

O modelo TCP/IP ² foi concebido inicialmente com 4 camadas, as quais indicamos abaixo:

Tabela 1.3 Camadas modelo de referência TCP/IP.¹

Número da camada	Nome da Camada	Função da Camada
4	Aplicação	Aplicação
3	Transporte	Comunicação
2	Inter-Rede	Comunicação
1	Host/Rede	Comunicação

No TCP/IP, a camada de aplicação engloba as funções das camadas de sessão, apresentação e aplicação do modelo OSI, ou seja, se preocupa em transmitir as mensagens ou dados entre aplicações finais.

A camada de transporte basicamente executa as mesmas funções da camada de mesmo nome do modelo OSI, ou seja, comunicação entre máquinas fim a fim.

A camada de Inter-rede também basicamente executa as mesmas funções da camada de rede do modelo OSI, ou seja, administração dos endereços lógicos e encaminhamento dos pacotes.

A camada Host/Rede (também chamada de interface de rede) executa as funções das camadas física e de enlace do modelo OSI, ou seja, adaptação do trem de bits ao meio físico e a troca de dados entre equipamentos de comunicação separados pelo meio físico, respectivamente.

Importante destacar que não há unanimidade quanto ao número de camada do modelo TCP/IP, com autores indicando 3, outros 4 e outros ainda 5 camadas.

Na atualidade somos partidários do modelo TCP/IP de 5 camadas, tendo em vista que, na prática, os protocolos das camadas física e de enlace na sua maioria são padronizados de acordo com o modelo OSI.

Tabela 1.4 Modelo TCP/IP com cinco camadas (versão moderna).¹

Camada	Nome	Protocolos da Camada
5	Camada de Aplicação	DNS, FTP, SMTP, POP, HTTP, etc...
4	Camada de Transporte	UDP, TCP
3	Camada de Rede	IP
2	Camada de Enlace	PPP, Ethernet, Frame Relay, HDLC
1	Camada Física	V35, V36, G703, V24

A comunicação entre computadores finais ocorrem com a transmissão da PDU em cada uma das camadas do modelo utilizado (OSI ou TCP/IP). Na transmissão ocorre o encapsulamento dos dados e na recepção o desencapsulamento.

No encapsulamento, cada protocolo rodando numa determinada camada monta sua PDU (cabeçalho + dados) e a transfere para o protocolo rodando na camada inferior, sendo que esse último irá montar sua própria PDU e encapsular a PDU da camada superior no seu campo de dados. Dessa forma, na camada de enlace teremos vários protocolos encapsulados no campo de dados do Frame do protocolo rodando nessa camada. Lembre-se que o Frame é o nome da PDU do protocolo da camada de enlace.

No desencapsulamento ocorre o processo inverso. Ao receber os dados no computador destino, cada protocolo rodando numa determinada camada remonta a sua PDU e a processa, entregando para o protocolo da camada superior os dados que estavam encapsulados no seu campo de dados. Em outras palavras, um determinado protocolo de uma camada inferior processa seu cabeçalho e ao final do processo descarta-o, passando para o protocolo da camada os dados restantes.

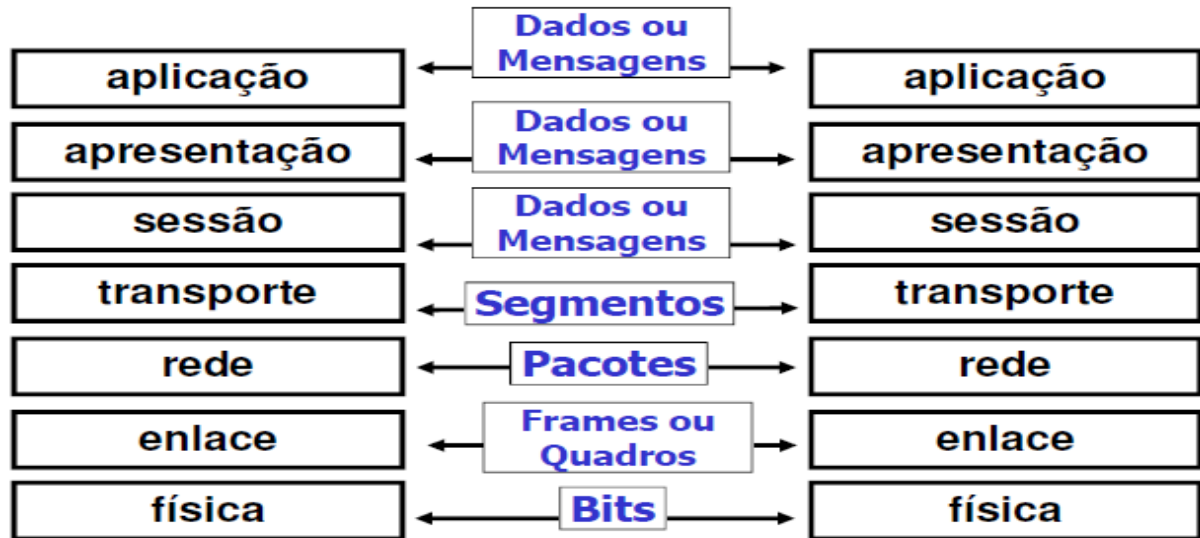


Figura 1.1 Troca de dados entre duas máquinas finais via PDUs.¹

Em seguida veja uma comparação entre o modelo OSI, TCP/IP e o SNA da IBM.

Observe que em cada camada teremos protocolos rodando para efetuar as suas respectivas funções.

Observe também a formalidade no nome dos protocolos que rodam no modelo OSI.

Camada	OSI (ISO)	TCP/IP	SNA (IBM)
7 - Aplicação	FTAM X.400 JTAM X.500 VT CASE	FTP Telnet SMTP DNS SNMP	
6 - Apresentação	8923		
5 - Sessão	8327		NetBIOS APPC
4 - Transporte	8073 (TPO) 8602 (CONS)	TCP UDP	NetBEUI APPC
3 - Rede	8208 (X.25) 8473 (CLNS) 9542 (ES-IS) 8348 (CONS)	IP	APPC
2 - Enlace	8802.2 (LLC) 8802.3/4/5	LLC Ethernet	LLC HDLC SDLC MAC
1 - Física	8802.3 Ethernet 8802.4 Token Bus 8802.5 Token Ring	Ethernet FDDI Token Ring	Token Ring Ethernet

Figura 1.2 Protocolos padrões de cada camada dos modelos de referências.¹

É importante destacar que cada camada obedece a um conjunto de regras para se comunicar com as camadas vizinhas e realiza uma série de atividades fundamentais para o funcionamento de um modelo de referências de protocolo: encapsulamento, desencapsulamento, solicitação de serviço, prestação de serviço, formação da PDU, controle de endereçamento da camada, etc.

Bem, percebemos que é na camada de rede do modelo TCP/IP que roda o protocolo IP, a partir do qual vamos desenvolver o tema deste livro. Esse protocolo determina os endereços lógicos que serão adotados nas redes de computadores que seguem o modelo TCP/IP. Vamos estudá-lo no próximo capítulo para que possamos depois entender a diferença entre a versão IPv4 e a versão IPv6.

Se você quiser saber mais sobre o modelo OSI e TCP/IP e outros assuntos-chave, considerados por nós importantíssimos para o profissional que trabalha em infraestrutura de redes, recomendamos nosso curso de infraestrutura de rede (formato CD Virtual) **Fundamentos de Redes de Computadores** e nosso livro **Introdução às redes de Computadores: Modelos OSI e TCP/IP** (www.ademarfey.wordpress.com).

1.4 EXERCÍCIOS

- 1) Descreva, de acordo com o seu entendimento, o objetivo da criação de modelos de comunicação para interconexão de redes.
- 2) Dentro da premissa acima citada indique os modelos atualmente em uso.
- 3) Descreva com suas palavras o que vem a ser o Modelo OSI.
- 4) Explique a função da camada de Aplicação do Modelo OSI e TCP/IP.
- 5) Explique a função da camada de Rede no Modelo OSI.
- 6) Descreva resumidamente o Modelo TCP/IP.
- 7) Descreva com suas palavras como as camadas executam suas tarefas.
- 8) Qual a diferença entre os Modelos OSI e TCP/IP relativa à Camada de Aplicação?
- 9) Cite as camadas do Modelo TCI/IP de 5 camadas e indique a PDU de cada uma delas.
- 10) Resuma o conceito de camadas, independente do Modelo.

Finalizamos aqui o Capítulo 1 que tratou de uma introdução aos modelos TCP/IP e OSI.

CAPÍTULO 2 A CAMADA DE REDE E O PROTOCOLO IPV4

2.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo iremos estudar um pouco mais o protocolo IP, a camada onde roda esse protocolo, ou seja, a camada de rede, os seus conceitos básicos e as suas principais características técnicas.

2.2 CONCEITOS BÁSICOS DA CAMADA DE REDE

A Camada de Rede é a camada número 3 do Modelo de Referência OSI. No modelo TCP/IP ela também é chamada de Camada Inter-Rede ou apenas de Camada Internet.

A camada de rede faz parte das camadas inferiores do modelo OSI, compondo a chamada infraestrutura das redes de computadores.

O equipamento típico da camada de rede é o roteador, responsável por rotear (encaminhar) pacotes do protocolo IP de uma rede para outra.

2.2.1 Função

Ela possui uma função clara e bem definida: deve prover meios eficazes para encaminhar, através das melhores rotas, o conjunto de dados transmitidos de uma origem para um destino, utilizando os endereços lógicos. Como isso é feito, será visto a seguir. Apesar de, à primeira vista parecer complicado, se bem entendido, torna-se simples.

2.2.2 Funcionamento

É de conhecimento geral de que para haver comunicação entre dois elementos é necessária a utilização de uma linguagem comum isto é, se deve utilizar as regras e procedimentos iguais, ou seja, um mesmo Protocolo.

Cada camada do Modelo OSI ou TCP/IP utiliza seus protocolos específicos, sendo indispensável à utilização do mesmo protocolo na origem e no destino sempre que estes tenham uma comunicação par-a-par, peer-to-peer ou ponto-a-ponto. Aqui cabe uma observação.

Muitas vezes a comunicação entre a origem e o destino não é feita ponto-a-ponto, mas sim através de diversos dispositivos instalados no caminho.

Veja na figura a seguir.

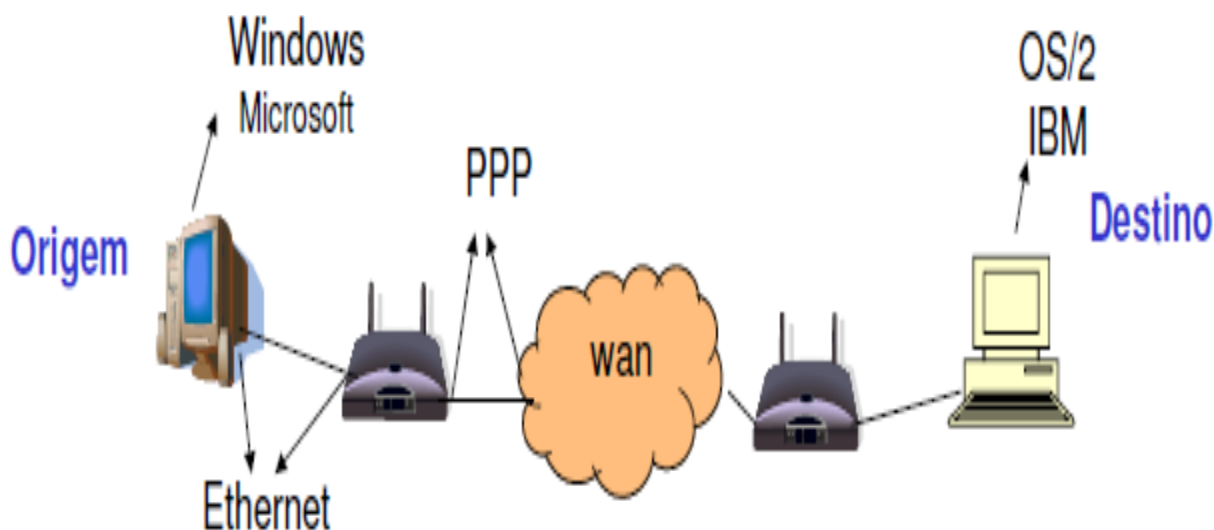


Figura 2.1 Protocolos de comunicação.¹

Note que numa ponta temos um computador rodando o Sistema Operacional Windows da Microsoft e na outra um computador rodando o OS/2 da IBM, ou seja: um aplicativo na origem será implementado diferentemente no destino, porém para os dispositivos deverão comunicar-se usando os mesmos protocolos em todas as camadas.

2.2.3 Protocolos da Camada de Rede

Encontramos na Camada de Rede dois tipos de protocolos:

a- Protocolos de Roteamento.

Têm a função de determinar e selecionar os melhores caminhos por onde serão encaminhados os Protocolos Roteáveis. Alguns dos Protocolos de Roteamento são: BGP, OSPF, IGRP, EIGRP e RIP.

b- Protocolos Roteáveis.

Têm como função proporcionar uma estrutura capaz de identificar a origem e o destino dos dados gerados na Camada de Aplicação e que serão encaminhados de um ponto a outro. Alguns dos Protocolos Roteáveis são: IP, IPX e AppleTalk.

2.3 FUNCIONAMENTO DO PROTOCOLO ROTEÁVEL IP

O IP é chamado de protocolo roteável, pois é através dele que os roteadores determinam o caminho para envio dos pacotes de dados.

2.3.1 O que é o protocolo IP?

O Protocolo IP (Internet Protocol) é um protocolo roteável que trabalha na Camada de Rede, mundialmente conhecido e usado no modelo TCP/IP. Por essa razão iremos nos focar no estudo das características do mesmo.

Vamos desenvolver nosso raciocínio considerando os dados sendo transmitidos e analisados da origem para o destino, ou seja, da Camada de Aplicação para a Camada de Rede, que é o objetivo deste capítulo.

A Camada 3, ao receber o conjunto de dados proveniente das camadas superiores, não analisa se o conteúdo que chega possui informações de uma camada ou de outra. Para a Camada de Rede, tudo o que for passado a ela é considerado um bloco único de dados e que deve ser preparado com o objetivo de identificar a origem e o destino dos dados. Como o IP realiza essa tarefa será detalhado em seguida. Verifique a figura 2.2 e procure compreender os passos que os dados originados na Camada de Aplicação devem seguir até a Camada de Rede (no mesmo computador).

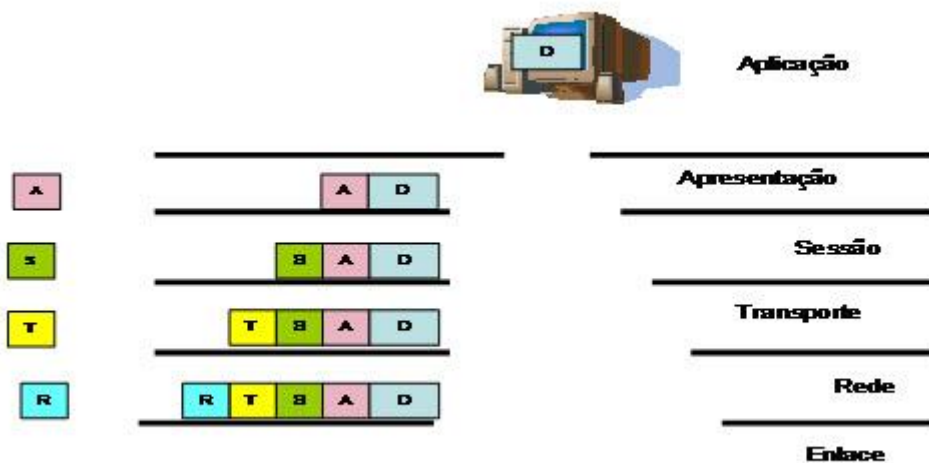


Figura 2.2 Encapsulamento no modelo OSI.¹

Os dados gerados na Camada de Aplicação são passados para a Camada de Apresentação, que insere seus controles antes dos dados (**A-D**), formando sua PDU no processo chamado de encapsulamento. Por sua vez, a Camada de Apresentação passa seus dados mais seus controles (PDU) para a Camada de Sessão, que insere seus controles (**S-A-D**) antes dos dados recebidos, formando sua própria PDU, e assim sucessivamente, até a Camada de Transporte, que realiza o mesmo procedimento, montando sua PDU (**T-S-A-D**) e a entrega para a Camada de Rede onde serão tratados conforme explicações que detalharemos em seguida.

Inicialmente, o IP ao receber o bloco de dados proveniente da Camada de Transporte insere na frente desses dados o seu cabeçalho de controle, montando a sua PDU (R-T-S-A-D).

Devido à importância do cabeçalho do protocolo IP, iremos descrever os campos que o compõe a seguir.

2.3.2 Cabeçalho IP



Figura 2.3 Campos do cabeçalho no protocolo IP.¹

2.3.2.1 Campos do Cabeçalho IP

Version (Versão): 4 bits. A versão atual do protocolo IP é a 4.

IHL (Internet Header Length – Comprimento do Cabeçalho Internet): 4 bits. Informa o comprimento do cabeçalho Internet em palavras de 32 bits (4 octetos ou 4 bytes). O tamanho mínimo do cabeçalho é de 5 palavras de 32 bits (20 octetos), e o tamanho máximo (o campo Option + Padding tem tamanho variável) é de 15 palavras de 32 bits (60 octetos). Aponta para o campo de dados.

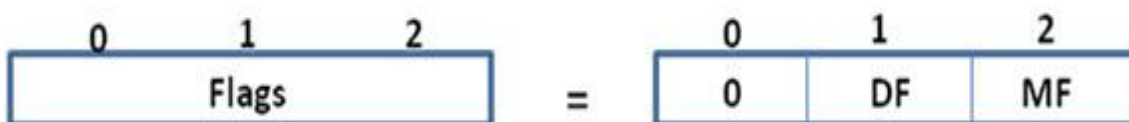
TOS (Type of Service – Tipo de Serviço): 8 bits. É utilizado para indicar o QoS (Quality of Service – Qualidade de Serviço) desejado. Seus bits caracterizam os serviços escolhidos para serem considerados pelos roteadores ao processar o pacote, como por exemplo, a precedência de um pacote. Um roteador (que às vezes é chamado de gateway) pode em situações de grande congestionamento, por exemplo, aceitar somente pacotes com um certo nível mínimo de precedência. Geralmente, na definição da precedência deseja-se baixo atraso, alta confiabilidade e alto throughput (vazão).

Total Length (Comprimento Total): 16 bits. Informa o comprimento do datagrama, em octetos (bytes). O tamanho máximo do datagrama pode ser 65.535 octetos (64

kB). Esse tamanho de octeto é impraticável para a maior parte de hosts e redes. Todos os hosts devem ser capazes de no mínimo aceitar datagramas de até 576 octetos, fragmentados ou não. Esse número foi determinado, partindo-se do pressuposto que 512 octetos seria um número razoável de dados a ser enviado, considerando-se mais 64 bytes de cabeçalho, sendo que o tamanho máximo do cabeçalho Internet é de 60 octetos, mas o tamanho típico é de 20 octetos, dando-se margem para cabeçalhos de outras camadas. Recomenda-se que os hosts só enviem datagramas maiores que 576 bytes se houver a certeza de que o endereço destino aceita receber a quantidade de dados enviados.

Identification (Identificação): 16 bits. Número de identificação do datagrama para permitir que o destino remonte os datagramas.

Flags (Sinalizadores): 3 bits. Bits que identificam a transmissão de sinais de controle.



Bit	Descrição	Valores
0	Reservado	Obrigatoriamente 0
1	DF (sem Fragmento)	0- Esse Datagrama pode ser fragmentado 1- Esse Datagrama não pode ser fragmentado
2	MF (mais Fragmentos)	0- Esse Datagrama é o último fragmento 1- Há mais fragmentos

Figura 2.4 Significado dos bits do campo Flags.¹

Fragment Offset (Deslocamento do Fragmento): 13 bits. Esse campo indica a posição desse fragmento em relação ao do datagrama original. O valor desse campo é expresso em unidades de 8 octetos (64 bits), portanto o tamanho mínimo do campo de dados de um fragmento é de 64 bits. O primeiro fragmento tem valor 0 nesse campo.

TTL (Time to Live – Tempo de Vida): 8 bits. Indica o tempo máximo que o datagrama pode permanecer na rede. Se o valor nesse campo for 0, o datagrama deve ser descartado. A intenção desse campo é não permitir que datagramas cujo destino seja inalcançável fiquem eternamente circulando pela rede. Inicialmente, a unidade do TTL era em segundo, mas como cada unidade processadora de