

UNIP

UNIVERSIDADE PAULISTA

Arquitetura de Redes de Computadores

Autor: Prof. Antônio Palmeira de Araújo Neto

Colaboradoras: Profa. Vanessa Lessa

Profa. Larissa Rodrigues Damiani

Professor conteudista: Antônio Palmeira de Araújo Neto

Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Paulista – UNIP (2013). Especialização *lato sensu* em Gestão da Tecnologia da Informação pelo Centro Universitário Uninassau, em Pernambuco (2010). Especialização *lato sensu* em Formação Pedagógica para Graduados não Licenciados pelo Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza (2017). Bacharel em Engenharia Elétrica com habilitação em Telecomunicações pela Universidade de Pernambuco – UPE (2008). Na UNIP, é professor e coordenador geral do curso superior em tecnologia em Gestão da Tecnologia da Informação e coordenador dos cursos de pós-graduação em TI para Estratégia dos Negócios e Gestão e Governança de TI. Professor e coordenador do curso técnico em Telecomunicações da Fundação Instituto de Educação de Barueri – Fieb. Tem experiência na área de TI e telecomunicações em empresas dos mais diversos ramos e áreas, além de ter trabalhado para concessionárias de serviços de telecomunicações. Possui experiência de mais de 10 anos na docência em cursos de pós-graduação, superior e ensino básico. Trabalha como conteudista em cursos de graduação e pós-graduação desde 2012, em diversas instituições de ensino superior espalhadas pelo país.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A663a Araújo Neto, Antônio Palmeira de.

Arquitetura de Redes de Computadores / Antônio Palmeira de Araújo Neto. – São Paulo: Editora Sol, 2023.

188 p., il.

Nota: este volume está publicado nos Cadernos de Estudos e Pesquisas da UNIP, Série Didática, ISSN 1517-9230.

1. Rede. 2. Protocolo. 3. Camada. I. Título.

CDU 681.324

U517.33 – 23

Profa. Sandra Miessa
Reitora

Profa. Dra. Marília Ancona Lopez
Vice-Reitora de Graduação

Profa. Dra. Marina Ancona Lopez Soligo
Vice-Reitora de Pós-Graduação e Pesquisa

Profa. Dra. Claudia Meucci Andreatini
Vice-Reitora de Administração e Finanças

Prof. Dr. Paschoal Laercio Armonia
Vice-Reitor de Extensão

Prof. Fábio Romeu de Carvalho
Vice-Reitor de Planejamento

Profa. Melânia Dalla Torre
Vice-Reitora das Unidades Universitárias

Profa. Silvia Gomes Miessa
Vice-Reitora de Recursos Humanos e de Pessoal

Profa. Laura Ancona Lee
Vice-Reitora de Relações Internacionais

Prof. Marcus Vinícius Mathias
Vice-Reitor de Assuntos da Comunidade Universitária

UNIP EaD

Profa. Elisabete Brihy
Profa. M. Isabel Cristina Satie Yoshida Tonetto
Prof. M. Ivan Daliberto Frugoli
Prof. Dr. Luiz Felipe Scabar

Material Didático

Comissão editorial:

Profa. Dra. Christiane Mazur Doi
Profa. Dra. Ronilda Ribeiro

Apoio:

Profa. Cláudia Regina Baptista
Profa. M. Deise Alcantara Carreiro
Profa. Ana Paula Tôrres de Novaes Menezes

Projeto gráfico:

Prof. Alexandre Ponzetto

Revisão:

Leonardo do Carmo
Luiza Gomyde
Auriana Malaquias

Sumário

Arquitetura de Redes de Computadores

APRESENTAÇÃO	9
INTRODUÇÃO	9

Unidade I

1 FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICAÇÕES E DAS REDES DE COMPUTADORES	11
1.1 As telecomunicações	11
1.1.1 Conceito e histórico das telecomunicações	11
1.1.2 Sistema de telecomunicações	15
1.1.3 A transmissão de sinais	16
1.1.4 Desempenho dos sistemas de telecomunicações	19
1.2 Redes de computadores e a internet	20
1.2.1 Conceito e histórico das redes de computadores e da internet	20
1.2.2 Elementos das redes de computadores	22
1.2.3 Topologias das redes de computadores	23
1.2.4 Classificações das redes de computadores	28
2 MODELOS DE REDES	33
2.1 Modelo OSI	33
2.1.1 Organizações padronizadoras	33
2.1.2 Protocolos e modelos em camadas	35
2.1.3 Modelo OSI: contexto histórico e introdução	37
2.1.4 Camadas do modelo OSI	40
2.2 Modelo TCP/IP	44
2.2.1 Histórico do modelo TCP/IP e as suas camadas	44
2.2.2 Relacionamento entre os modelos TCP/IP e OSI	46
2.2.3 Modelo híbrido	47
2.2.4 Arquiteturas e dispositivos de rede	51
3 PADRÕES E PROTOCOLOS DE CAMADA FÍSICA	53
3.1 Processos na camada física	53
3.1.1 Sinais na camada física	53
3.1.2 Problemas na transmissão de sinais	59
3.1.3 Codificação de linha	61
3.1.4 Multiplexação e modulação	64
3.2 Meios de transmissão	66
3.2.1 Cabos coaxiais	66
3.2.2 Cabos de pares metálicos	69
3.2.3 Cabos de fibra óptica	75
3.2.4 Meio não confinado	79

4	PADRÕES E PROTOCOLOS DE CAMADA DE ENLACE DE DADOS	81
4.1	Serviços e protocolos de camada de enlace de dados.....	82
4.1.1	Conceitos básicos em camada de enlace de dados	82
4.1.2	Enquadramento.....	83
4.1.3	Deteção e correção de erros.....	84
4.1.4	Protocolos de camada de enlace de dados.....	86
4.2	Padrões de camada de enlace de dados	87
4.2.1	Padrões de camada de enlace de dados para LAN e para WAN	87
4.2.2	Ethernet.....	91
4.2.3	Switching	95
4.2.4	Operação de um switch.....	97

Unidade II

5	PADRÕES E PROTOCOLOS DE CAMADA DE REDE – PARTE 1	103
5.1	A camada de rede.....	103
5.1.1	Processos da camada de rede.....	103
5.1.2	Serviços oferecidos à camada de transporte.....	105
5.1.3	Abordagem de datagramas e abordagem de circuitos virtuais.....	105
5.1.4	Qualidade de serviço, desempenho e controle de congestionamento na camada de rede	108
5.2	Algoritmos de roteamento e roteadores	113
5.2.1	Roteamento	113
5.2.2	Roteador.....	115
5.2.3	Algoritmos de roteamento.....	116
5.2.4	Protocolos de roteamento	118
6	PADRÕES E PROTOCOLOS DE CAMADA DE REDE – PARTE 2	122
6.1	Protocolo de internet	123
6.1.1	IPv4.....	123
6.1.2	Endereçamento IPv4.....	125
6.1.3	Sub-redes IP	130
6.1.4	IPv4 × IPv6	138
6.2	IPv6 e outros protocolos da camada de rede	139
6.2.1	Pacote IPv6.....	139
6.2.2	Endereçamento IPv6.....	140
6.2.3	ICMP.....	146
6.2.4	ARP	149
7	PADRÕES E PROTOCOLOS DE CAMADA DE TRANSPORTE	150
7.1	Serviços da camada de transporte.....	150
7.1.1	A camada de transporte.....	150
7.1.2	Números de porta.....	151
7.1.3	Funcionalidade de multiplexação e de demultiplexação	153
7.1.4	Serviços prestados pela camada de transporte.....	154
7.2	TCP e UDP	154
7.2.1	TCP.....	154
7.2.2	Segmento TCP.....	158

7.2.3 UDP	158
7.2.4 Diferenças entre o TCP e o UDP	160
8 PADRÕES E PROTOCOLOS DE CAMADA DE APLICAÇÃO	160
8.1 Protocolos e serviços da camada de aplicação	161
8.1.1 Protocolo de Transferência Hipertexto	161
8.1.2 Telnet	162
8.1.3 DNS.....	163
8.1.4 Outros protocolos de aplicação	165
8.2 Segurança em redes de computadores	166
8.2.1 Fundamentos de segurança em redes de computadores.....	166
8.2.2 Mecanismos e estratégias de segurança em redes de computadores	168
8.2.3 Criptografia e infraestrutura de chaves	171
8.2.4 Certificados digitais	174
8.2.5 Dispositivos de segurança para as redes.....	176

APRESENTAÇÃO

Prezado aluno,

Queremos apresentar para você, por meio desta disciplina, o mundo da arquitetura das redes de computadores. Nosso objetivo é trazer os conhecimentos básicos e intermediários envolvendo o funcionamento dos serviços, das camadas, dos dispositivos, dos protocolos e das topologias de redes de computadores, além da forma como os dados são comunicados.

Em um primeiro momento apresentaremos diversos conceitos que fundamentam as redes de computadores e as telecomunicações, e depois avançaremos em uma apresentação das camadas de protocolos e padrões de rede. Para isso, utilizaremos uma abordagem *bottom-up*, partindo da camada física, passando pelas camadas de enlace de dados, de rede, de transporte e finalizando na camada de aplicação.

O conjunto de competências e habilidades formadas a partir do estudo desta disciplina será fundamental para os profissionais de ciência da computação, sistemas de informação e tecnologia da informação, de forma geral, que desejem projetar e trabalhar com soluções computacionais conectadas por meio das redes de comunicação de dados.

Desejamos a você uma excelente jornada na arquitetura das redes de computadores.

Boa leitura e bons estudos!

INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje é inconcebível a vivência desconectada das redes de computadores e da internet. Seja na vida profissional ou na vida pessoal, dependemos e muito do acesso à internet e das aplicações que somente funcionam quando há um link de comunicação de dados estabelecidos.

Podemos ter o melhor hardware e o melhor software de aplicação, mas, se não tivermos uma conexão de dados via redes de computadores, parece que de nada adianta.

O que, então, vêm a ser estas redes de computadores?

Como elas funcionam?

Qual é o papel delas dentro da área de TI e nos negócios das empresas?

Focado nestas e outras questões, por meio deste livro-texto, vamos apresentar respostas. Ele está dividido em duas unidades, apresentando conceitos, fundamentos, protocolos, serviços e aplicações em redes de computadores.

Para a primeira unidade está reservado um detalhamento geral dos conceitos de telecomunicações e redes de computadores, além de avançar nas camadas física e de enlace de dados. Vamos começar apresentando as telecomunicações e os seus sistemas, que permitiram o surgimento das redes de computadores e da internet. Logo depois partiremos para aspectos introdutórios das redes de computadores, além dos modelos OSI e TCP/IP.

Ainda nesta unidade, avançaremos na temática que envolve a camada física, destacando padrões e processos físicos, além dos meios de transmissão nas suas mais variadas formas e tecnologias confinadas e não confinadas. Continuaremos no modelo em camadas, destacando o nível de enlace de dados, com seus padrões, protocolos e subcamadas.

Na segunda unidade abordaremos as camadas de rede, de transporte e de aplicação. Para a camada de rede, o destaque será dado para o IP (*Internet Protocol* – Protocolo de Internet) tanto para versão 4 quando para a versão 6. Ainda na camada de rede, mencionaremos os protocolos de roteamento, a qualidade de serviços e a interligação das redes.

As tecnologias e os padrões das camadas de transporte e de aplicação complementam o modelo em camadas apresentado neste material textual, que será efetivamente finalizado abordando a segurança nas redes de computadores.

Esperamos que você tenha todas as suas expectativas atendidas neste estudo envolvendo a arquitetura de redes de computadores e se sinta motivado a buscar mais conhecimentos nesta fabulosa área!

Unidade I

1 FUNDAMENTOS DE TELECOMUNICAÇÕES E DAS REDES DE COMPUTADORES

A utilização dos componentes da infraestrutura de tecnologia da informação (TI), notadamente o hardware e o software, representam algo relativamente novo na sociedade e no ambiente de negócios. Especificamente sobre o hardware, observamos que a sua utilização inicial se deu pelas empresas e governos por volta da década de 1950, trazendo grandes inovações e provendo uma série de recursos para as organizações e para as pessoas.

Com o desenvolvimento de inovações em engenharia eletrônica, por exemplo os transistores e os circuitos integrados, a utilização de computadores foi se popularizando, e o compartilhamento de recursos computacionais despontou como uma necessidade e um fator crítico de sucesso no uso da TI. Estes e outros fatores ligados à necessidade de comunicação motivaram o surgimento das primeiras redes de computadores.

Com isso, a ideia deste primeiro tópico é apresentar os fundamentos e conceitos básicos das redes de computadores. Vamos começar aprofundando um pouco a temática das telecomunicações e seus sistemas, que chegaram bem antes dos computadores e das suas redes, e têm a sua compreensão como algo de grande valor. Depois passaremos para as topologias e classificações das redes de computadores, finalizando com a menção aos seus elementos básicos.

1.1 As telecomunicações

1.1.1 Conceito e histórico das telecomunicações

Uma das necessidades básicas do ser humano, desde o início da sua existência, é a comunicação e a transmissão de mensagens entre si. Lançando um olhar sobre a história da humanidade, percebemos que os processos comunicacionais entre as pessoas começaram a ocorrer devido ao aperfeiçoamento das habilidades manuais e depois foram se aprimorando por meio de sistemas envolvendo símbolos gráficos, que mais tarde originaram a linguagem escrita (RIBEIRO, 2012).

Esta comunicação, no início restrita às pessoas mais próximas, foi se encaminhando para a necessidade de comunicação a distância, estando intimamente interligada à evolução do ser humano. Por isso, Soares Neto (2018, p. 19) menciona que:

Desde o surgimento da raça humana, a necessidade de comunicação tem sido o agente catalisador para a evolução da espécie. Para a comunicação a distância, ou, mais propriamente, as telecomunicações, o homem só obteve

sucesso significativo nos últimos 120 anos, embora sua trajetória neste planeta, segundo historiadores, ultrapasse 20 mil anos. Na era primitiva da raça humana, foram utilizados dois tipos diferentes de comunicação: os tambores e os sinais de fumaça. Essas duas técnicas de comunicação a distância foram utilizadas pelos homens primitivos da África e pelos indígenas, tanto da América do Sul como da América do Norte. Tais formas de comunicação, sendo uma auditiva (tambores) e a outra visual (sinais de fumaça), tinham como características a utilização de sinais analógicos, pois todos os sensores humanos também são analógicos. Entretanto, essas formas muito têm em comum com o estágio atual das telecomunicações, porque ambas utilizavam códigos.

A partir desta contextualização, já podemos considerar as telecomunicações como um recurso mais antigo do que qualquer outro relativo à informática. Definimos telecomunicações como um conjunto de sistemas, ferramentas e dispositivos que propiciam a comunicação a distância entre a origem e o destino de uma mensagem.



Saiba mais

Incentivamos a leitura dos capítulos iniciais da obra a seguir, que apresentam uma contextualização histórica das telecomunicações:

CARVALHO, L. P. *Introdução a sistemas de telecomunicações: abordagem histórica*. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

Com um cunho um pouco mais moderno, a primeira forma de telecomunicações surgiu por volta de 1843, quando o físico norte-americano Samuel Morse (1791-1872) inventou o telégrafo e um código de comunicação conhecido como código Morse. O telégrafo foi o primeiro equipamento a transmitir informações em códigos por meio da eletricidade. Esse dispositivo utilizava a corrente elétrica controlando eletroímãs responsáveis pela emissão e recepção do sinal (MEDEIROS, 2016).

Sobre Samuel Morse, Carvalho (2014, p. 8) menciona que:

era um pintor de quadros que gostava de fazer experiências com eletricidade. Teve a ideia de utilizar o eletromagneto (bobina com núcleo de ferro percorrida por corrente contínua para atrair metais ferromagnéticos) para fazer um telégrafo, em 1832. O primeiro modelo de um telégrafo estava funcionando em 1835 e patenteado em 1837. Nessa patente, estavam incluídos o código Morse e um sistema para representar palavras por meio de números. A primeira linha telegráfica entre cidades estava pronta entre Baltimore e Washington, em 1843.

O código Morse, usado nas transmissões telegráficas, compõe-se de pulsos longos e curtos. As combinações de sinais curtos e longos expressam caracteres. A figura a seguir apresenta a transmissão da letra "R", como exemplo, que é representada a partir de um ponto, um traço e um ponto.

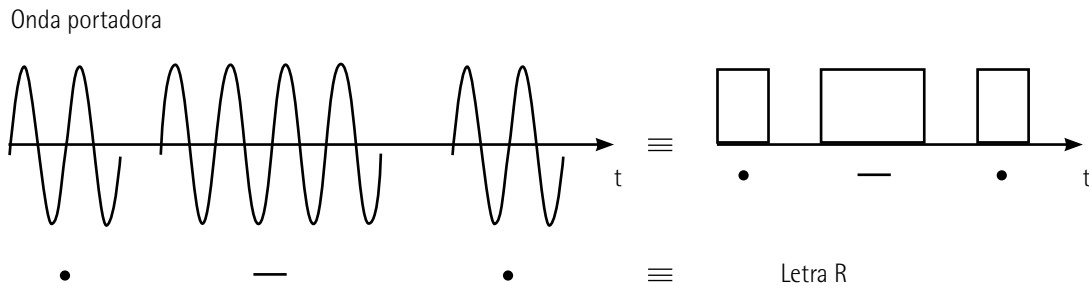


Figura 1 – Letra "R" em código Morse

Adaptada de: Medeiros (2016, p. 64).

O código Morse contempla letras, números e alguns avisos rápidos. Para melhor conhecermos estes códigos, a próxima figura traz todas as suas representações.

A	● —	1	● — — — —
B	— ● ● ●	2	● ● — — —
C	— ● — ●	3	● ● ● — —
D	— ● ●	4	● ● ● ● —
E	●	5	● ● ● ● ●
F	● ● —	6	— ● ● ● ●
G	— — ●	7	— — ● ● ●
H	● ● ● ●	8	— — — ● ●
I	● ●	9	— — — — ●
J	● — — — —	0	— — — — —
K	— ● —		
L	● — ● ●		
M	— —		
N	— ●		
O	— — —		
P	● — — ●	● — ● — ● —	, Vírgula
Q	— — ● —	— — ● ● — —	! Interjeição
R	● — ●	● ● — — ● ●	? Interrogação
S	● ● ●	● ● ● ● ● ● ●	Erro
T	—	— ● ● ● —	= Sinal de igual
U	● ● —	● — ● ● ●	Espere
V	● ● ● —	● — ● — ●	Fim de mensagem
W	● — —	— ● —	Transmita
X	— ● ● —	● ● ● — ● —	Fim de transmissão
Y	— ● — —	● — ●	OK
Z	— — ● ●	— ● — ● —	Atenção

Figura 2 – Código Morse Internacional

Adaptada de: Medeiros (2016, p. 296).



Observação

É comum afirmarmos que o telégrafo, como um dos primeiros dispositivos de telecomunicações, é caracterizado pelo trabalho com sinais digitais.

Outro interessante fato no contexto histórico das telecomunicações foi o surgimento da telefonia fixa em 1875, quando Alexander Graham Bell (1847-1922) inaugura um modelo de transmissão elétrica inteligível da voz, por meio de fios e utilizando um aparelho chamado de telefone.

Medeiros (2016) menciona que, além do surgimento e utilização do telégrafo e do telefone, diversas outras inovações surgem ao final ainda do século XIX e na primeira metade do século XX. Entre elas é possível citar:

- **1888:** Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) apresenta o seu trabalho a respeito das propriedades das ondas eletromagnéticas e sua transmissão;
- **1893:** primeira transmissão de voz via rádio através de ondas eletromagnéticas na avenida Paulista (São Paulo), pelo padre Landell de Moura (1861-1928);
- **1897:** transmissão de sinais telegráficos sem fio por Guglielmo Marconi (1874-1937);
- **1898:** desenvolvimento de um sistema de comunicação de rádio para navios russos por Aleksander Stepanovich Popov (1859-1905);
- **1957:** lançamento do primeiro satélite artificial (Sputnik) pelos russos, proporcionando a comunicação de sinais de voz e de televisão.

A partir desses e de outros inventos, as tecnologias em telecomunicações, e especificamente em telefonia foram se desenvolvendo, proporcionando grandes ganhos para a sociedade moderna no começo do século passado.

Um novo folego para as descobertas em telecomunicações se dá quando do surgimento dos primeiros computadores, no início da segunda metade do século XX. Neste momento começou-se a pensar em uma maneira de transmitir dados de um computador para outro. Até então, as únicas formas de telecomunicação estabelecidas permitiam apenas a transmissão de voz via telefonia, a transmissão de código via telegrafia e a transmissão de sinais de voz/imagem via redes de televisão.

Neste contexto do surgimento das redes de computadores para a transmissão de dados, ganha capilaridade no final da década de 1980 a internet surgida a partir da Arpanet (*Advanced Research Projects Agency Network* – Rede da Agência para Projetos de Pesquisa Avançada). Ela operava com a tecnologia de comutação por pacotes e por meio de dispositivos conhecidos como IMPs (*Interface Message Processors* – Processadores de Mensagens de Interface).

A tecnologia da Arpanet interligava servidores a uma distância considerável por meio de um conjunto de protocolos chamado de TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol* – Protocolo de Controle de Transmissão/Protocolo de Internet), sustentando o desenvolvimento e crescimento da internet.

Paralelamente ao estabelecimento e consolidação da internet, surgem no final da década de 1970 e início da de 1980 na Europa e nos Estados Unidos as primeiras redes de telefonia móvel celular, chamadas de redes 1G, de primeira geração. Estas redes 1G foram implementadas no Brasil em 1992 em um primeiro momento na cidade do Rio de Janeiro e depois em quase todo o país, quando as telecomunicações ainda tinham o monopólio público. A tecnologia utilizada no Brasil foi de origem norte-americana, conhecida como AMPS (*Advanced Mobile Phone System* – Sistema de Telefonia Móvel Avançado).

Considerando o desenvolvimento da telefonia móvel celular, observamos, na década de 1990, a chegada das redes de segunda geração (2G) e logo depois das redes de terceira geração (3G). As redes 3G permitiram o acesso à internet com uma velocidade considerável, sofrendo grande ampliação depois das técnicas de quarta geração (4G) e quinta geração (5G).

1.1.2 Sistema de telecomunicações

Um sistema de telecomunicações é um conjunto de componentes, equipamentos e meios físicos que tem por objetivo obter o enlace (link) de comunicação entre dois pontos distantes. Bons exemplos de sistemas de telecomunicações seriam: sistema de telefonia fixa; sistema de comunicação via satélite; sistema de comunicação móvel celular, e entre outros.

Segundo Medeiros (2016), integram um sistema básico de telecomunicações: fonte da informação, transmissor, canal, receptor e usuário da informação. A figura a seguir mostra uma representação desse sistema.

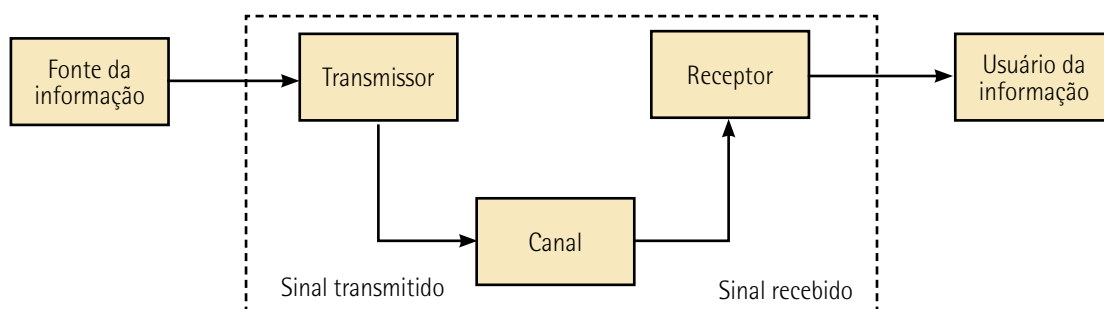


Figura 3 – Sistema básico de telecomunicações

Adaptada de: Medeiros (2016, p. 21).

A fonte da informação é aquela que gera a mensagem (informação) a ser transmitida. Em um sistema de telefonia fixa, por exemplo, este elemento seria a pessoa que fala ao telefone. O usuário da informação

é aquele a quem se destina a mensagem, recorrendo mais uma vez ao sistema de comunicação de telefonia, seria a pessoa que escuta algo em seu aparelho telefônico (MEDEIROS, 2016).

O transmissor e o receptor são os elementos formados a partir do aparato de circuitos elétricos e eletrônicos que proporcionam a transmissão (transmissor) e a recepção (receptor) do sinal da informação. Em alguns sistemas de telecomunicações, há dispositivos que transmitem e recebem, sendo chamados de transceptores. Um bom exemplo é o telefone celular em um sistema de comunicação móvel, que transmite e recebe sinais ao mesmo tempo (MEDEIROS, 2016).

O canal, também conhecido como canal de comunicação, é o meio físico situado entre o transmissor e o receptor, pelo qual transitam os sinais da informação. Em um sistema de telefonia fixa, seria o par de fios metálicos, que interliga os aparelhos telefônicos (MEDEIROS, 2016).



Saiba mais

Para conhecer um pouco mais sobre os sistemas de telecomunicações, leia o primeiro capítulo do seguinte livro:

MEDEIROS, J. C. O. *Princípios de telecomunicações: teoria e prática*. São Paulo: Érica, 2016.

1.1.3 A transmissão de sinais

Um sistema de telecomunicações pode favorecer a transmissão de sinais analógicos ou digitais. Os sinais analógicos assumem infinitos valores em um espaço de tempo; já os sinais digitais assumem valores definidos (discretos) em um espaço de tempo.

Convém dizer que os contextos, variáveis e grandezas com os quais lidamos no cotidiano do mundo real são completamente analógicos. Por exemplo, o som, a imagem, a voz, as medidas de temperatura, tempo e distância indicam valores totalmente analógicos.

No entanto, o processamento e comunicação da informação se revela mais eficaz, eficiente e seguro quando trabalhamos com o formato digital. Isto se dá porque os sinais digitais são facilmente armazenados em memórias modernas, o que não acontece com os analógicos. Além disso, a eficiência na transmissão digital é muito maior do que na analógica. É importante também acrescentar que o projeto de circuitos eletroeletrônicos digitais se apresenta como algo mais exequível e melhor, quando comparado com os analógicos. A figura a seguir apresenta exemplos de sinais analógicos e digitais.

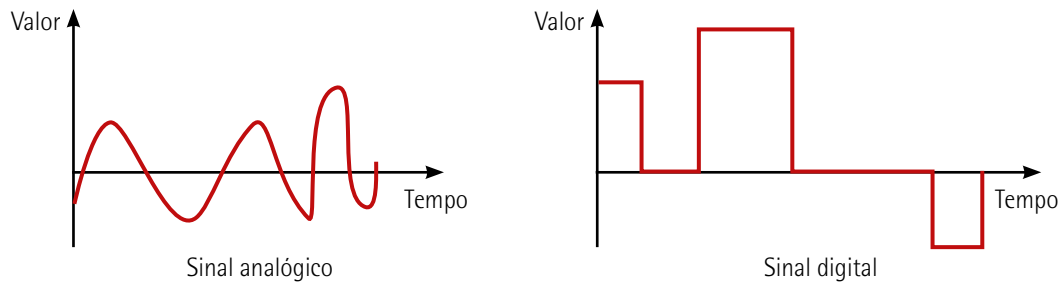


Figura 4 – Sinais analógicos e sinais digitais

Adaptada de: Forouzan e Mosharraf (2013, p. 541).

Partindo para os sinais analógicos, encontramos as suas representações por meio de ondas senoidais, dotadas das seguintes características:

- **Amplitude:** é o maior valor (conhecido como valor de pico) encontrado em um sinal analógico;
- **Período:** é o espaço de tempo em que o ciclo de uma onda se repete;
- **Frequência:** é a quantidade de ciclos (períodos) em um intervalo de tempo igual a um segundo – é, na verdade, o inverso do período e tem o seu valor dado em Hertz (Hz);
- **Fase:** é a posição da forma de onda em relação a um tempo igual a zero.

A figura a seguir apresenta o exemplo de uma onda senoidal.

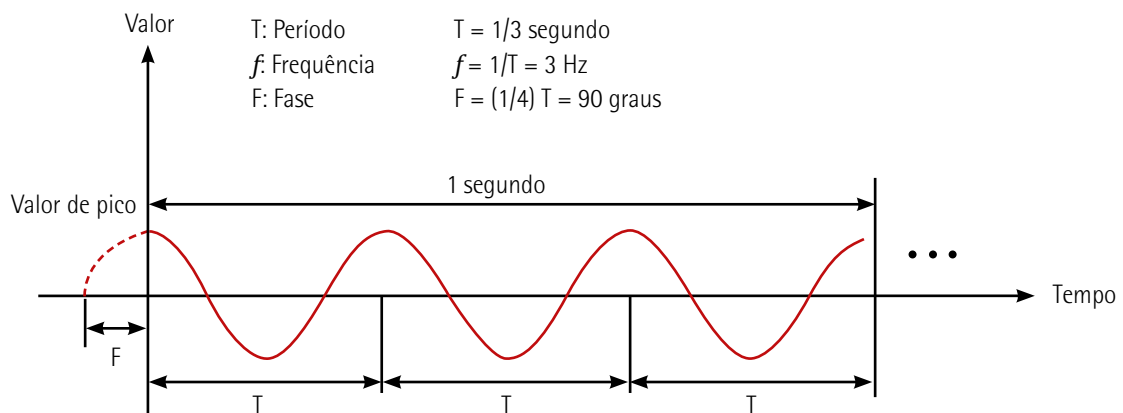


Figura 5 – Exemplo de uma onda senoidal

Adaptada de: Forouzan e Mosharraf (2013, p. 542).

Observando estas características e o trabalho com a transmissão de sinais analógicos, percebemos a falta de eficiência verificável quando ocorrem ruídos no meio físico ou algum tipo de interferência. Isso porque o receptor analógico não percebe rapidamente que a informação, acometida por um

ruído ou interferência, está corrompida. Dessa forma, para a transmissão de dados (caso das redes de computadores e da maioria dos outros sistemas de telecomunicações mais atuais), o sinal analógico configura-se como algo próximo do inviável.

Como o sinal digital assume apenas valores predefinidos e normalmente discretos, a transmissão de dados por meio de sistemas de comunicação digital torna-se, portanto, mais adequada para as redes de computadores. Isto se dá porque o computador "compreende" apenas o que é digital, mais especificamente o que é binário, ou seja, dois valores: 0 (zero) e 1 (um). Cada algarismo que representa um número binário é chamado de bit. Assim, toda a realidade em volta de um sistema computacional é traduzida na forma de bits e bytes (conjunto de oito bits).

A transmissão de um sinal analógico se dá por ondas eletromagnéticas ou pelo fluxo de uma corrente elétrica, usadas no ar ou em cabos na transmissão de uma informação e cuja variação é contínua em relação a um tempo. Pode variar conforme a amplitude, a fase e a frequência do sinal analógico. Apresenta limitações pela largura da banda ou velocidade da comunicação, por estar sujeita a interferências no sinal.

A transmissão analógica foi inicialmente utilizada em sistemas de telefonia na faixa de frequência de 4 kHz. Esses sistemas de telefonia analógicos são extremamente limitados para a comunicação de dados. O baixo custo é sua principal vantagem.

Já a transmissão digital ocorre por meio de uma sequência de pulsos com amplitude fixa, geralmente representada pelos números 0 ou 1. A maior parte das tecnologias de longa distância trabalha diretamente com transmissão digital. Essa transmissão utiliza modems digitais para efetuar uma técnica conhecida como modulação.

Saindo da classificação analógica/digital, podemos dizer que a transmissão de sinais pode ser executada de três maneiras diferentes. São elas: transmissão simplex, transmissão half-duplex e transmissão full-duplex.

A transmissão simplex ocorre apenas de forma unidirecional, ou seja, obedece apenas a uma única direção. Nesse modo, as duas pontas envolvidas no processo de comunicação executam os seus papéis bem definidos de transmissor ou receptor, sem qualquer inversão. Um bom exemplo é a transmissão de sinais de TV analógica ou de radiodifusão em broadcast AM e FM.



Observação

A comunicação em broadcast se dá a partir de um dispositivo na origem para todos os dispositivos que estão no destino.

A transmissão half-duplex ocorre de forma bidirecional e não simultânea – isto é, as duas pontas envolvidas no processo de comunicação exercem o papel de transmissor e receptor, mas isso não ocorre ao mesmo tempo. Um exemplo desse modo de transmissão é a comunicação de rádio tipo walkie-talkie.

A transmissão full-duplex ocorre de forma bidirecional e simultânea, ou seja, as duas pontas envolvidas no processo de comunicação transmitem e recebem sinais simultaneamente. Um exemplo disso é o sistema de comunicação de telefonia móvel celular ou de telefonia fixa.



Lembrete

Como referido anteriormente, quando um dispositivo efetua transmissão e recepção de sinais, recebe o nome de transceptor.

Abordando uma terceira tipologia de transmissão, podemos classificá-la em síncrona ou assíncrona.

A transmissão síncrona é a transmissão de informações de uma única vez, em blocos, coordenada pelo sinal de clock de sincronismo. Isso significa que essas informações não podem ser transmitidas a qualquer momento pelo emissor, mas apenas no tempo fixado pelo relógio (clock) interno do receptor.

A transmissão assíncrona, por sua vez, é aquela em que não há um controle por mecanismos de sincronização no receptor. As informações são enviadas, por exemplo, em sequências de bytes que contêm a indicação de início e fim de cada agrupamento.

1.1.4 Desempenho dos sistemas de telecomunicações

Existem diversas maneiras de aferir o desempenho de um sistema de telecomunicações. Entre elas encontramos como principais: a medida da taxa de transferência, o atraso (ou *delay*), o *jitter* e a relação sinal/ruído (MEDEIROS, 2016).

A taxa de transferência de um sistema de telecomunicações mede a quantidade de dados transferida no tempo. Assim, quanto maior a taxa de transferência, melhor o desempenho do sistema. Essa taxa é normalmente medida a partir da quantidade de bits transmitidos no tempo (dado em segundos) e pode ser representada pela unidade bps.

O atraso, também conhecido como *delay*, é a medida de tempo relacionada ao deslocamento da informação da origem (transmissor) até o destino (receptor). Ele é normalmente medido em milissegundos ($ms = 0,001\ s$). Ao somar todos os atrasos encontrados nos pacotes de dados e dividi-los pelo número de pacotes de dados, encontra-se uma outra medida de desempenho conhecida como *jitter*.

A relação sinal-ruído, representada muitas vezes pela sigla SNR (*Signal to Noise Ratio*), é a razão entre a potência transmitida de um sinal e o ruído encontrado na transmissão. Essa relação expressa as influências de um ruído em um processo de transmissão de sinais. Assim, quanto menor for a relação sinal-ruído, maior será o efeito indesejável no canal de comunicação.

As medidas de desempenho dos sistemas de comunicação auxiliam na verificação da qualidade da transmissão e da existência de efeitos indesejáveis e distúrbios no canal. Entre os principais distúrbios em um canal de comunicação, é possível citar: interferência, ruído, atenuação e distorção.



Observação

Se considerarmos especificamente o canal de comunicação de rádio, encontraremos outros distúrbios, por exemplo, a influência da umidade e de gases na atmosfera.

1.2 Redes de computadores e a internet

1.2.1 Conceito e histórico das redes de computadores e da internet

Uma rede de computadores é um conjunto de módulos processadores capazes de trocar informações/dados e compartilhar recursos, interligados por diversos sistemas de telecomunicações. As redes de computadores baseiam-se nos princípios de uma rede de informações, que, por meio de hardware e software, as tornam mais dinâmica para atender às necessidades de comunicação a distância dos seus usuários.

Já a internet é definida por Kurose e Ross (2021, p. 2) como "uma rede de computadores que interconecta bilhões de dispositivos ao redor do mundo". Também podemos chamar a internet de rede mundial de computadores ou rede de redes, que opera por meio da comutação de pacotes utilizando o IP (*Internet Protocol* – Protocolo de Internet).

A figura a seguir apresenta a ideia de internet e seus componentes. Um dos elementos importantes encontrado nesta figura são os ISP (*Internet Service Provider* – Provedores de Serviços de Internet), que podem ser nacionais ou regionais.

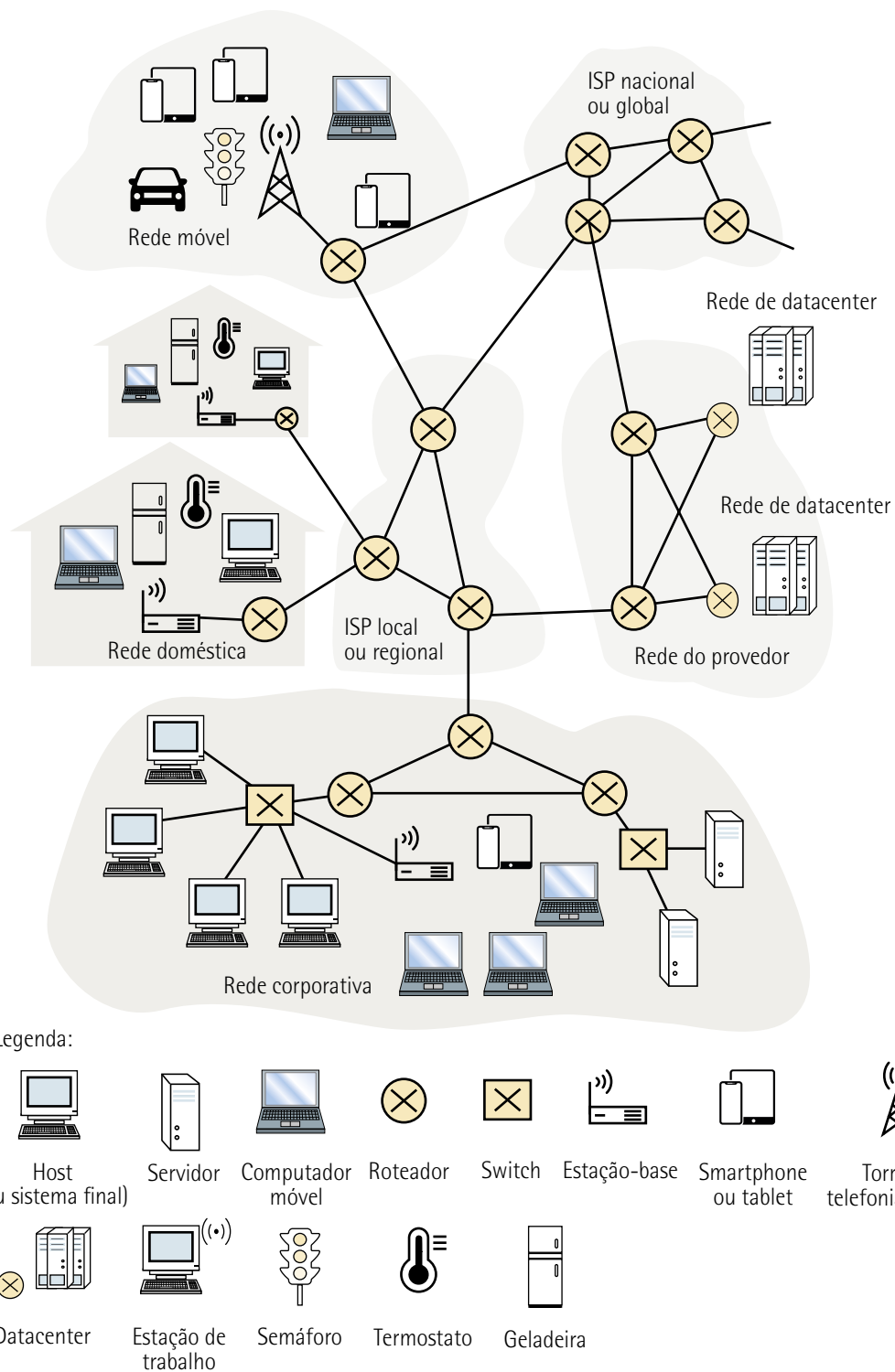


Figura 6 – Internet e seus componentes

Adaptada de: Kurose e Ross (2021, p. 3).

No entanto, esta grande rede de computadores que temos nos dias de hoje é fruto de toda uma evolução que se iniciou na década de 1960, nos Estados Unidos, quando existiu a necessidade de transmitir dados e compartilhar serviços entre computadores e foram criados os primeiros comutadores de pacotes. A utilização destes dispositivos sustentou a incipiente rede, que seria o embrião da internet. Esta primeira rede foi criada pela Arpa (*Advanced Research Projects Agency* – Agência de Projeto e Pesquisas Avançadas) e recebeu o nome de Arpanet. A Arpanet utilizou inicialmente o NCP (*Network Control Protocol* – Protocolo de Controle de Rede) e operava como uma rede isolada.

Depois da Arpanet, outras redes foram sendo implementadas na década de 1970 dentro e fora dos Estados Unidos, como a Alohanet, interligando a Universidade do Havaí, e as redes SNA (*Systems Network Architecture* – Sistema de Arquitetura de Rede) da IBM, além da rede montada pela Cyclades na França.

Chegando à década de 1980, as redes de computadores multiplicaram-se pelo mundo e a internet pública começou a crescer como fruto do crescimento da Arpanet, da NSFNET, da BITNET, dentre outras. Ainda na década de 1980, a pilha de protocolos TCP/IP começou a ser adotada como padrão, em substituição ao antigo NCP.

Na década de 1990, percebemos uma explosão da internet, que começa a ser utilizada de forma generalizada por empresas, indivíduos e organizações, a fim de reinventar os processos do cotidiano. Na atualidade, a internet tem sido um elemento fundamental e estratégico na vida das pessoas, fazendo com que o dia a dia sem ela se configurasse como algo inimaginável.

1.2.2 Elementos das redes de computadores

De forma básica, as redes de computadores são compostas por quatro elementos distintos: protocolos, meios físicos, dispositivos e mensagens.

Os protocolos são as regras e padrões utilizados em uma rede de computadores para o seu melhor funcionamento. Estes protocolos normalmente são agrupados em modelos e pilhas, sendo os mais conhecidos OSI (*Open Systems Interconnection* – Interconexão de Sistemas Abertos) e TCP/IP. Observando estes modelos, encontramos protocolos dedicados para aplicações, para transporte, para redes, para enlace e para questões físicas.

Os meios físicos (meios de transmissão), também chamados de canais de comunicação, representam o elemento que permite a transmissão de dados entre os dispositivos transmissores e receptores. Eles dividem-se em meios guiados e não guiados. No meio físico guiado o sinal da informação está confinado em um cabo, como um sinal elétrico confinado em um cabo de par metálico. No meio físico não guiado o sinal se propaga pelo ar, por meio de ondas eletromagnéticas, como nas redes sem fio domésticas.

A mensagem é aquilo que se deseja transmitir entre a origem e o destino. Ela passa por processos de codificação, formatação, entre outros alinhados às regras estabelecidas nos protocolos.

Os dispositivos são os elementos responsáveis pela transmissão, recepção e encaminhamento de dados. Eles estão divididos em:

- **Dispositivos finais:** aqueles que formam a interface entre os usuários e a rede de comunicação subjacente. Eles também são chamados de hosts. Bons exemplos são os computadores, os smartphones e as câmeras IP.
- **Dispositivos intermediários:** aqueles que conectam os hosts individuais à rede e podem conectar várias redes de computadores individuais para formar uma rede interconectada. Bons exemplos são: roteadores, switches, hubs e pontos de acesso sem fio.

1.2.3 Topologias das redes de computadores

A topologia de uma rede descreve sua estrutura e o modo como são feitas as conexões entre os dispositivos. Elas podem ser classificadas como topologias físicas (descrevendo a forma de interconexão física dos dispositivos de uma rede) e topologias lógicas (descrevendo a forma como os dados se propagam e as formas de comunicação).

As topologias físicas têm o papel de identificar a disposição física dos componentes de rede. Nelas, encontramos os dispositivos, os meios físicos e a forma como ocorrem as interligações. A figura a seguir apresenta o exemplo de uma topologia física contendo uma série de dispositivos e suas formas de interconexão.

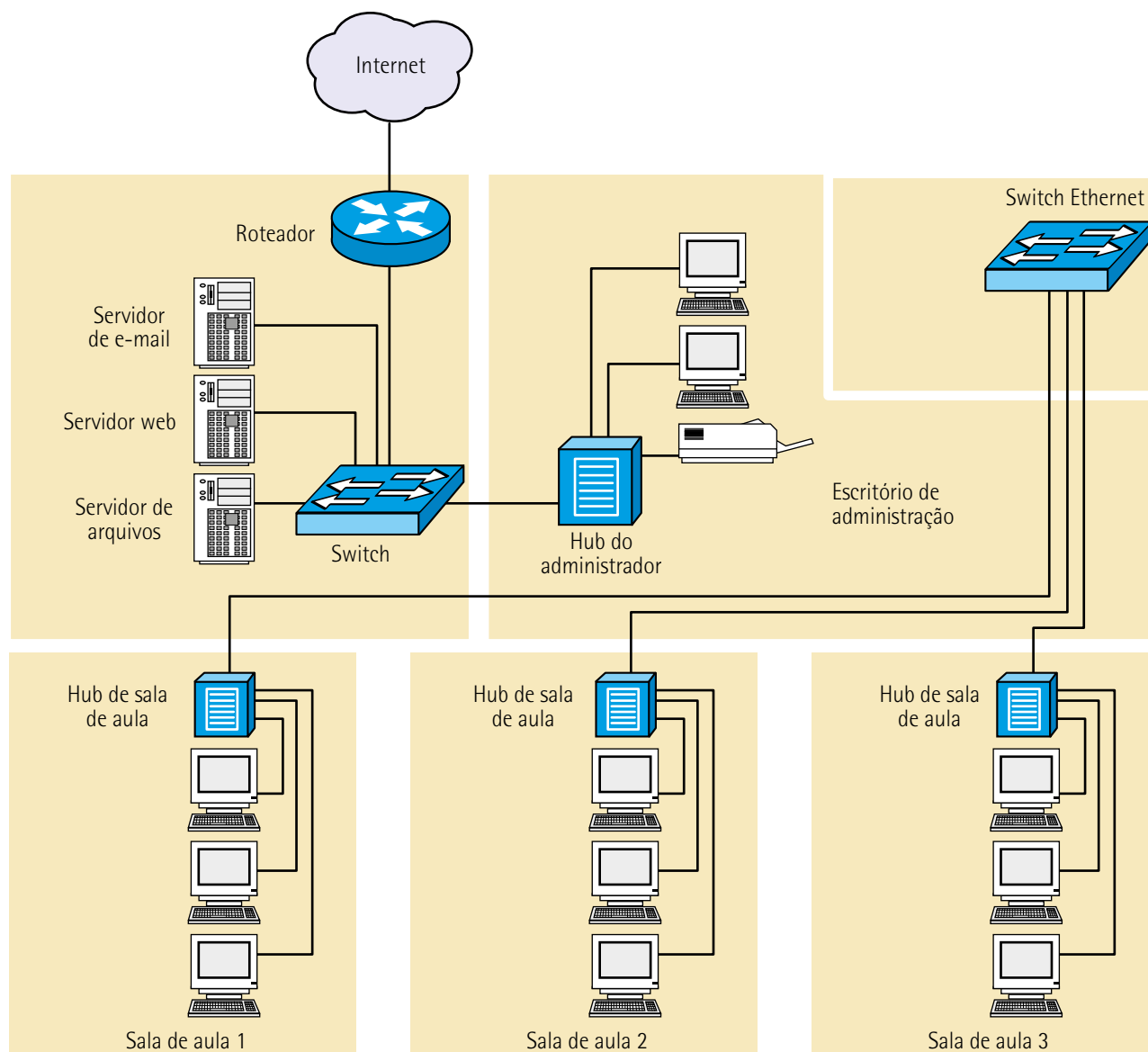


Figura 7 – Exemplo de topologia física

As topologias físicas podem ser classificadas em: topologia física em estrela, topologia física em barramento e topologia física em anel.

Na topologia física em estrela, todos os componentes (dispositivos finais, por exemplo) estão interligados a um equipamento concentrador (dispositivo intermediário), que é o núcleo central de uma rede. Nas redes locais modernas, é muito comum o uso dessa topologia, em que o equipamento concentrador é normalmente um hub ou um switch. A próxima figura apresenta a ideia da topologia física em estrela.

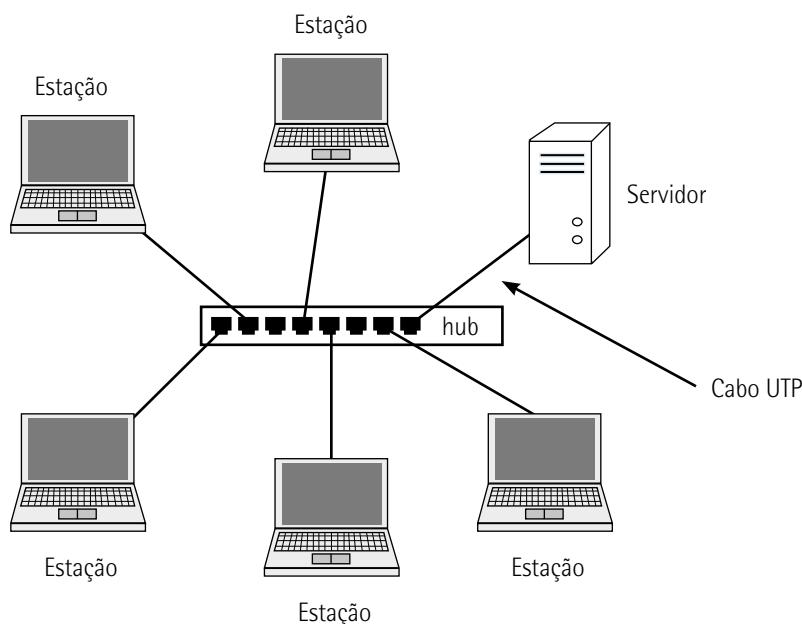


Figura 8 – Topologia física em estrela

Adaptada de: Moraes (2020, p. 63).

Na topologia física em barramento, cada um dos componentes (dispositivos finais, por exemplo) está interligado a um barramento físico – por exemplo, um cabo coaxial, que foi muito utilizado como meio físico de redes locais mais antigas. A figura a seguir apresenta uma topologia física em barramento.

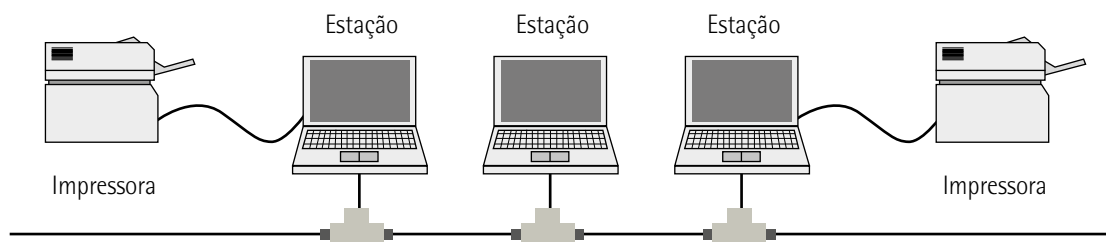


Figura 9 – Topologia física em barramento

Adaptada de: Moraes (2020, p. 62).

Na topologia física em anel, há um meio físico interligando os componentes um por um, formando um anel físico. A grande fragilidade dessa rede está no ponto de falha que cada componente representa na topologia. A figura a seguir apresenta o exemplo de uma topologia física em anel.

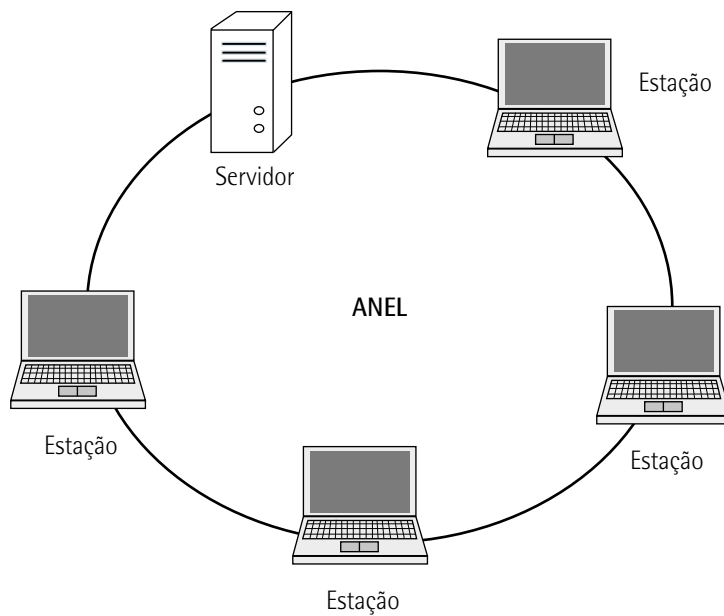


Figura 10 – Topologia física em anel

Adaptada de: Moraes (2020, p. 62).

Partindo para as topologias lógicas de rede, encontramos aquelas que têm o objetivo de identificar como se dá o processo de comunicação de dados, com informações como endereços de rede, portas e interfaces e dispositivos. A próxima figura traz um exemplo de diagrama de uma topologia lógica de rede.

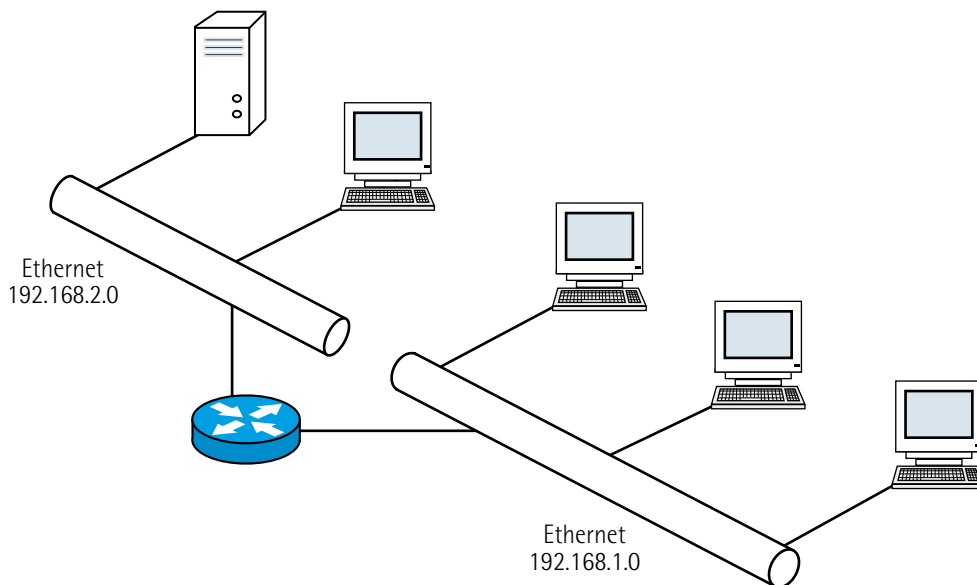


Figura 11 – Topologia lógica de rede

As topologias lógicas podem ser classificadas em: topologia lógica em barramento e topologia lógica em anel.

Na topologia lógica em barramento, encontramos o método de contenção, que é um processo de utilização do canal de comunicação com acesso múltiplo e verificação de portadora. A maior parte das redes locais opera com essa topologia lógica e esse método, porque trabalha com a tecnologia Ethernet. Nas redes Ethernet, a topologia física usada pode ser em estrela ou em barramento, mas a topologia lógica é em barramento. Ou seja, todos "enxergam" uma estrela física ou um barramento físico, mas os dados trafegam em um barramento lógico.

A figura a seguir apresenta uma topologia lógica em barramento, ao passo que a topologia física se comporta como uma estrela. Como dispositivo concentrador encontramos um hub no centro da estrela física.

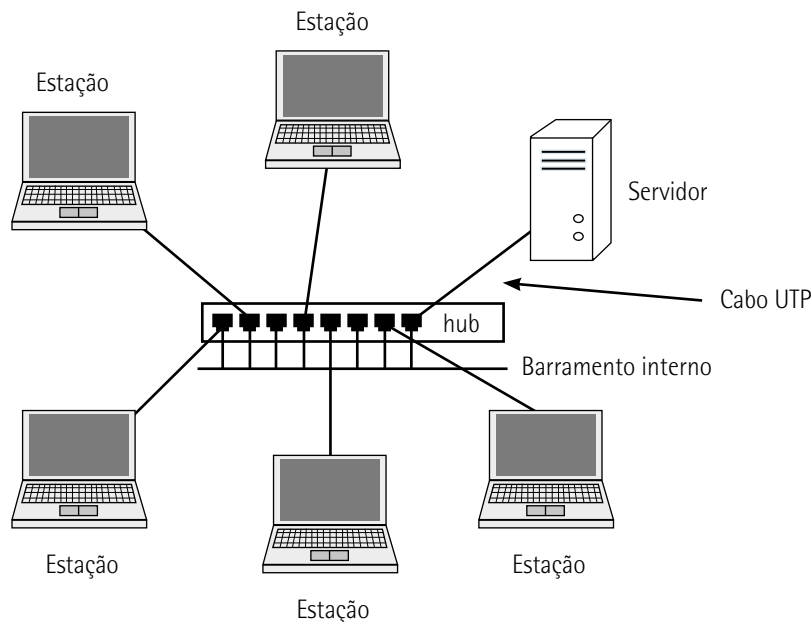


Figura 12 – Topologia lógica em barramento

Adaptada de: Moraes (2020, p. 64).

Na topologia lógica em anel, é utilizado o método de acesso controlado, de forma que os dispositivos podem utilizar o canal de comunicação de modo controlado e revezado. Nesse método, utilizamos o processo de passagem do token – este é passado entre os dispositivos de forma que seus detentores momentâneos possam utilizar o meio físico. Bons exemplos são as redes Token Ring, FDDI (*Fiber Distributed Data Interface* – Interface de Dados Distribuídos por Fibra) e Token Bus.

A figura a seguir apresenta uma topologia lógica em anel, ao passo que a topologia física utilizada é estrela.

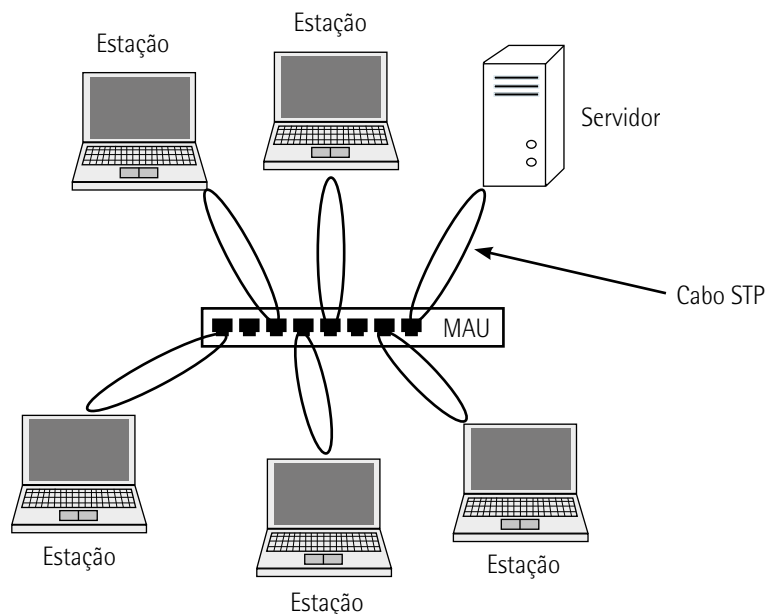


Figura 13 – Topologia lógica em anel

Adaptada de: Moraes (2020, p. 64).

1.2.4 Classificações das redes de computadores

Encontramos duas formas de classificar as redes de computadores. A primeira forma considera o modelo de controle computacional e a segunda forma considera a abrangência das redes de computadores.

Quanto ao modelo de controle computacional, as redes de computadores podem ser classificadas como cliente-servidor e ponto a ponto.

No modelo cliente-servidor, encontramos um dispositivo que controla a comunicação de dados (conhecido como servidor) e outros dispositivos que atuam como cliente. O servidor é responsável pelo compartilhamento de recursos e a disponibilização de serviços como: armazenamento de dados, funcionamento de aplicações, proxy de internet, entre outros. A figura a seguir apresenta uma rede cliente-servidor (TANENBAUM; FEAMSTER; WETHERALL, 2021).

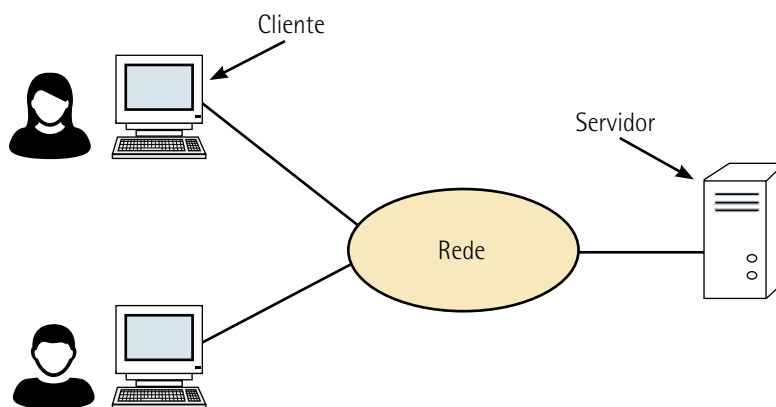


Figura 14 – Rede cliente-servidor

Adaptada de: Tanenbaum, Feamster e Wetherall (2021, p. 2).

No modelo ponto a ponto, também conhecido como *peer-to-peer*, não temos a presença de servidores, de modo que qualquer computador pode se comportar como servidor ou como cliente. Esta solução é muito encontrada em redes de computadores com poucos hosts e onde os requisitos de segurança da informação não têm um alto grau de importância. É muito comum a utilização de redes ponto a ponto no ambiente doméstico. A próxima figura apresenta uma rede ponto a ponto (TANENBAUM; FEAMSTER; WETHERALL, 2021).

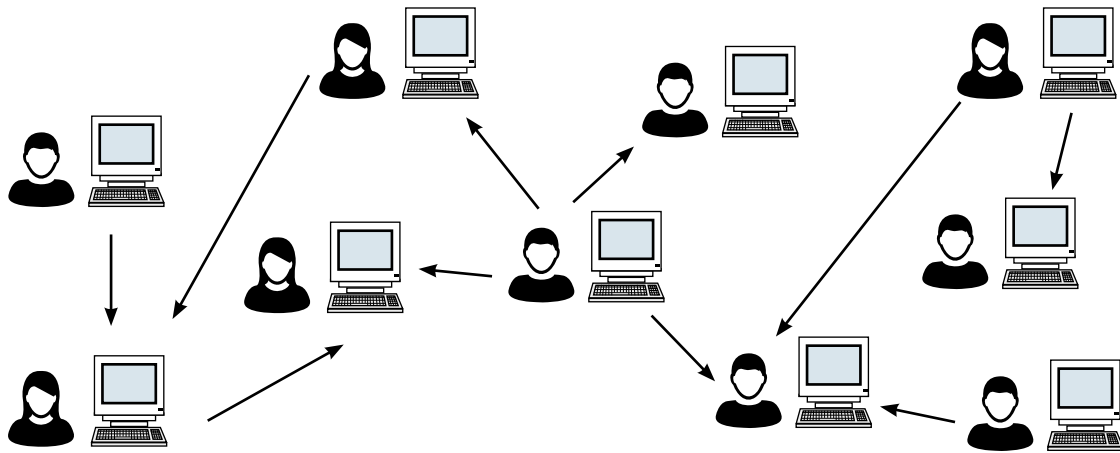


Figura 15 – Rede ponto a ponto

Adaptada de: Tanenbaum, Feamster e Wetherall (2021, p. 3).

Considerando agora a abrangência e distância entre os hosts, as redes de computadores podem ser classificadas em: redes locais, redes pessoais, redes metropolitanas e redes de longa distância.

As redes pessoais são conhecidas pelo acrônimo PAN (*Personal Area Network*) e permitem a comunicação entre dispositivos dentro de uma distância bem pequena, considerando alguns metros. Um excelente exemplo de tecnologias de PAN é o bluetooth, que provê a comunicação sem fio por meio do paradigma mestre-escravo e pode ser observado na figura a seguir (TANENBAUM; FEAMSTER; WETHERALL, 2021).

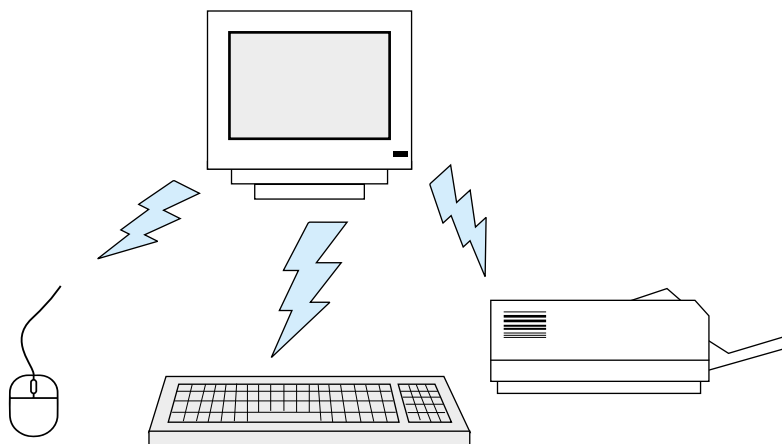


Figura 16 – Exemplo de PAN

Adaptada de: Tanenbaum, Feamster e Wetherall (2021, p. 10).

As redes locais são conhecidas pelo acrônimo LAN (*Local Area Network*) e permitem a conexão de dispositivos finais dentro de uma área geográfica limitada em uma organização ou no ambiente doméstico. É muito comum que as conexões de LAN ocorram a partir de meios físicos guiados (cabeados) ou meios físicos não guiados (wireless).

Em uma LAN, dispositivos finais e de interconexão de LANs estão em uma área limitada, como uma casa, uma escola, um edifício de escritórios ou um campus. Uma LAN é geralmente administrada por uma única organização ou uma única pessoa. O controle administrativo que rege as políticas de segurança e o controle de acesso é executado no nível de rede. As LANs fornecem largura de banda de alta velocidade aos dispositivos finais internos e aos dispositivos intermediários. A figura a seguir apresenta exemplos de LAN (TANENBAUM; FEAMSTER; WETHERALL, 2021).

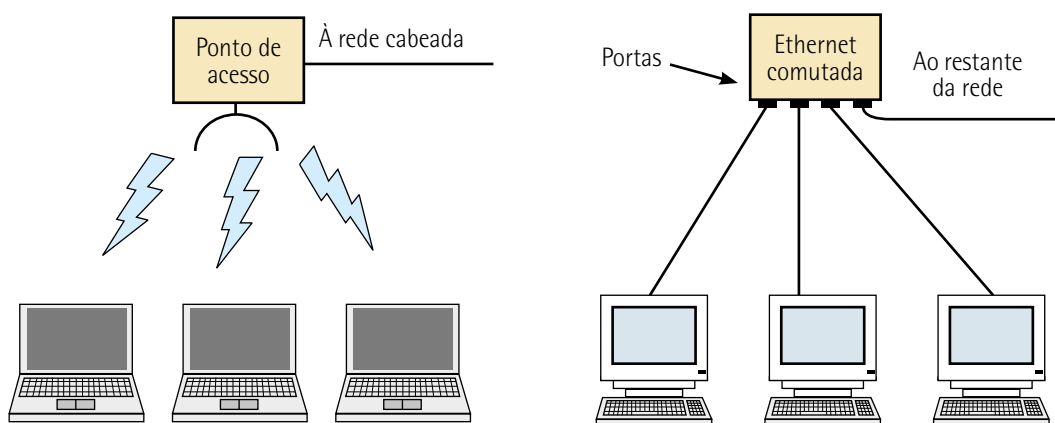


Figura 17 – Exemplos de LAN

Adaptada de: Tanenbaum, Feamster e Wetherall (2021, p. 11).

As redes metropolitanas são conhecidas pelo seu acrônimo MAN (*Metropolitan Area Network*) e permitem a conexão entre dispositivos dentro de uma cidade, bairro ou região de dimensões relativamente grandes. O conceito de MAN é bem compreendido a partir das redes que provêm os sinais de televisão via cabo.

As MANs conectam LANs dentro de uma região metropolitana, alcançando extensões inferiores às WANs. As principais características das MANs são: interconexão de locais espalhados em uma cidade e conexões dotadas de velocidades intermediárias entre LAN e WAN. A figura a seguir apresenta um exemplo de MAN (TANENBAUM; FEAMSTER; WETHERALL, 2021).

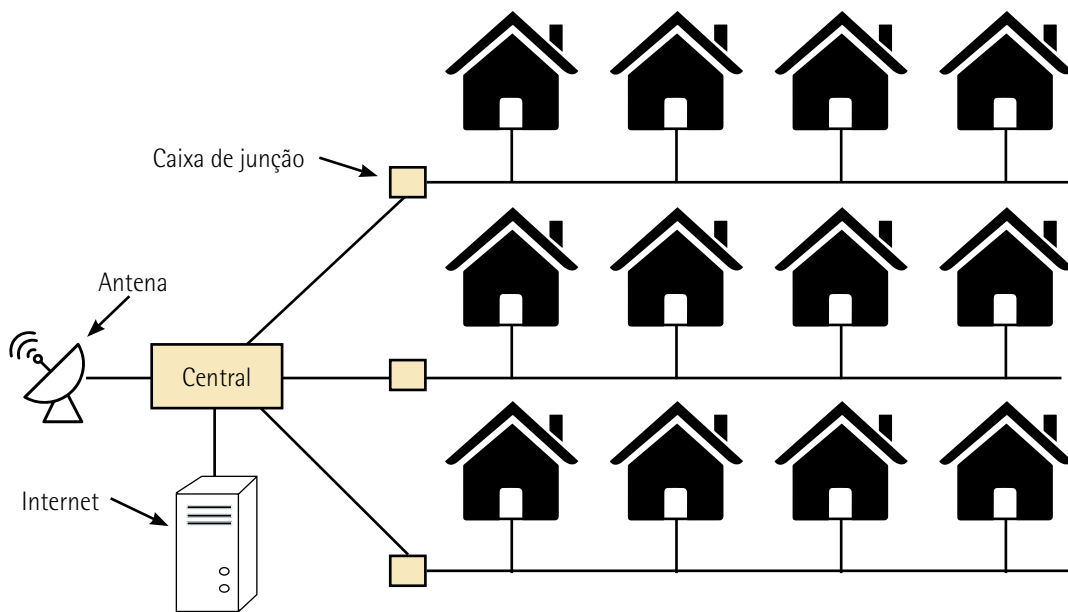


Figura 18 – Exemplo de MAN

Adaptada de: Tanenbaum, Feamster e Wetherall (2021, p. 13).

As redes de longa distância são conhecidas pelo acrônimo WAN (*Wide Area Network*) e permitem a conexão entre dispositivos extremamente distantes situados em LAN e MAN diferentes.

As WANs interconectam as LANs em grandes áreas geográficas, como entre cidades, estados, províncias, países ou continentes. Normalmente, são administradas por vários prestadores de serviço e costumam fornecer links com velocidades mais lentas entre as LANs.

Em geral, as redes WAN possuem grande heterogeneidade de mídias de transmissão. Além disso, trabalham com velocidades inferiores àquelas com que estamos habituados nas redes locais. A figura a seguir apresenta um exemplo de WAN.

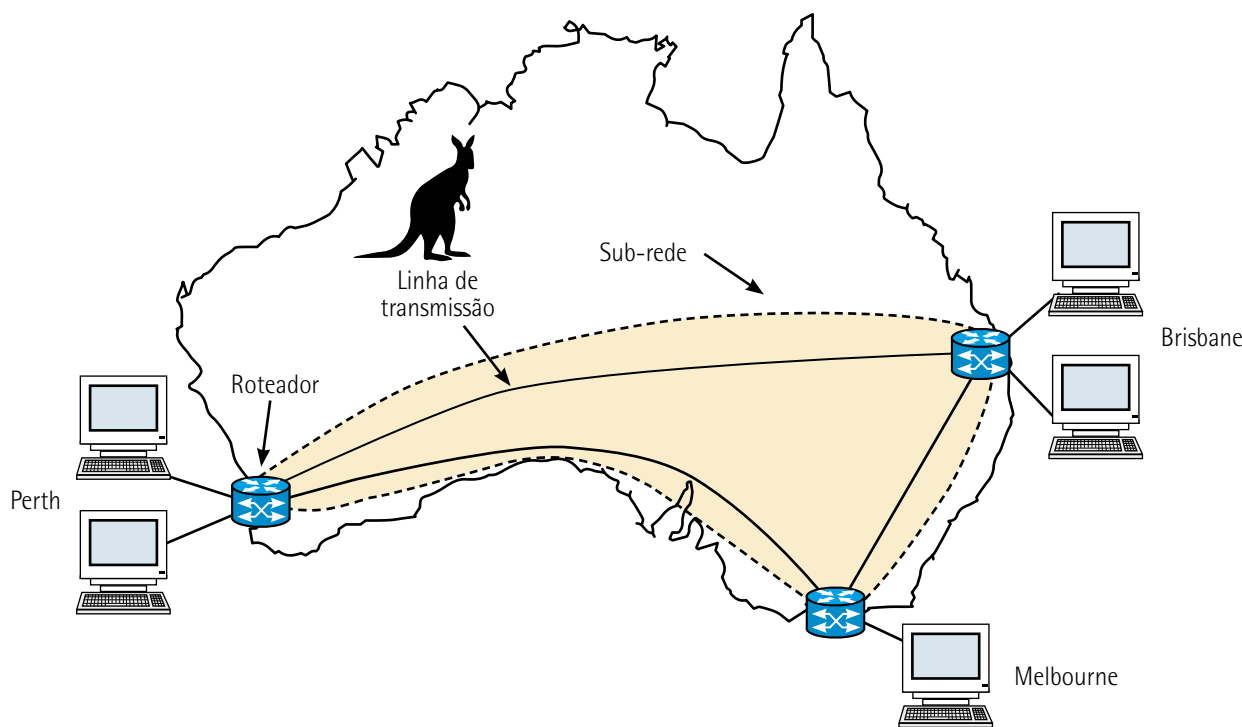


Figura 19 – Exemplo de WAN

Adaptada de: Tanenbaum, Feamster e Wetherall (2021, p. 14).

Ainda dentro do contexto de WAN, encontramos três tecnologias de comutação, chamadas: comutação por circuitos, comutação por pacotes e comutação por células (TANENBAUM; FEAMSTER; WETHERALL, 2021).

A comutação por circuitos é caracterizada pela alocação dos recursos por meio de um caminho virtual dedicado a garantir uma taxa constante durante a transmissão. Essa comutação é usada em comunicação de voz, que exige uma transferência contínua da informação. O funcionamento da comutação de circuitos ocorre em três etapas: estabelecimento, conversação e desconexão.

Na comutação por pacotes, não é exigido o estabelecimento de um caminho prévio para a informação. A informação é dividida em pacotes de tamanho fixo de forma dinâmica, permitindo o encaminhamento pela rede. Cada pacote é comutado individualmente e enviado nó a nó entre origem e destino, podendo a sequência ser alterada pelo fato de essa rede oferecer mecanismos para manter a sequência de pacotes nó a nó, reordenar pacotes antes da entrega e detectar e recuperar os erros.

A comutação por célula é uma grande evolução se comparada com as duas tecnologias anteriores. Só se tornou possível devido à baixa taxa de erro dos meios de transmissão existentes, hoje baseados em fibra óptica. Consiste no uso de células de tamanho fixo. Nessa tecnologia, a banda é alocada dinamicamente, o que garante o suporte a aplicações de taxa constante, como serviços de voz e vídeo em tempo real, e taxa variável, como serviços de dados.



Saiba mais

Para conhecer um pouco mais sobre as classificações das redes de computadores leia o primeiro capítulo do livro a seguir:

TANENBAUM, A.; FEAMSTER, N.; WETHERALL, D. *Redes de computadores*. Tradução: Daniel Vieira. 5. ed. Rio de Janeiro: Pearson Prentice Hall, 2021.

2 MODELOS DE REDES

No tópico anterior mencionamos os protocolos como um conjunto de regras e padrões que permitem o funcionamento adequado das redes de computadores. Estas regras são criadas por organizações padronizadoras, por meio de comitês técnicos voltados para questões relacionadas a conectividade de redes.

Tais protocolos, historicamente, foram organizados em modelos de rede com uma segmentação em camadas. Um destaque especial vai para o modelo de OSI e para o modelo TCP/IP.

Por isso a ideia principal deste tópico é fazer uma apresentação das organizações padronizadoras, que de fato criam os protocolos. Posteriormente abordaremos os modelos OSI e TCP/IP tão importantes, de modo a compreender o funcionamento das redes de computadores.

2.1 Modelo OSI

2.1.1 Organizações padronizadoras

O estabelecimento de padrões nas redes de computadores foi uma ação fundamental para chegarmos ao contexto de conectividade que temos hoje. Todo o esforço em busca da padronização se deu de forma marcante por volta dos anos 1980, com o modelo OSI, que impulsionou a concepção das redes por meio de camadas. Sobre este fato, Moraes (2020, p. 41) menciona que:

A padronização das redes de computadores foi essencial no início da década de 1980, sendo um dos principais motivos do crescimento observado nas redes. Antes da criação do modelo OSI (*Open Systems Interconnection*) pela *International Organization for Standardization* (ISO – em português, Organização Internacional para Padronização), em 1982, todos os sistemas tinham por base soluções proprietárias e não permitiam a interoperabilidade dos fabricantes. Tal fato gerava desconforto aos usuários da tecnologia, que ficavam atrelados a soluções de um único fabricante. Se eles decidissem comprar a solução de determinada marca, eram obrigados a expandir com a mesma marca, o que era ótimo para o proprietário e péssimo para o cliente, principalmente na hora de negociar valores.

Além da ISO, há outras organizações que criam padrões para as redes de computadores e a internet. Entre elas, é possível citar:

- IEEE – *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos);
- ANSI – *American National Standards Institute* (Instituto Nacional Americano de Padrões);
- ITU – *International Telecommunication Union* (União Internacional de Telecomunicações);
- IEC – *International Electrotechnical Commission* (Comissão Eletrotécnica Internacional);
- TIA – *Telecommunications Industry Association* (Associação das Indústrias de Telecomunicações).

Os padrões podem ser classificados como de fato e de direito. Os padrões de fato são aqueles que não foram reconhecidos por uma organização ou comitê ao serem lançados por uma pessoa ou comunidade. Os padrões de direito são protocolos reconhecidos legalmente ou por organizações.

Um produto sem padronização recebe o nome de "de fato" e, ao ser padronizado por uma organização, altera seu *status* para "de direito". Os padrões de direito têm as suas especificações submetidas a um corpo avaliador no formato RFC (*Request for Change*) até sua versão final aprovada. Um bom exemplo é o protocolo HTTP, que era um padrão de fato e evoluiu para um padrão de direito (TANENBAUM; FEAMSTER; WETHERALL, 2021).

O IEEE é a maior organização do mundo, sem fins lucrativos, constituída por engenheiros elétricos e eletrônicos, que promove criação, desenvolvimento, integração, compartilhamento e conhecimento aplicado à ciência e às tecnologias da eletricidade e da informação. Para cada padrão IEEE, existe um grupo de trabalho que desenvolve e aprimora os padrões e inovações. Os principais padrões desenvolvidos pelo IEEE estão descritos no quadro a seguir.

Quadro 1 – Padrões do IEEE

Padrão	Descrição
IEEE 802.1	Descreve tecnologias de interoperabilidade de redes de computadores (internetworking)
IEEE 802.2	Descreve o Controle Lógico de Enlace
IEEE 802.3	Descreve a rede local Ethernet e as variantes Fast Ethernet, Gigabit Ethernet e 10 Gigabits Ethernet
IEEE 802.4	Descreve a rede local do tipo Token Bus
IEEE 802.5	Especifica a rede local do tipo Token Ring
IEEE 802.6	Descreve redes metropolitanas (MAN)
IEEE 802.7	Define especificações para a banda larga
IEEE 802.8	Define especificações para a fibra óptica
IEEE 802.9	Determina especificações para redes integradas multisserviço (voz, dados e imagem)

Padrão	Descrição
IEEE 802.10	Define especificações para segurança de redes
IEEE 802.11	Descreve redes locais sem fio
IEEE 802.12	Descreve redes locais do tipo 100 VG-AnyLAN
IEEE 802.13	Define cabos de cobre categoria 6 para 10 Gb Ethernet
IEEE 802.14	Descreve serviços IP multimídia sobre rede de TV a cabo
IEEE 802.15	Define redes PAN, como o bluetooth
IEEE 802.16	Descreve redes metropolitanas sem fio, como o WiMax
IEEE 802.17	Descreve os anéis de pacote resiliente
IEEE 802.18	Descreve o trabalho do grupo técnico consultivo sobre questões de regulamentação de rádio
IEEE 802.20	Descreve os padrões da banda larga móvel sem fio
IEEE 802.22	Descreve as redes regionais sem fio

Fonte: Tanenbaum, Feamster e Wetherall (2021, p. 42).

Outra organização com forte ligação com as redes de computadores é a ANSI, que foi criada em 1918. Trata-se de um órgão de padronização americano, sem fins lucrativos, com mil membros associados, entre empresas, organizações, agências do governo e instituições internacionais. A ANSI atua na especificação de padrões eletrônicos em parceria com a IEC e representa os Estados Unidos da América na ISO. A padronização da rede FDDI feita pela ANSI pode ser considerada uma das maiores contribuições para a indústria de redes (MORAES, 2020).

Muitos trabalhos na área de redes de computadores desenvolvidos pela ANSI são feitos em parceria com a TIA. Um bom exemplo são os padrões utilizados em cabeamento estruturado e em datacenters, conhecidos como padrões ANSI/TIA.



Saiba mais

Para conhecer um pouco mais sobre as organizações padronizadoras em redes de computadores, leia o capítulo 3 do seguinte livro:

MORAES, A. F. *Redes de computadores: fundamentos*. 8. ed. São Paulo: Saraiva, 2020.

2.1.2 Protocolos e modelos em camadas

Conforme já mencionamos, os protocolos representam todo o arcabouço normativo que permite o funcionamento das redes de computadores. Normalmente estes protocolos são agrupados e associados a camadas dentro de um modelo de redes, como se fossem uma pilha.

Forouzan e Mosharraf (2013) mencionam que a complexa comunicação nas redes de computadores é mais bem compreendida e projetada por meio de um modelo em camadas. A figura a seguir

apresenta um simples processo de comunicação entre duas pessoas por meio do envio de uma carta pelos Correios. Neste modelo de comunicação encontrado em Forouzan e Mosharraf (2013) temos três camadas diferentes.

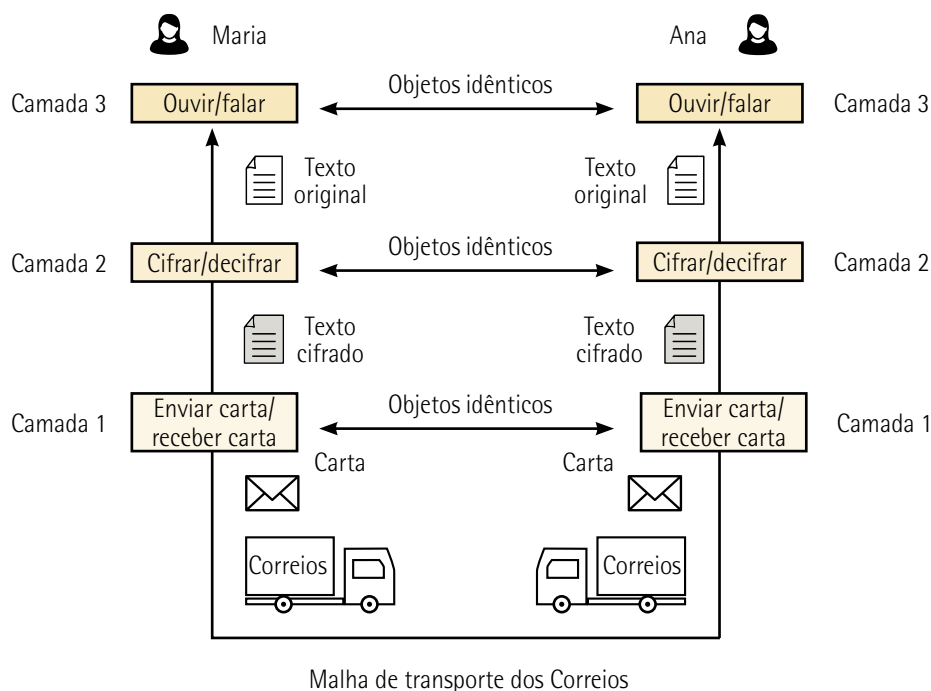


Figura 20 – Exemplo de processo de comunicação utilizando três camadas

Adaptada de: Forouzan e Mosharraf (2013, p. 10).

Neste exemplo, partindo de uma abordagem de cima para baixo, encontramos na camada 3 as regras (protocolos) que regem o ouvir, o falar e o escrever. Como a mensagem a ser enviada deve ser secreta, elas entraram em acordo sobre técnicas de cifração/decifração para a mensagem, a fim de evitar que, caso alguém tenha acesso a carta, consiga saber a mensagem transmitida. Na camada 1 temos as regras para envio/recepção da carta pelos correios.

Perceba que os processos de cada uma dessas camadas, no exemplo da figura anterior, funcionam de forma independente, facilitando o projeto da comunicação. Por exemplo, se a técnicas de cifração/decifração mudaram, não haverá qualquer influência no carro utilizado pelos correios e vice-versa.

Voltando ao nosso mundo das redes de computadores, podemos dizer que a junção de protocolos e camadas em um modelo representa o que chamamos de arquitetura de redes. Por meio dessas arquiteturas especificamos a implementação e funcionamento de interfaces, hardware de redes e software de redes. A arquitetura por meio de camadas facilita a concepção do projeto de redes, fazendo com que os protocolos de camadas diferentes operem de forma independente, abstraindo tudo aquilo que há nas camadas situadas acima ou abaixo na pilha de protocolos (TANENBAUM; FEAMSTER; WETHERALL, 2021).

Esta ideia de protocolos e modelo em camadas pode ser visto na figura a seguir.

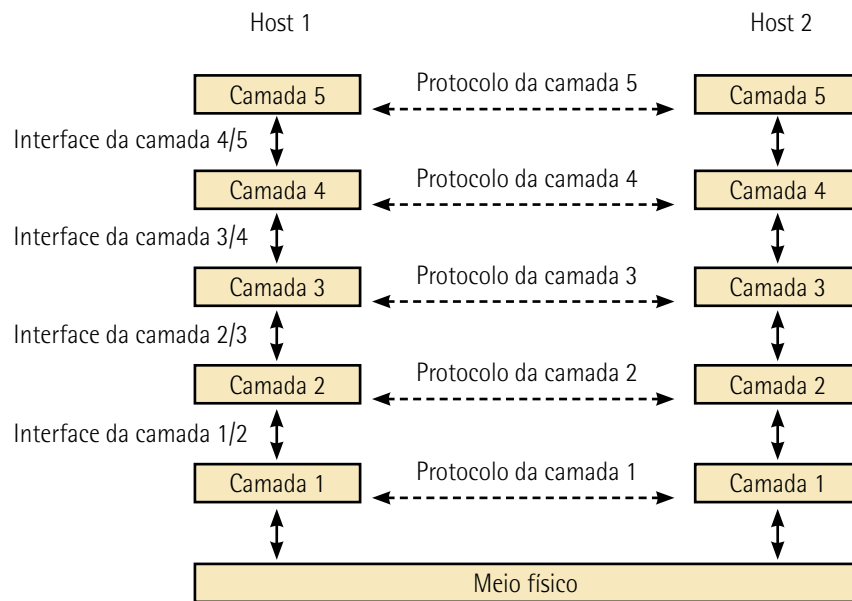


Figura 21 – Camadas e protocolos

Adaptada de: Tanenbaum, Feamster e Wetherall (2021, p. 30).

Observando esta figura, encontramos uma arquitetura de redes contendo cinco camadas, onde temos protocolos em cada uma delas. Esta concepção de modelo em camadas faz com que haja um diálogo entre a origem e o destino utilizando os protocolos de mesma camada.

Outro detalhe interessante percebido nesta figura reside nos extremos da arquitetura de uma rede. No extremo superior encontraremos sempre a camada composta por protocolos mais próximos do usuário e das aplicações por ele utilizadas. Outrossim, no extremo inferior encontraremos sempre a camada composta por protocolos mais próximos do meio físico e dos seus padrões físicos, mecânicos e elétricos.

2.1.3 Modelo OSI: contexto histórico e introdução

O modelo de referência OSI foi desenvolvido pela ISO entre o final da década de 1970 e o ano de 1984, a fim de interconectar sistemas abertos e segmentar a problemática das redes de computadores em camadas. O OSI é considerado o primeiro grande passo mundial no intuito de padronizar as redes de computadores, que até então operavam com protocolos e padrões totalmente proprietários, dificultando a interconexão de redes contendo tecnologias de fabricantes diferentes (TANENBAUM; FEAMSTER; WETHERALL, 2021).

Antes do modelo OSI, as organizações eram "reféns" dos fabricantes e seus modelos proprietários, devido à ausência de interoperabilidade. Para melhor compreender esta situação, consideremos uma empresa com uma rede de computadores utilizando protocolos na arquitetura SNA (arquitetura de redes utilizada pelas tecnologias fabricadas pela empresa IBM), que não podia utilizar dispositivos que operavam com outras arquiteturas como a BNA (arquitetura de redes utilizada pelas tecnologias fabricadas pela empresa Unisys).



Observação

A IBM e a Unisys eram gigantes da informática nas décadas de 1970 e 1980 que produziam hardware e equipamentos de rede.

Sobre o contexto em que surge o modelo OSI, Moraes (2020, p. 59) menciona que:

A padronização sempre foi um dos maiores problemas em todas as indústrias, e não poderia ser diferente no mercado de redes. No início dos anos 1980, houve um considerável crescimento na área de redes, porém, existia o problema da quantidade de padrões existentes, ou seja, cada fabricante possuía suas soluções com um padrão proprietário, o que obrigava o cliente a adotar as soluções fechadas de um único fabricante, visto que as soluções de diferentes fabricantes não interoperavam. Em razão dessa dificuldade, os maiores fabricantes e representantes da indústria se reuniram em uma comissão especial da ISO e, após alguns meses de estudo, criaram o modelo OSI. Por ter sido definido como um padrão em que sistemas de diferentes fabricantes pudessem interoperar, esse modelo foi um dos primeiros a levar o nome de "sistema aberto".

Assim, o modelo OSI foi concebido para trazer diversos benefícios para as organizações desejosas por redes de computadores abertas. Dentre estes benefícios é possível citar:

- auxílio na elaboração de protocolo de redes;
- estímulo da competição por meio da interoperabilidade;
- impedimento de impactos e influências de mudanças de uma camada em outras da mesma arquitetura;
- promoção de uma linguagem comum.

O modelo OSI apresenta-se composto por sete camadas que podem ser vistas na figura a seguir.

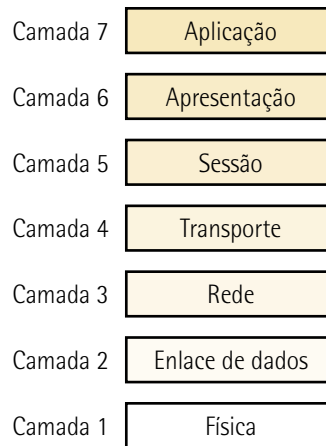


Figura 22 – Camadas do modelo OSI

Adaptada de: Forouzan e Mosharraf (2013, p. 20).

A arquitetura em camadas do modelo OSI define o modo pelo qual as informações "descem" até o meio físico na origem e "sobem" até os aplicativos no destino. Cada camada é independente da outra em suas funções e responsabilidades, permitindo a modularidade da arquitetura que facilita o projeto e o desenvolvimento das redes (MORAES, 2020).

A informação (também conhecida como mensagem) que transita em cada camada do modelo OSI recebe um nome, ou melhor, uma PDU (*Protocol Data Unit* – Unidade de Dados de Protocolo). As PDUs das camadas do modelo OSI são:

- **camada 7 (aplicação):** dados;
- **camada 6 (apresentação):** dados;
- **camada 5 (sessão):** dados;
- **camada 4 (transporte):** segmento;
- **camada 3 (rede):** pacote;
- **camada 2 (enlace de dados):** quadro;
- **camada 1 (física):** bit.

A mensagem a ser transmitida é gerada pelo usuário na camada de aplicação, recebe o nome de dados e é encapsulada nas outras camadas, seguindo a sequência de cima para baixo. Esse encapsulamento é o processo de adicionar informações aos dados criados na origem. No destino ocorre o desencapsulamento que finaliza com a entrega da mensagem a partir dos dados que chegam até a camada de aplicação (MORAES, 2020).

2.1.4 Camadas do modelo OSI

Partindo de uma abordagem "de cima para baixo", encontramos primeiro a camada de aplicação (camada 7). Ela fornece a interface entre as aplicações que utilizamos para a comunicação e a rede subjacente pela qual nossas mensagens são transmitidas. É a camada de acesso do usuário final à rede, consistindo em um conjunto de aplicativos e serviços que provê a interação usuário-máquina (TANENBAUM; FEAMSTER; WETHERALL, 2021).

Na camada de aplicação encontramos uma série de protocolos e serviços que são utilizados pelas aplicações dos usuários. Entre eles, é possível citar:

- **Telnet:** aplicação de acesso remoto desenvolvida em 1969. O seu nome é derivado das palavras *telephone network*. Em 1977, foi liberada para uso público, tornando-se padrão mundial para acesso remoto.
- **FTP/TFTP (*File Transfer Protocol/Trivial File Transfer Protocol*):** protocolos de transferência de arquivos, criados em 1980. O FTP é mais confiável e mais lento. O TFTP é um pouco menos confiável e mais rápido.
- **SMTP (*Simple Mail Transfer Protocol*):** protocolo padrão para envio de e-mails através da internet. Criado nos anos de 1980, tem uma operação relativamente simples.
- **POP3 (*Post Office Protocol*):** protocolo utilizado no acesso remoto a uma caixa de correio eletrônico.
- **HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*):** protocolo criado nos anos de 1990, com a finalidade de comunicar dados pela internet para os navegadores (Google Chrome, Microsoft Edge, entre outros).

A próxima camada é conhecida como apresentação (camada 6), também chamada de camada de tradução. Trata-se daquela que responde às solicitações da camada de aplicação e encaminha solicitações de serviço para a camada de sessão. Ela é a responsável pela sintaxe e pela semântica dos dados transmitidos, bem como pela conversão e formatação dos dados.

A camada de apresentação pode ainda ter outras funcionalidades, como a conversão do padrão de caracteres (código de página), quando, por exemplo, o dispositivo transmissor usa um padrão distinto do ASCII (*American Standard Code for Information Interchange* – Código Padrão Americano para o Intercâmbio de Informação).

É na camada de apresentação que também observamos questões relacionadas à segurança da informação, como o trabalho de criptografia.



Observação

Exemplos de diferenças entre formatos de dados incluem ordem de bytes (poderiam ser lidos da esquerda para a direita ou vice-versa) e conjunto de caracteres (caracteres ASCII ou caracteres EBCDIC – *Extended Binary Coded Decimal Interchange Code* –, da IBM), bem como sua representação numérica.

Chegando ao nível 5, encontramos a camada de sessão, que é responsável pelo estabelecimento, gerenciamento e finalização de sessões entre a entidade transmissora e a receptora. Os principais serviços oferecidos por esta camada estão listados a seguir:

- **Intercâmbio de dados:** atividade responsável pelo estabelecimento da conexão, troca de dados e fechamento da conexão com a outra ponta.
- **Gerenciamento de diálogos e de token:** através dos chamados tokens, é possível negociar a troca de dados, a sincronização dos dados e a liberação da conexão durante a sessão. Os tokens são os responsáveis por "ter a vez de falar". Assim, a máquina que estiver com o token é que poderá transmitir naquele momento.
- **Sincronização:** quando há interrupção na rede, uma forma de retornar ao ponto em que parou é por meio dos chamados pontos de sincronização nos diálogos. Os pontos de sincronização são marcações em dois níveis, o que permite retornar com maior precisão.
- **Gerenciamento de atividades:** divide as mensagens no nível da aplicação em unidades lógicas menores e independentes, chamadas atividades.
- **Relatório de exceções:** permite retomar as ações executadas no nível de sessão mediante relatórios que detalham os problemas acontecidos com mensagens que retornaram.



Observação

As camadas de aplicação (camada 7), apresentação (camada 6) e sessão (camada 5) são consideradas as camadas superiores do modelo OSI, pelo fato de serem as mais próximas do usuário e por terem o dado como PDU.

Saindo das camadas superiores, encontramos a camada de transporte (camada 4). Ela habilita a comunicação de múltiplas aplicações na rede, ao mesmo tempo, em um único dispositivo. Ela também assegura que, se necessário, todos os dados sejam recebidos confiavelmente e em ordem pela aplicação correta, mediante mecanismos de tratamento de erros.

Os propósitos da camada de transporte são:

- rastrear a comunicação individual entre as aplicações na origem e no destino;
- segmentar dados e gerenciar cada segmento;
- reagrupar os segmentos em fluxos de dados de aplicação;
- identificar as diferentes aplicações.



Lembrete

Na camada de transporte, os dados são encapsulados nos segmentos, sendo estes a sua PDU.

As camadas 7, 6, 5 e 4 são chamadas de ponto a ponto, pelo fato de serem compostas por protocolos que executam tarefas apenas nos extremos das redes, ou seja, diretamente na origem e no destino dos dados. White (2012, p. 18) afirma que as camadas 7, 6, 5 e 4 são:

responsáveis pelos dados transmitidos entre os pontos extremos de uma conexão de rede. Em outras palavras, essas camadas executam suas operações somente no ponto inicial e no ponto final da conexão de rede.

Partindo para as camadas inferiores, encontramos a camada 3, conhecida como camada de rede. Ela é a responsável pelo endereçamento lógico dos dispositivos de rede e pelo roteamento dos pacotes. O endereçamento lógico, também conhecido como endereço IP, é um número que identifica a rede e o host. É também nessa camada que ocorre o roteamento, que é o processo de determinação do melhor caminho. Ele pode ser classificado em: estático (configurado manualmente pelo administrador de redes) e dinâmico (configurado por meio de um protocolo de roteamento) (OLIVEIRA; MELO, 2021).



Lembrete

O pacote é a PDU da camada de rede.

Partindo para os níveis mais baixos da arquitetura de redes, encontramos as camadas de enlace de dados (camada 2) e a física (camada 1). A camada de enlace de dados é responsável por gerenciar o circuito de transmissão implementado na camada física. Ela também é responsável por realizar detecção e correção de erros. Isso acontece na formação do quadro da camada de enlace de dados, que normalmente possui um campo de controle de erros.

A camada de enlace de dados isola de modo efetivo os processos de comunicação das camadas superiores a partir das transições de meio físico que podem ocorrer fim a fim. Assim, o meio físico

fica totalmente "livre" de qualquer preocupação com as particularidades de um pacote gerado pela camada de rede.

Outro ponto interessante no relacionamento da camada de enlace de dados com a camada de rede reside no encapsulamento do pacote no quadro. Caso o pacote recebido na camada de enlace de dados seja maior do que a capacidade do quadro, ocorre uma fragmentação em tantos quadros quantos forem necessários para a transmissão e adequação ao meio físico. Assim, o quadro gerado é enviado para a camada física e transformado em bits para a transmissão.



Lembrete

O quadro é a PDU da camada de enlace de dados.

Uma das principais funcionalidades da camada de enlace é a criação de um esquema de endereçamento físico de conotação local, diferentemente da camada de rede, que opera com um esquema de endereçamento global, relacionado ao IP. Para as redes locais o endereço físico é conhecido como endereço de controle de acesso ao meio (MAC – *Media Access Control*).

A camada física do modelo OSI é responsável por definir os meios físicos de transmissão utilizados nos enlaces para transporte dos bits, além de todos os seus padrões mecânicos e elétricos. Ela recebe os quadros oriundos da camada de enlace de dados e os transforma em bits. Esses bits são codificados e passam por alguns outros processos, até que sejam transmitidos no meio físico e cheguem ao receptor.



Lembrete

O bit é a PDU da camada física.

Em contraponto às camadas 7, 6, 5 e 4, White (2012, p. 18) menciona que:

as três camadas restantes, as camadas de rede, enlace de dados e física, não são camadas ponta a ponta. Elas executam suas operações em cada nó ao longo do caminho de rede, não somente nos pontos finais.

Para compreender melhor o processo de encapsulamento que ocorre a partir dos dados, passando pelo segmento, chegando ao pacote, passando pelo quadro e finalizando em bits, é possível observar a figura a seguir que apresenta a sequência de cabeçalhos incluído em todo este processo.

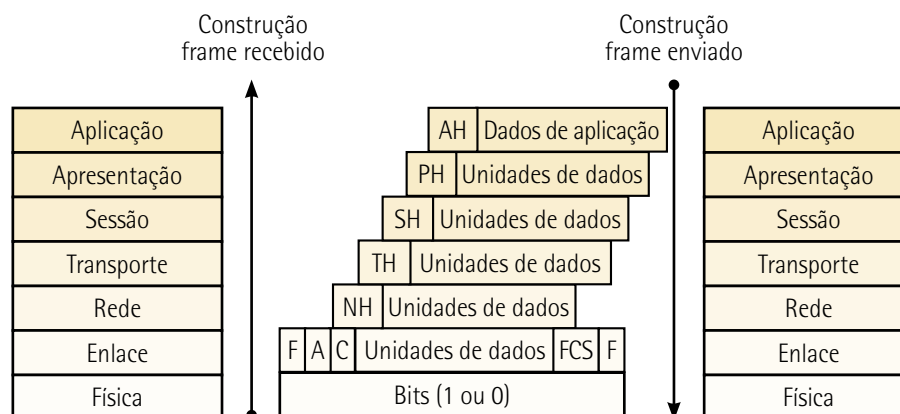


Figura 23 – Processo de encapsulamento no modelo OSI

Adaptada de: Moraes (2020, p. 58).



Saiba mais

Para conhecer um pouco mais o modelo OSI e as suas camadas, leia o capítulo 1 do seguinte livro:

TANENBAUM, A.; FEAMSTER, N.; WETHERALL, D. *Redes de computadores*. Tradução: Daniel Vieira. 5. ed. Rio de Janeiro: Pearson Prentice Hall, 2021.

2.2 Modelo TCP/IP

2.2.1 Histórico do modelo TCP/IP e as suas camadas

O modelo TCP/IP, desenvolvido muito antes do modelo OSI, traz uma das arquiteturas de redes mais conhecidas ao longo da história da tecnologia da informação e foi criada entre as décadas de 1960 e 1970. Ela é considerada a precursora da internet, além de ser a base de funcionamento da Arpanet. O nome deste modelo veio dos dois principais protocolos utilizados (IP e TCP).

Forouzan (2010) menciona que:

O TCP/IP é um conjunto de protocolos hierárquicos, compostos por módulos interativos, cada um dos quais provendo funcionalidades específicas; entretanto, os módulos não são necessariamente interdependentes. Enquanto o modelo OSI especifica quais funções pertencem a cada uma de suas camadas, as camadas do conjunto de protocolos TCP/IP contêm protocolos relativamente independentes que podem ser mesclados e combinados dependendo das necessidades do sistema. O termo hierárquico significa que cada protocolo de nível superior é suportado por um ou mais protocolos de nível inferior.

O modelo TCP/IP está fundamentado em uma arquitetura de quatro camadas de software construídos sobre o hardware de redes. As camadas são: aplicação, transporte, internet e interface de rede. A figura a seguir apresenta a ideia das camadas do modelo TCP/IP (FOROUZAN; MOSHARRAF, 2013).

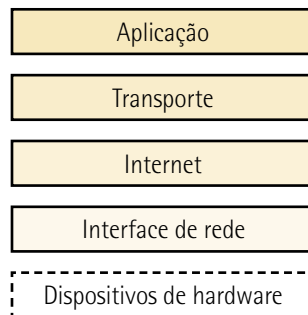


Figura 24 – Camadas do modelo TCP/IP

Adaptada de: Forouzan e Mosharraf (2013, p. 12).



Observação

Observando as camadas do modelo TCP/IP, percebemos que algumas delas têm até o mesmo nome daquelas que constam no modelo OSI. No entanto, é necessário alertar que elas não são idênticas, embora tenham algumas semelhanças.

Começemos pela camada de aplicação, já mencionando que é a mais próxima do usuário e acumula as funções das três camadas superiores do modelo OSI. É nesta camada que funciona a comunicação processo a processo, por meio de protocolos predefinidos nos dois hosts (origem e destino).



Lembrete

As três camadas superiores do modelo OSI são: aplicação (camada 7), apresentação (camada 6) e sessão (camada 5).

A camada de transporte do modelo TCP/IP é também conhecida como camada host-to-host, pelo fato de oferecer uma conexão lógica (podemos dizer até imaginária) entre a origem e o destino. Sua principal funcionalidade é oferecer um transporte para os dados oriundos da camada de aplicação. Este transporte pode ter altíssima qualidade (conhecido como orientado a conexão) ou pode ser com maior velocidade, prescindindo da qualidade (conhecido como sem conexão). É nesta camada que encontramos os protocolos TCP (orientado a conexão) e UDP (sem conexão).

Observação

Por definição, o transporte proporcionado pelo modelo OSI objetiva sempre a maior qualidade, ou seja, é orientado a conexão. Diferente do modelo TCP/IP, que pode proporcionar dois tipos de transportes diferentes, sendo um orientado a conexão e o outro sem conexão.

A camada internet do modelo TCP/IP exerce papel semelhante ao da camada de rede do modelo OSI. Ela é responsável pelo processo de endereçamento lógico e pelo roteamento de pacotes dentro de um domínio lógico. É nesta camada que encontramos o protocolo IP e os outros que dão suporte ao seu funcionamento como o ICMP (*Internet Control Message Protocol* – Protocolo de Mensagem de Controle da Internet) e o ARP (*Address Resolution Protocol* – Protocolo de Resolução de Endereços).

A camada de interface de rede do modelo TCP/IP, também conhecida como acesso à rede, ou simplesmente camada de acesso, é aquela que mais se aproxima do meio físico e do hardware de rede, definindo os protocolos de acesso ao meio físico. Esta camada agrega as funcionalidades da camada de enlace e parte da camada física do modelo OSI.

2.2.2 Relacionamento entre os modelos TCP/IP e OSI

Sob o aspecto teórico, o modelo OSI é o mais citado e o mais didático para o aprendizado das redes de computadores. Não obstante, o modelo TCP/IP se aproxima mais da realidade e do funcionamento das redes. Assim, é possível estabelecer uma comparação entre as camadas dos dois modelos, conforme pode-se observar na figura a seguir.

Modelo OSI		Modelo TCP/IP
Camada de aplicação	}	Camada de aplicação
Camada de apresentação		
Camada de sessão		
Camada de transporte	}	Camada de transporte
Camada de rede	}	Camada de internet
Camada de enlace	}	Camada de acesso
Camada física		

Figura 25 – Comparação entre os modelos OSI e TCP/IP

Pode-se perceber que a camada de aplicação do modelo TCP/IP agrupa as funcionalidades das camadas de aplicação, apresentação e sessão do modelo OSI. O mesmo acontece com as camadas de enlace de dados e física do modelo OSI, reunidas em apenas uma camada no modelo TCP/IP – a camada de acesso. As camadas de transporte dos dois modelos são praticamente equivalentes (diferindo apenas

nas questões de orientação a conexão), e a camada de rede do modelo OSI corresponde à camada de internet do modelo TCP/IP.

Tanenbaum, Feamster e Wetherall (2021) mencionam a existência de imperfeições e imprecisões nos dois modelos (OSI e TCP/IP). Primeiro sobre o modelo OSI, os autores mencionam uma falta de adesão por parte de fabricantes e organizações devido a quatro razões distintas a seguir:

- Desenvolvimento do modelo OSI em um momento em que o TCP/IP era fortemente utilizado nos meios acadêmicos e científicos.
- Projeto do modelo OSI com diversas falhas e excessos de complexidade (controle de erro e fluxo repetidamente executado em diversas camadas), apresentando camadas com funções esvaziadas (apresentação e sessão).
- Processo de implementação do modelo OSI era pesadoso, lento e gigantesco, gerando grandes resistências na sua adesão.
- Visão de que o modelo OSI era algo criado por governos e burocratas desalinhados do mercado tecnológico das redes de computadores.

Partindo agora para o modelo TCP/IP encontramos outras imperfeições apontadas por Tanenbaum, Feamster e Wetherall (2021). O primeiro problema está relacionado à ausência de uma definição clara de serviços, interfaces e protocolos, muito bem definidos pelo modelo OSI.

O segundo problema do modelo TCP/IP é a limitação no desenho e aderência a outras pilhas de protocolos de redes diferentes. Um bom exemplo é o bluetooth, como tecnologia impossível de ser descrita dentro da pilha de protocolos TCP/IP (TANENBAUM; FEAMSTER; WETHERALL, 2021).

O terceiro problema do modelo TCP/IP reside na falta de definição adequada dos níveis físicos e de enlace de dados, que são tão bem definidos no modelo OSI. Para atender a necessidade de padrões de nível físico e de enlace de dados, o modelo TCP/IP oferece a camada de acesso à rede, que é incapaz de detalhar protocolos de forma adequada para os dois níveis (enlace de dados e físico) ao mesmo tempo (TANENBAUM; FEAMSTER; WETHERALL, 2021).

2.2.3 Modelo híbrido

Observando as imperfeições e os aspectos positivos de ambos os modelos (TCP/IP e OSI), as redes de computadores e a internet funcionam com um modelo em cinco camadas. Alguns autores chamam este modelo de TCP/IP adaptado, outros chamam de modelo híbrido, e outros, de modelo em cinco camadas, que pode ser observado na figura a seguir (TANENBAUM; FEAMSTER; WETHERALL, 2021; FOROUZAN; MOSHARRAF, 2013).

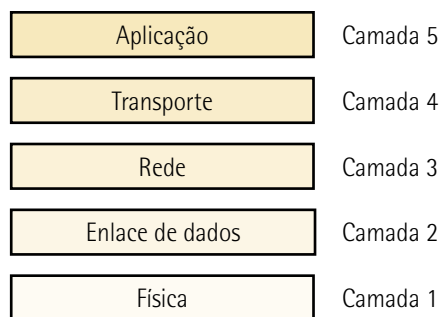


Figura 26 – Modelo híbrido de redes

Adaptada de: Forouzan e Mosharraf (2013, p. 12).

Neste modelo híbrido, encontramos a camada 1 (física) e camada 2 (enlace de dados) idênticas àquelas de mesmo nome encontradas no modelo OSI. Encontramos ainda a camada 3 (rede) que compartilha funcionalidades da camada de internet do modelo TCP/IP e da camada de rede do modelo OSI. As camadas 4 (transporte) e 5 (aplicação) são idênticas àquelas de mesmo nome encontradas no modelo TCP/IP.

O quadro a seguir traz um pequeno resumo sobre estas camadas e as suas funcionalidades.

Quadro 2 – Funcionalidades das camadas do modelo híbrido

Camada	Funções
Aplicação	Web, correio eletrônico, transferência de arquivos e serviços de nomes
Transporte	Comunicação fim a fim, início e término de conexões lógicas, e controle de fluxo fim a fim
Rede	Endereçamento lógico, roteamento, fragmentação, qualidade de serviço e controle de congestionamento
Enlace de dados	Enquadramento, detecção e tratamento de erros, endereçamento físico, controle de fluxo e controle de acesso ao meio
Física	Sinalização, interface com o meio de transmissão, início e término de conexões, sincronização e multiplexação

Adaptado de: Maia (2013, p. 25).

Estas camadas estabelecem um processo de comunicação horizontal (entre os hosts de origem e os hosts de destino) e vertical (entre as camadas vizinhas). A figura a seguir apresenta esta ideia de comunicação.

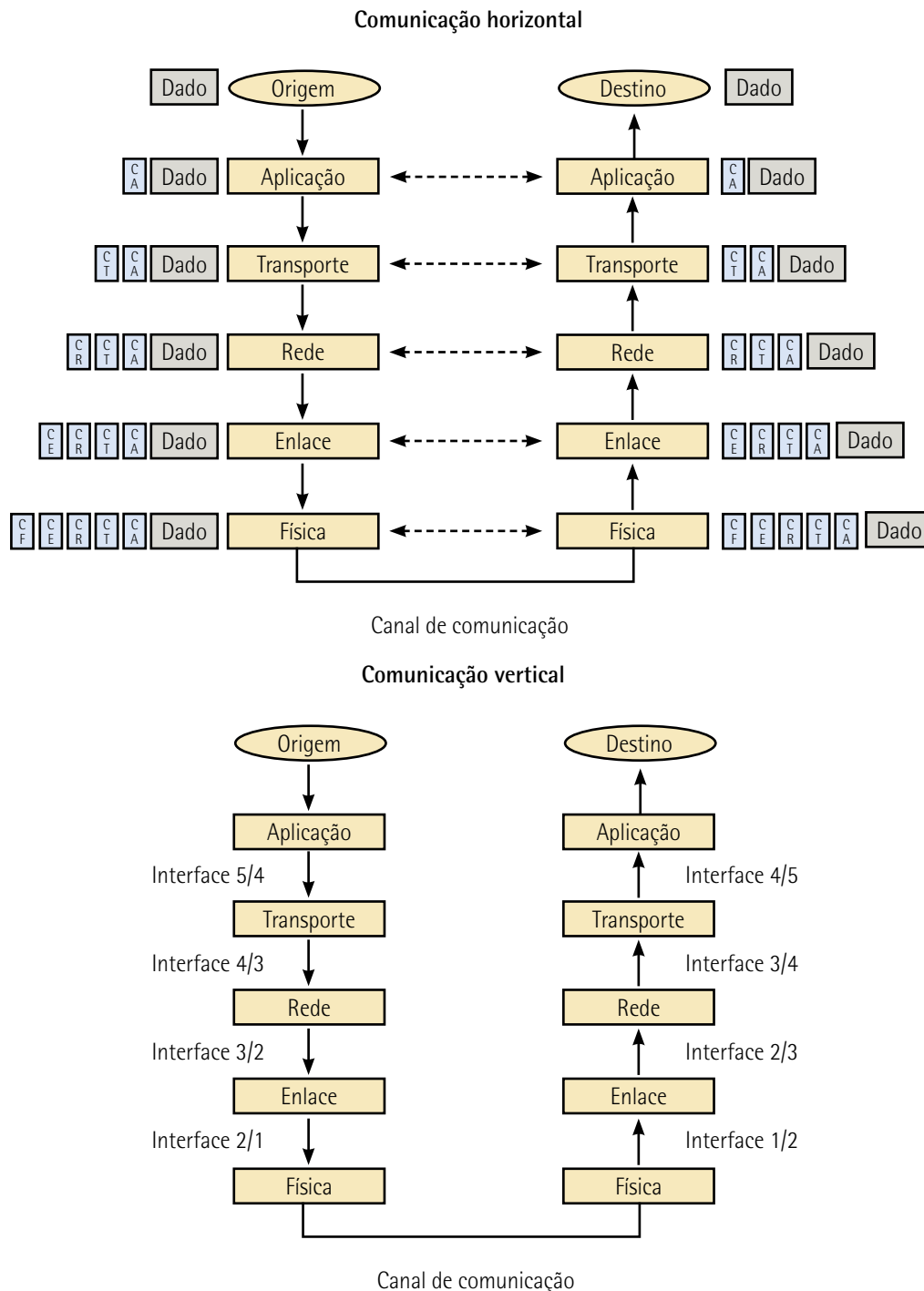


Figura 27 – Comunicação Horizontal e Vertical entre as camadas do modelo híbrido

Adaptada de: Maia (2013, p. 26).

Neste modelo o processo de encapsulamento é o mesmo. Iniciando com a geração de dados na camada 5 (aplicação), depois sendo encapsulado em segmentos na camada 4 (transporte). Em seguida, temos os segmentos sendo encapsulados em pacotes na camada 3 (rede). Na camada 2 (enlace de dados) os pacotes são encapsulados em quadros, que são transformados em bits na camada 1 (física). Este processo de encapsulamento, bem como desencapsulamento, pode ser visto na figura a seguir.

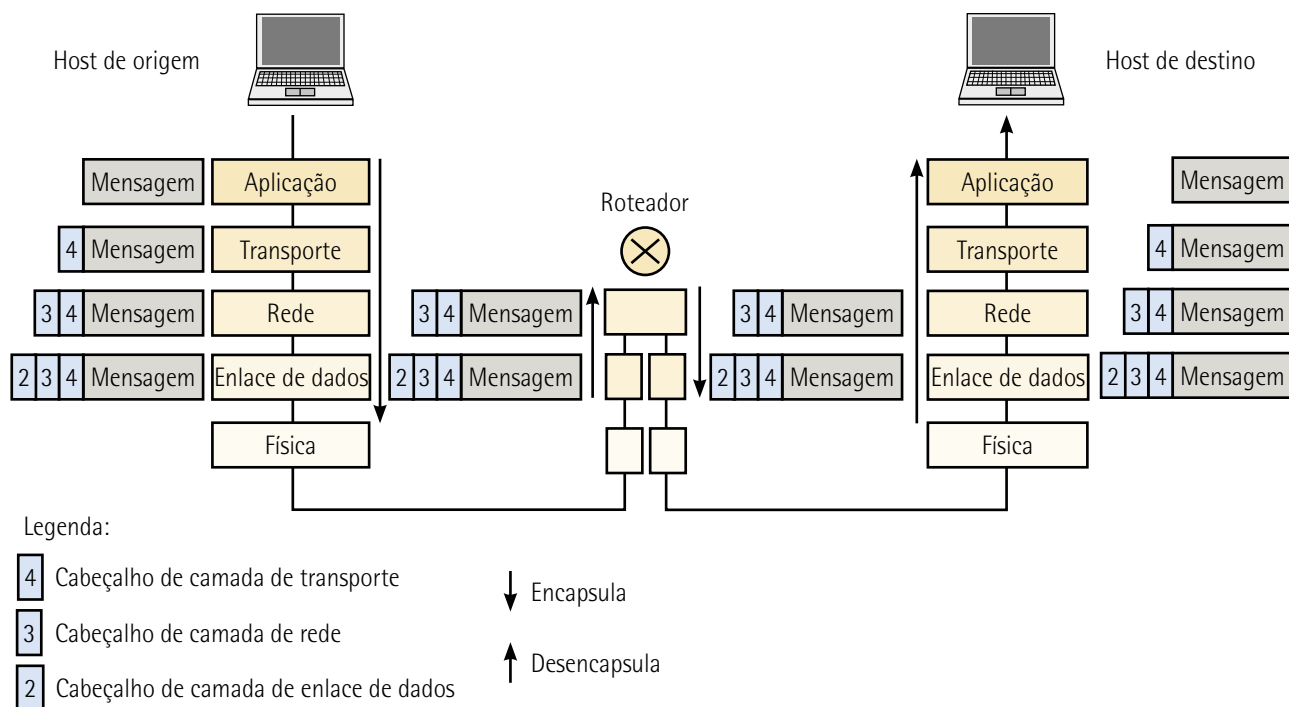


Figura 28 – Encapsulamento e desencapsulamento

Adaptada de: Forouzan e Mosharraf (2013, p. 17).

É importante mencionar também que em cada uma das camadas da arquitetura de rede apresentada como híbrida, há uma concepção do processo de endereçamento em cada uma das PDUs, com exceção da camada física que opera apenas em nível de bit. A próxima figura apresenta estes endereços (identificação) nas PDUs das camadas.

Camadas	Endereços
Camada de aplicação	Nomes
Camada de transporte	Números de porta
Camada de rede	Endereços lógicos
Camada de enlace de dados	Endereços da camada de enlace
Camada física	

Figura 29 – Endereçamento nas camadas do modelo híbrido

Adaptada de: Forouzan e Mosharraf (2013, p. 18).

2.2.4 Arquiteturas e dispositivos de rede

Além dos protocolos, que são agrupados em camadas, encontramos também os dispositivos como elementos fundamentais das redes de computadores. A operação e o funcionamento destes se dá a partir das padronizações estabelecidas, principalmente em se tratando de dispositivos intermediários.



Lembrete

Os dispositivos de rede podem ser classificados em finais (utilizados pelos usuários) e intermediários (que interligam dispositivos finais).

Neste sentido, merecem destaque três dispositivos específicos: roteadores, switches e hubs.

O hub foi um dos primeiros dispositivos intermediários em redes de computadores que utilizavam como meio físico o cabo de par metálico trançado, também conhecido como cabo UTP. O hub se comporta como um concentrador de rede responsável por executar a repetição de sinais. Assim, quando um hub recebe um determinado bit em uma de suas portas, ele repete este sinal de forma regenerada e amplificada para todas as outras portas. Por este motivo, normalmente afirma-se que o hub é um equipamento de camada 1 (física), por trabalhar apenas com a PDU bit, repetindo fisicamente sinais recebidos.

O outro dispositivo de destaque é o switch, que também funciona como um concentrador de rede, mas com funções de comutação. Ou seja, quando um switch recebe um quadro em uma de suas portas, ele analisa qual é o endereço físico de destino e encaminha para a porta correta, evitando tráfego desnecessário em outros segmentos de rede.

O switch executa a comutação baseado em uma tabela armazenada em sua memória, que relaciona endereços físicos e portas (interfaces). Por este motivo, é comum afirmarmos que um switch é um dispositivo de camada 2 (enlace de dados), por trabalhar com a PDU quadro, comutando-os de forma adequada.



Observação

Como o hub trabalha no nível físico, sem fazer qualquer filtragem ou análise prévia do sinal a ser repetido, é comum nos referirmos a ele como um equipamento "burro". Como o switch efetua comutação de quadros com todo tipo de filtragem e análise prévia, é comum nos referirmos a ele como um equipamento "inteligente".

O terceiro dispositivo notável na operação das redes de computadores é o roteador. O seu papel é executar o processo de determinação do melhor caminho para os pacotes, ou seja, efetuar o roteamento.

Como o roteador trabalha com a PDU pacotes, é comum nos referirmos a ele como um dispositivo de camada 3 (rede).

A figura a seguir apresenta uma pequena topologia de rede contendo dispositivos finais, switches e um roteador. É possível perceber como se dá o processo de comunicação por meio das camadas do modelo híbrido e os dispositivos.

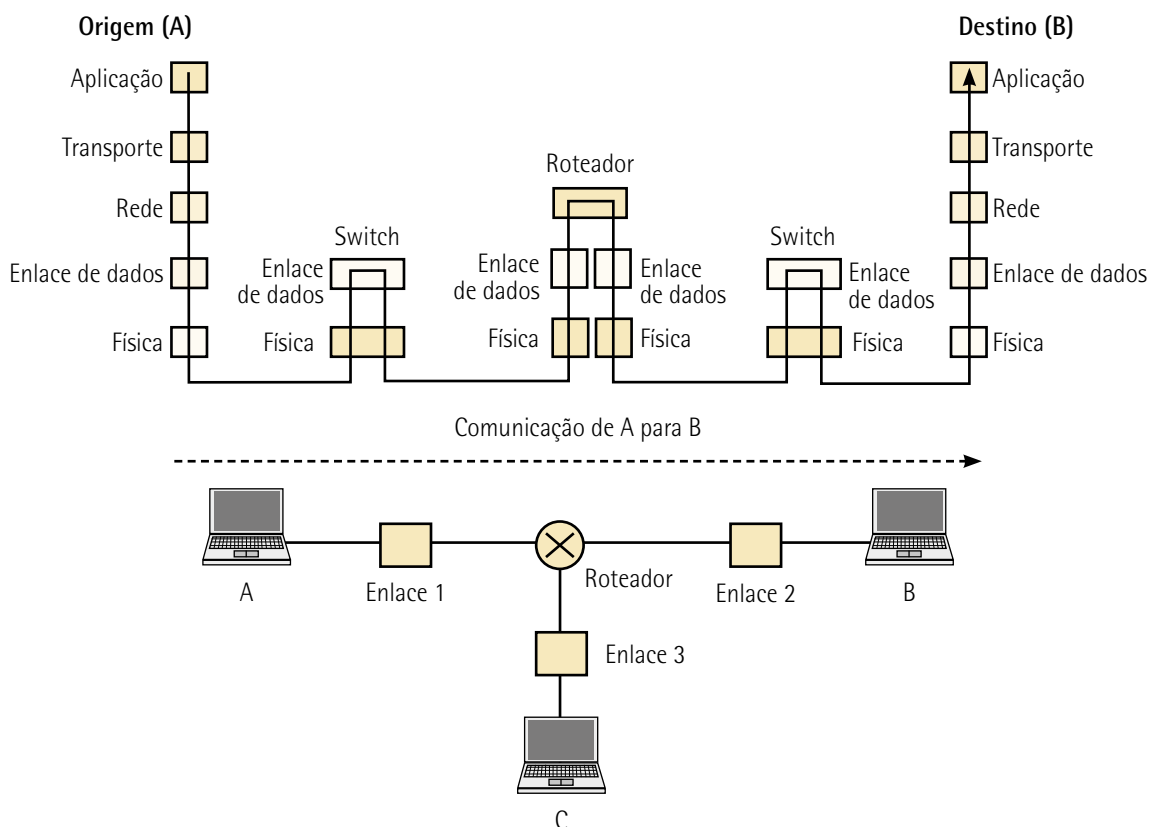


Figura 30 – Comunicação entre os dispositivos e as suas camadas

Adaptada de: Forouzan e Mosharraf (2013, p. 13).

Observe, nesta figura, que temos a transmissão de mensagens entre o host de origem "A" e o host de destino "B". No host de origem "A" ocorre o processo de encapsulamento (dados, segmento, pacote, quadro e bits).

Quando a mensagem chega até o switch situado no enlace 1, ocorre o processo de desencapsulamento até que se chegue a camada 2 (enlace de dados) e o switch descubra o endereço físico de destino contido no quadro e consiga efetuar a comutação para a porta (interface) correta. Logo após isso, ocorre um novo encapsulamento e envio da mensagem para o roteador.

Ainda neste exemplo, o roteador recebe a mensagem e procede com o desencapsulamento até que se chegue à camada 3 (rede) e o roteador descubra o endereço lógico de destino contido no

pacote e consiga efetuar o roteamento para a porta (interface) correta. Logo após isso, ocorre um novo encapsulamento e envio da mensagem para o switch situado no enlace 2.

O switch do enlace 2 procede de forma semelhante ao switch do enlace 1 e comuta o quadro pela porta (interface) correta, chegando assim ao host de destino "B".

3 PADRÕES E PROTOCOLOS DE CAMADA FÍSICA

Considerando uma abordagem de baixo para cima no modelo em camadas mencionado no tópico anterior, encontramos a camada 1, chamada de física. A sua principal funcionalidade está relacionada a utilização e definição dos meios físicos, além dos seus padrões e interfaces elétricas e mecânicas.

A partir do processo de encapsulamento, os quadros oriundos da camada de enlace de dados chegam até a camada física e são transformados em bits, que passam por diversos processos como codificação, sinalização, sincronização, modulação, multiplexação, entre outros. Desta forma, a mensagem consegue trafegar pelo meio físico saindo da origem em direção ao destino.

O objetivo deste tópico é conhecer um pouco sobre os padrões desta camada, abordando também os meios de transmissão e as suas particularidades. Vamos mencionar os meios de transmissão: cabo coaxial, cabos de pares metálicos, cabos de fibra óptica e o meio sem fio.

3.1 Processos na camada física

3.1.1 Sinais na camada física

Considerando o nosso modelo híbrido adotado para a arquitetura de redes, a camada física é a mais baixa na hierarquia, comportando-se como o alicerce na construção da conectividade entre computadores. Isto se dá porque é neste nível que definimos padrões mecânicos e elétricos para os meios físicos (TANENBAUM; FEAMSTER; WETHERALL, 2021).

Existem padrões de camada física para WAN e para LAN. Em uma WAN, definem-se as interfaces de conexão utilizadas nas duas pontas (lado do provedor do serviço e lado do cliente). Em uma LAN, definem-se as conexões locais e padrões de conexão com os meios físicos. Seja para WAN, seja para LAN, a definição desses padrões é de grande importância, justamente por ser esse, praticamente, o primeiro passo na implementação de redes de computadores.

No nível físico a transmissão de bits (PDU desta camada) ocorre da forma mais eficiente possível para melhor aproveitar o meio de transmissão. Estes bits são guiados no canal de comunicação por meio de sinais, que podem ser ópticos, elétricos ou na forma de ondas eletromagnéticas.



Lembrete

Os sinais podem ser analógicos (contendo um número infinito de valores em um intervalo de tempo) e digitais (contendo um número finito de valores em um intervalo de tempo).

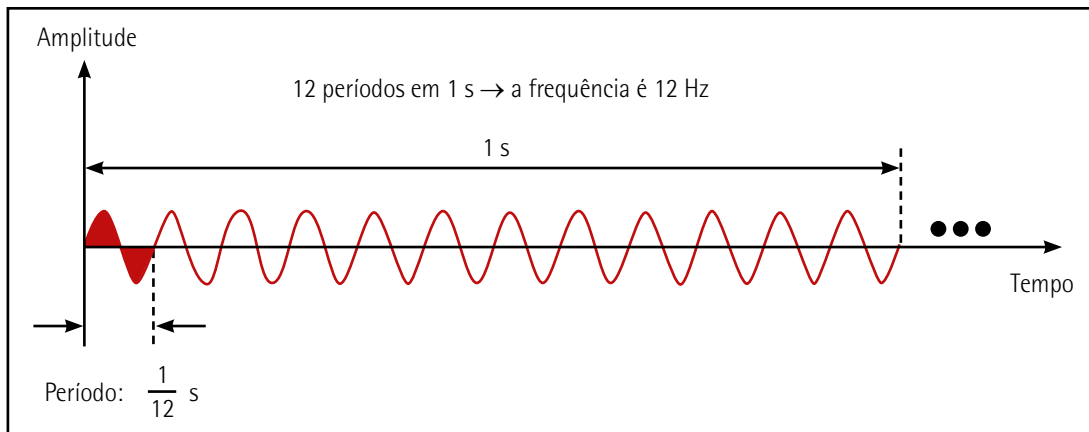
Embora a maioria dos sinais transmitidos sejam digitais, não podemos prescindir do conhecimento dos sinais analógicos, porque eles são utilizados no processo de modulação. Conforme já mencionado, os sinais analógicos são caracterizados por diversas especificidades (período, fase, amplitude e frequência). Entre estes, encontramos a frequência, que representa o número de ciclos (pulsos ou períodos) em 1 segundo, normalmente dada em hertz, com os seus múltiplos e submúltiplos. Assim, encontramos uma relação muito forte entre período e frequência em um sinal. O quadro a seguir apresenta uma relação entre as unidades de frequência (dado em Hertz) e unidades de período (dado em segundos).

Quadro 3 – Relação entre as unidades de período e frequência

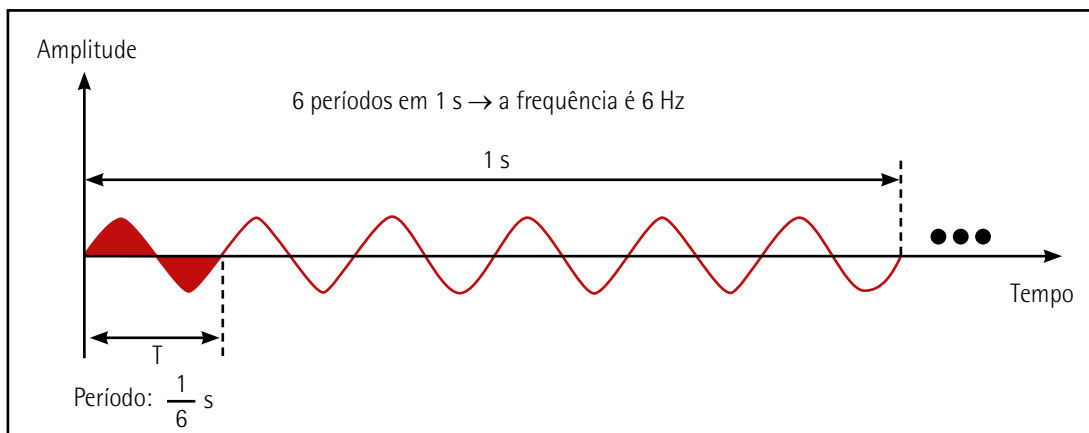
Unidade de período	Equivalência	Unidade de frequência	Equivalência
Segundos (s)	1 s	Hertz (Hz)	1 Hz
Milissegundos (ms)	10^{-3} s	Quilohertz (kHz)	10^3 Hz
Microssegundos (μ s)	10^{-6} s	Megahertz (MHz)	10^6 Hz
Nanossegundos (ns)	10^{-9} s	Gigahertz (GHz)	10^9 Hz
Picossegundos (ps)	10^{-12} s	Terahertz (THz)	10^{12} Hz

Adaptada de: Forouzan (2010, p. 61).

Para melhor fixar o conceito de frequência, a figura a seguir apresenta dois sinais senoidais de frequências diferentes. O primeiro sinal tem uma frequência de 12 Hz, ou seja, com 12 ciclos (períodos) por segundo. O segundo sinal tem uma frequência de 6 Hz, ou seja, 6 ciclos (períodos) por segundo.



Um sinal com frequência de 12 Hz

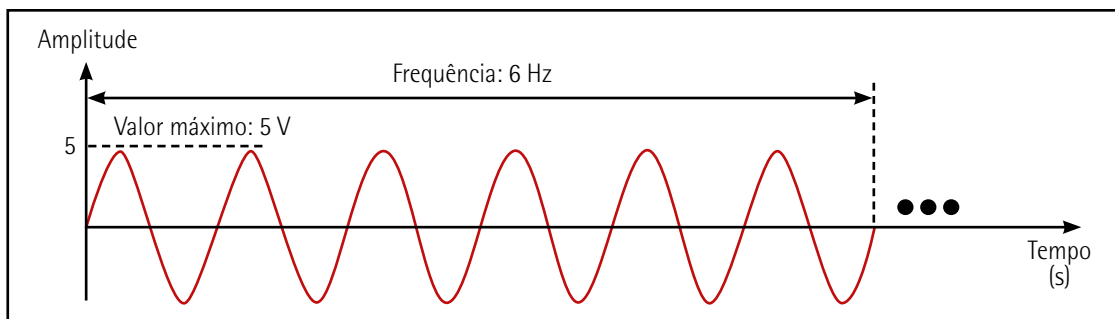


Um sinal com frequência de 6 Hz

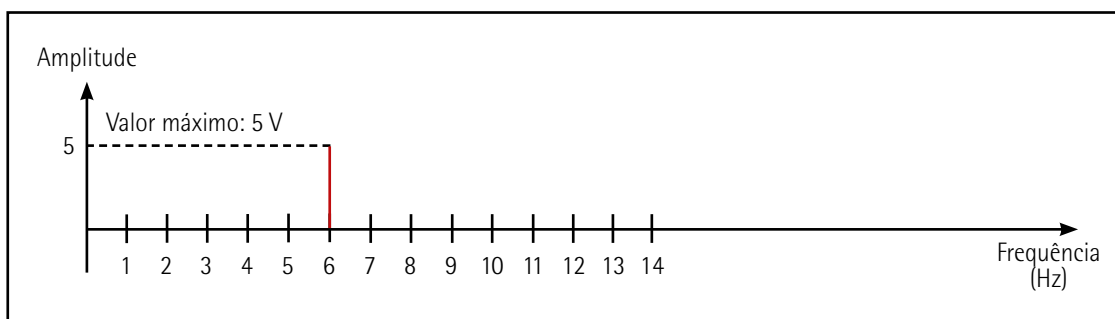
Figura 31 – Exemplos de sinais de frequências diferentes

Adaptada de: Forouzan (2010, p. 61).

Esta figura apresentou um conjunto de sinais representados no domínio do tempo, ou seja, com as variações dos seus valores em função do tempo. No entanto, é possível também representar estes mesmos sinais no domínio da frequência. Por meio da próxima figura é possível observarmos um mesmo sinal representado no domínio do tempo e no domínio da frequência. Neste caso, temos um sinal com frequência de 6 Hz e uma amplitude de 5 volts.



Uma onda senoidal no domínio do tempo (valor máximo: 5 V, frequência: 6 Hz)



A mesma onda senoidal no domínio da frequência (valor máximo: 5 V, frequência: 6 Hz)

Figura 32 – Representação de sinais no domínio do tempo e no domínio da frequência

Adaptada de: Forouzan (2010, p. 65).

Um bom exemplo da utilização do domínio da frequência se dá quando temos múltiplos sinais, conforme pode-se observar na figura a seguir.

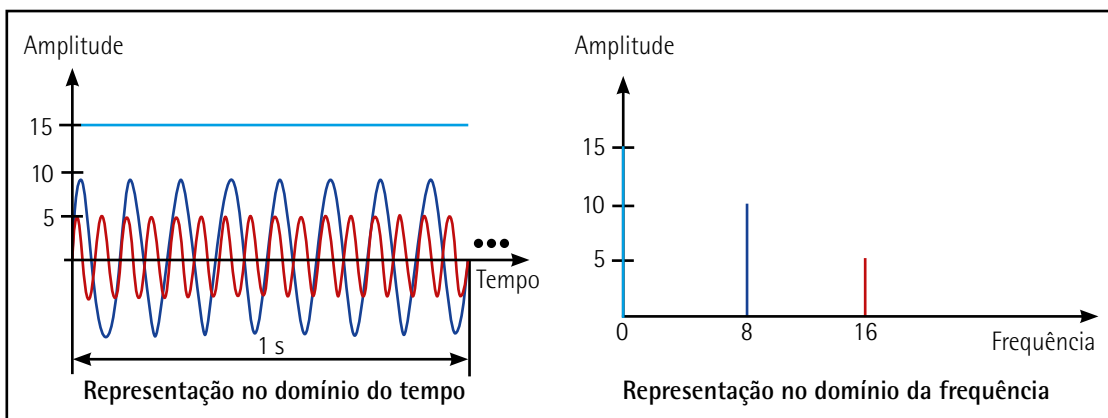


Figura 33 – Representação de múltiplos sinais no domínio da frequência

Adaptada de: Forouzan e Mosharraf (2013, p. 543).

Estes múltiplos sinais podem ser somados, gerando um sinal composto aperiódico ou periódico. A representação destes sinais no domínio da frequência tem diferenças. Por enquanto já observamos a representações dos sinais periódicos nas figuras 32 e 33. No caso de sinais aperiódicos encontramos

algumas diferenças que podem ser observadas na figura a seguir, por meio de um sinal de áudio criado por um microfone ou um telefone, quando o usuário pronuncia uma ou duas palavras.

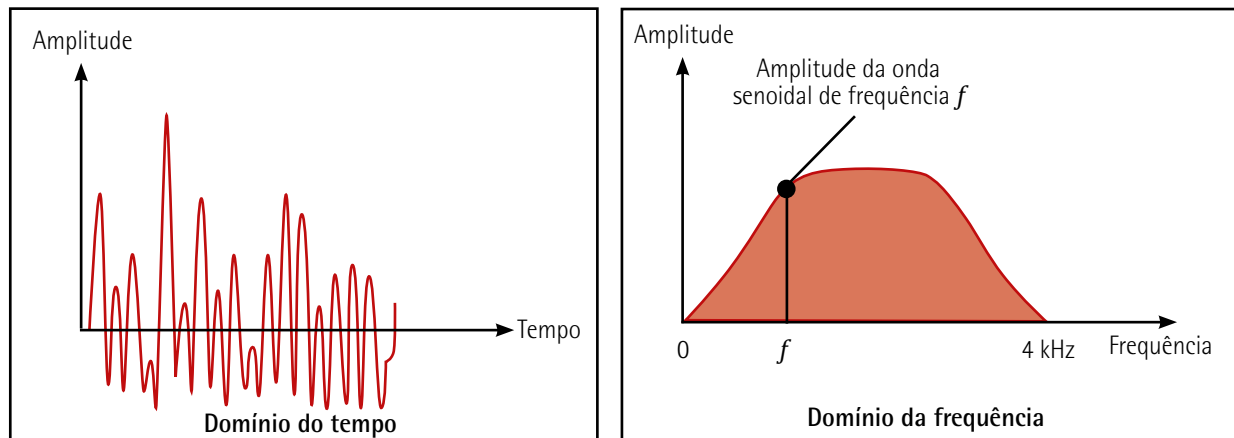


Figura 34 – Exemplo de sinal composto no domínio do tempo e no domínio da frequência

Adaptada de: Forouzan (2010, p. 68).

Partindo agora para os sinais digitais, encontramos outras características interessantes. A primeira delas é a quantidade de níveis em um sinal digital, que vai depender da quantidade de bits enviados por nível. A figura a seguir traz uma representação de dois sinais digitais, sendo o primeiro com 1 bit por nível (gerando dois níveis) e o segundo com 2 bits por nível (gerando quatro níveis).

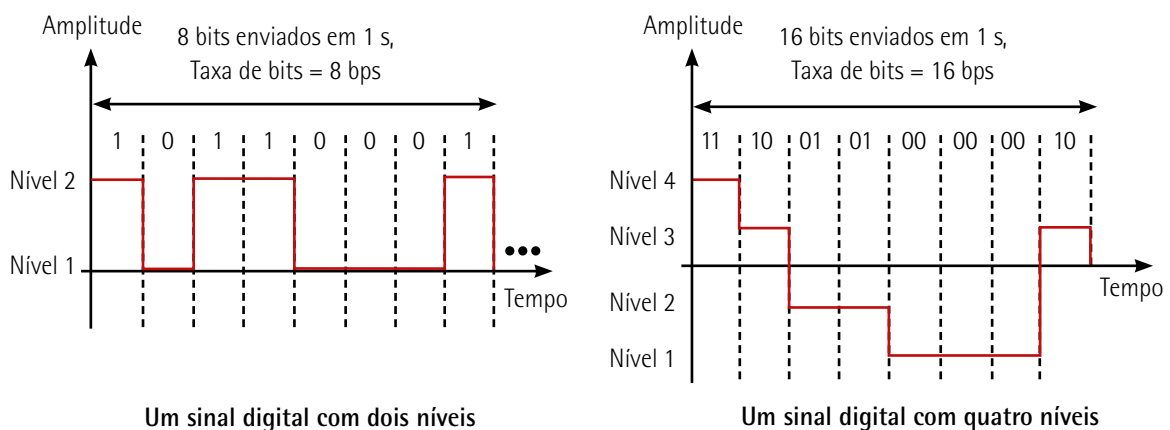


Figura 35 – Sinais digitais com dois níveis e quatro níveis

Adaptada de: Forouzan e Mosharraf (2013, p. 544).

Observando os sinais descritos nesta figura, percebemos que eles são aperiódicos. Esta é uma característica comum aos sinais digitais. Por isso, não é apropriado utilizar frequência e período para melhor descrevê-los. Em vez destas características, utilizamos a taxa de bits (também chamada de taxa de transferência), que se apresenta como a quantidade de bits enviados em 1 segundo, ou seja, bits por segundo (bps).

Uma terceira característica dos sinais digitais é chamada de comprimento do bit. Segundo Forouzan (2010, p. 73), "o comprimento de bits é a distância que o bit ocupa no meio de transmissão". O comprimento dos bits pode ser encontrado a partir do produto entre a velocidade de propagação e a duração dos bits.

Forouzan (2010) menciona que estes sinais digitais podem ser transmitidos de duas formas diferentes: transmissão em banda base e a transmissão em banda larga. Na transmissão em banda base o sinal digital é transmitido no meio físico sem que ele seja transformado em analógico. A figura a seguir apresenta esta ideia.

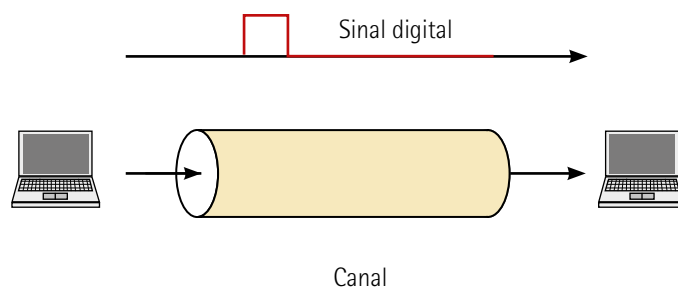


Figura 36 – Transmissão em banda base

Adaptada de: Forouzan e Mosharraf (2013, p. 546).

Na transmissão em banda larga há uma transformação do sinal digital em analógico por meio de um processo conhecido como modulação. Para facilitar a compreensão que circunda este tipo de transmissão, é preciso conhecer o conceito de largura de banda. Forouzan (2010, p. 69) define largura de banda como "o intervalo de frequências contido em um sinal composto".

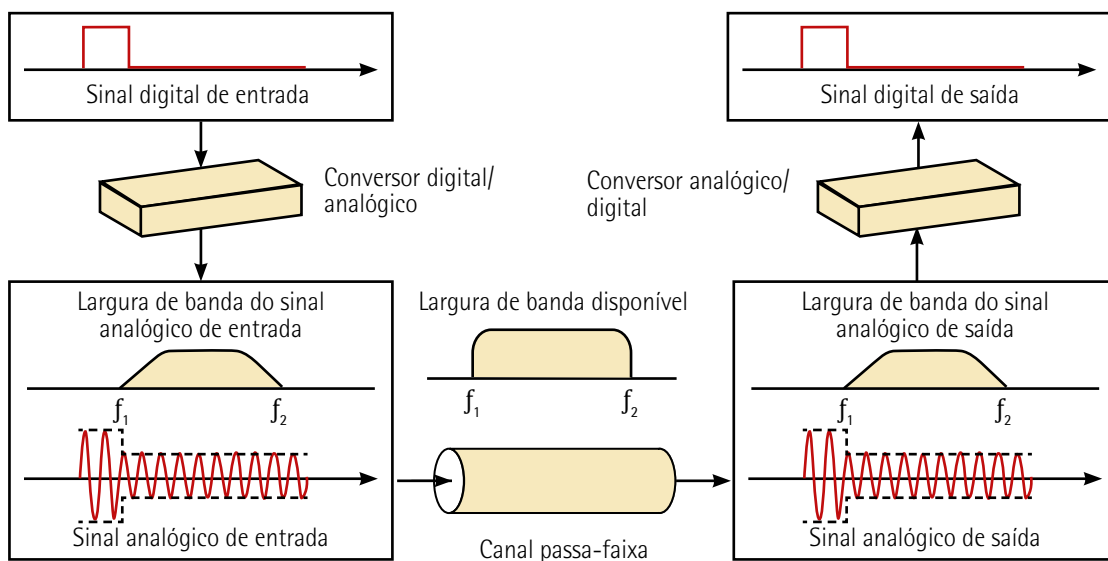


Figura 37 – Transmissão em banda larga

Adaptada de: Forouzan e Mosharraf (2013, p. 547).

3.1.2 Problemas na transmissão de sinais

No processo de transmissão de sinais, diversos problemas podem ocorrer em consequência da ação de efeitos e distúrbios indesejáveis. Entre eles é possível citar: atenuação, distorção, ruído e interferências.

O primeiro efeito indesejável é conhecido como atenuação. Sobre este efeito, Maia (2013, p. 49) menciona que:

é consequência da perda de potência do sinal transmitido à medida que o sinal percorre o canal de comunicação até atingir o destino. Nesse caso, o meio de transmissão funciona como um filtro, reduzindo a amplitude do sinal e impedindo que o receptor decodifique corretamente o sinal recebido.

A atenuação pode ser vencida a partir da utilização de amplificadores ou repetidores, que regeneram o sinal e recuperam a informação eventualmente perdida. Um bom exemplo seria uma LAN em que são utilizados cabos de pares metálicos, onde as normas preconizam que a distância entre dois dispositivos não exceda 100 metros, sob pena de a atenuação prejudicar o processo de comunicação de dados.

A figura a seguir apresenta a ideia de atenuação e de amplificação de sinais.

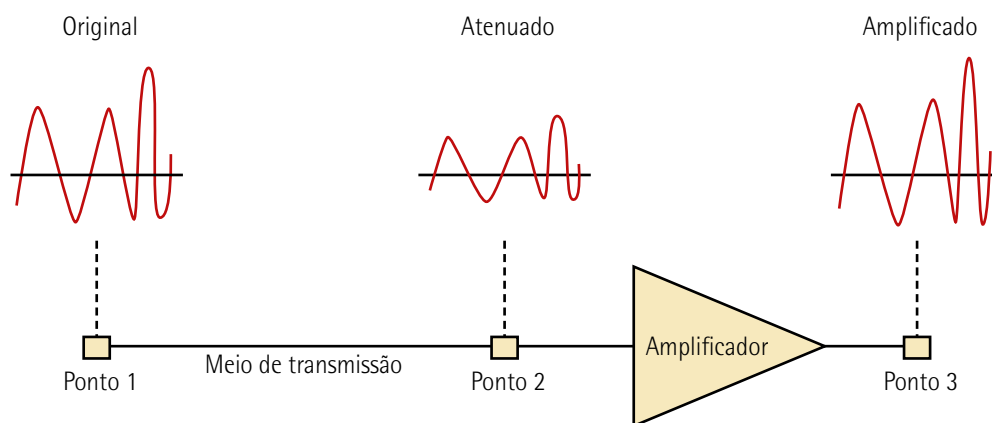


Figura 38 – Atenuação e amplificação de sinais

Adaptada de: Forouzan e Mosharraf (2013, p. 548).

O próximo efeito indesejável é conhecido como distorção, que gera uma alteração na forma do sinal. Como grande parte dos sinais transmitidos são compostos, o efeito da distorção pode se dar em todas as suas componentes, gerando diferenças de fase e retardo na transmissão. A figura a seguir apresenta o efeito da distorção em um sinal composto percebido no emissor e no receptor (FOROUZAN; MOSHARRAF, 2013).

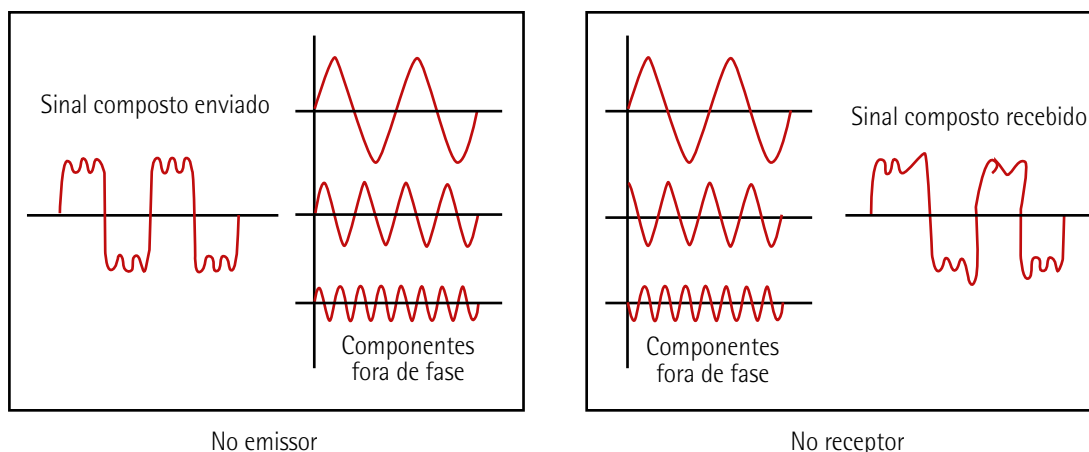


Figura 39 – Efeito da distorção em um sinal composto

Adaptada de: Forouzan (2010, p. 83).

O terceiro efeito indesejável é chamado de ruído. Ele é representado por um sinal aleatório de origem natural que provoca efeitos indesejáveis nos meios de transmissão. Os ruídos podem ser classificados em: ruídos térmicos (resultado da agitação dos elétrons nos átomos), ruídos atmosféricos (em consequência das descargas elétricas na atmosfera) e ruídos cósmicos (gerados por distúrbios fora da Terra).

A próxima figura apresenta os efeitos de um ruído em um meio de transmissão.

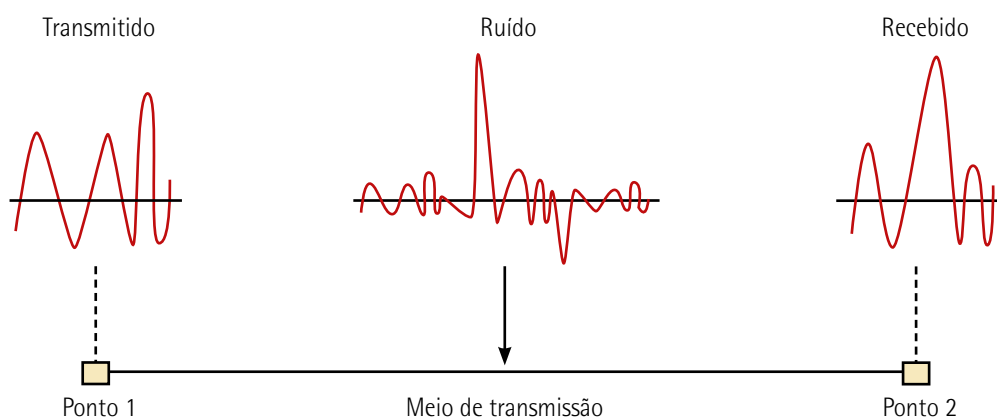


Figura 40 – Ruído em um meio de transmissão

Adaptada de: Forouzan e Mosharraf (2013, p. 549).

O ruído é de origem natural e, por esse motivo, não é possível extingui-lo. Assim, é necessário que o projeto que envolve os meios de transmissão considere a ação do ruído baseado em um parâmetro conhecido como relação sinal/ruído (S/R), que se apresenta como a razão entre a potência do sinal e a potência do ruído. A equação a seguir apresenta a forma de calcular a relação sinal/ruído.

$$S/R = \log_{10} \left(\frac{\text{Potência do sinal}}{\text{Potência do ruído}} \right)$$

Altos valores de relação sinal/ruído são desejáveis na transmissão de dados, de forma a preservar a conectividade entre os hosts. De outra maneira, quando a relação sinal/ruído é baixa, a recepção dos dados no destino fica prejudicada. A figura a seguir apresenta duas situações de relação sinal/ruído.

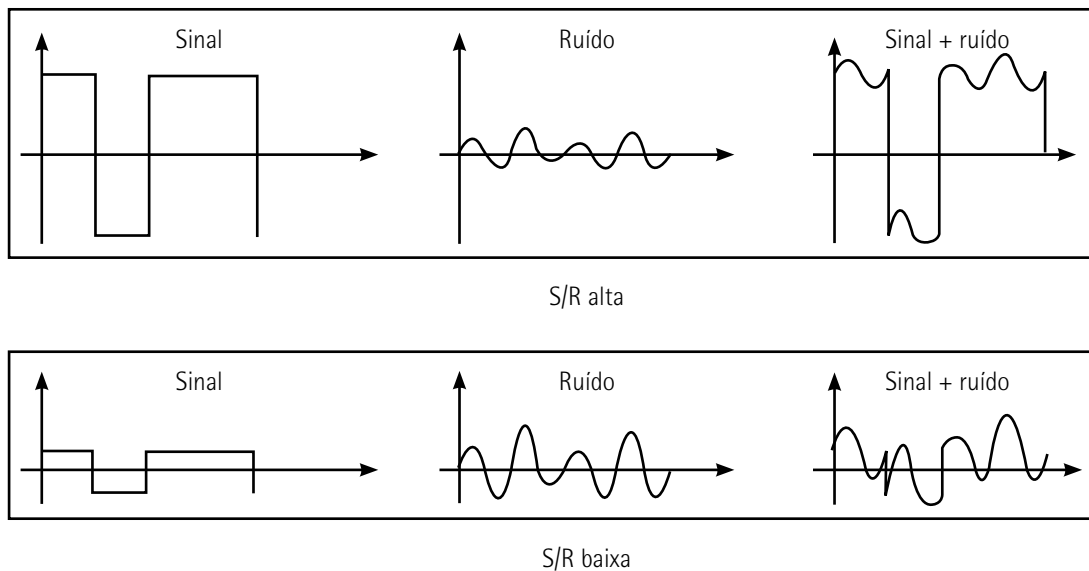


Figura 41 – Exemplos de relação sinal/ruído

Adaptada de: Forouzan e Mosharraf (2013, p. 550).

O quarto efeito indesejável é chamado de interferência. Trata-se de um sinal de origem humana que invade o canal de comunicação, atrapalhando e dificultando o processo de comunicação. Esse tipo de distúrbio é também conhecido como atuação de sinais espúrios.

3.1.3 Codificação de linha

Todo o trabalho da camada física consiste na transformação dos dados em sinais que antes passam por um processo de codificação de linha na origem. Depois disso, eles são transmitidos e decodificados no destino. A figura a seguir ilustra bem este processo de codificação/decodificação (MAIA, 2013).

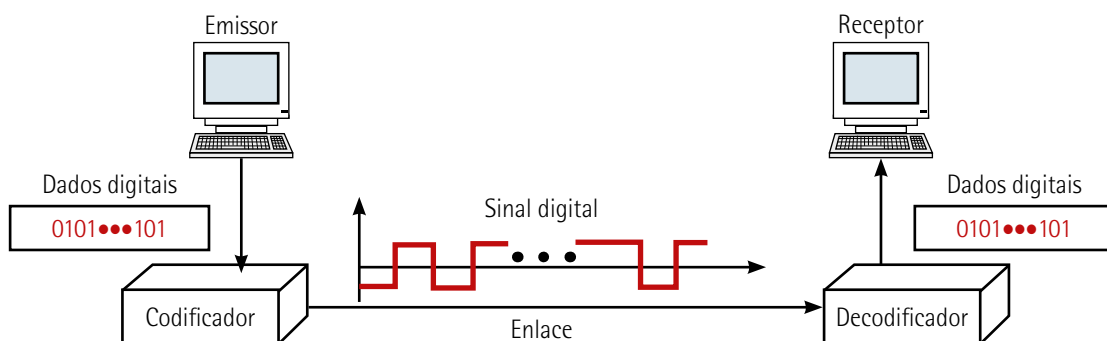


Figura 42 – Codificação/decodificação de dados

Adaptada de: Forouzan (2010, p. 102).

A codificação de linha é uma tarefa desenvolvida pela camada física com o intuito de converter um conjunto de bits de dados em um código predefinido. Os códigos, na verdade, representam um grupo de bits usado como um padrão previsível e reconhecível por transmissor e receptor.

Esses códigos da camada física fornecem grupos de bits que contêm dados e grupos de bits de controle. A ideia principal da codificação é transformar uma mensagem digital em uma nova sequência de símbolos para a transmissão. Na recepção, ocorre um processo de decodificação.

O processo de codificação para a transmissão no canal de comunicação introduz redundância controlada para melhorar o desempenho da transmissão em um canal ruidoso. Esse processo também permite o aumento da largura de banda e elimina muitos erros em baixos valores da relação sinal-ruído.

Há quatro categorias de codificação, e cada uma delas apresenta pelo menos um esquema de codificação. O quadro a seguir apresenta as principais categorias e esquemas.

Quadro 4 – Categorias e esquemas de codificação

Categoria	Esquema
Unipolar	NRZ
Polar	NRZ-L
	NRZ-I
	Bifásico (Manchester)
Bipolar	AMI
	Pseudoternário
Multinível	2B1Q
	8B6T
	4D-PAM5
Multilinha	MLT-3

Adaptado de: Comer (2000, p. 94) e Forouzan (2010, p. 106).

Um primeiro padrão de codificação conhecido é o NRZ (*Non-Return-to-Zero* – Sem Retorno ao Zero), e assim é chamado porque o sinal não retorna ao zero no “meio” do bit. No NRZ um bit 0 é representado por um nível lógico baixo, e um bit 1 é representado por um nível lógico alto. Dessa maneira, esses dois bits são convertidos em sinal elétrico de tensão. A figura a seguir apresenta a codificação NRZ.

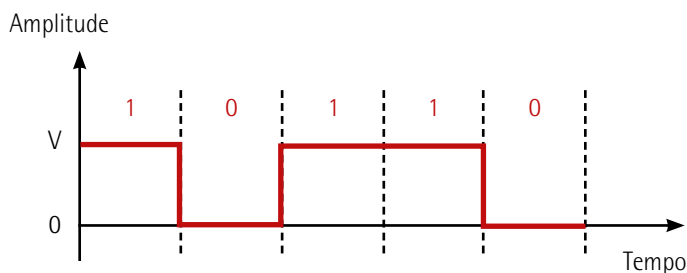


Figura 43 – Codificação NRZ

Adaptada de: Forouzan (2010, p. 107).

Partindo para os padrões polares encontramos o NRZ-L (*Non Return to Zero-Level*), em que os bits 0 e 1 são representados por valores de tensão distintos (podendo ser alto ou baixo, mas sempre diferentes de zero). A figura a seguir apresenta a codificação NRZ-L.

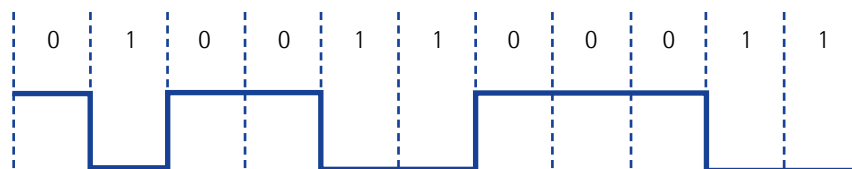


Figura 44 – Codificação NRZ-L

Adaptada de: Maia (2013, p. 61).

Uma variação do padrão anterior é conhecida como NRZ-I (*Non Return to Zero Invert*). A sua principal diferença reside na representação do bit 1 somente quando ocorrem mudanças no nível do sinal. Nesta codificação, quando ocorre o bit 0, não temos mudança no sinal. A figura a seguir apresenta a codificação NRZ-I.

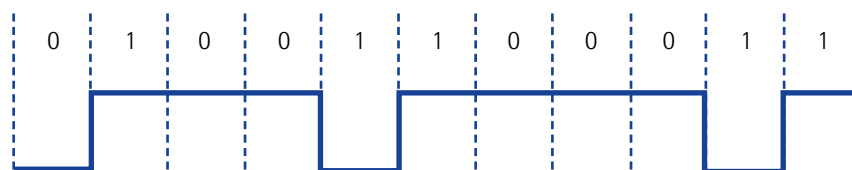


Figura 45 – Codificação NRZ-I

Adaptada de: Maia (2013, p. 62).

Há outro tipo de sistema de codificação, conhecido como Manchester, utilizado principalmente nos primeiros padrões Ethernet e nas redes com padrão Token Ring. Esse sistema de codificação opera com transições de subida (para representar o bit 1) e com transições de descida (para representar o bit 0). A figura a seguir apresenta a codificação Manchester.

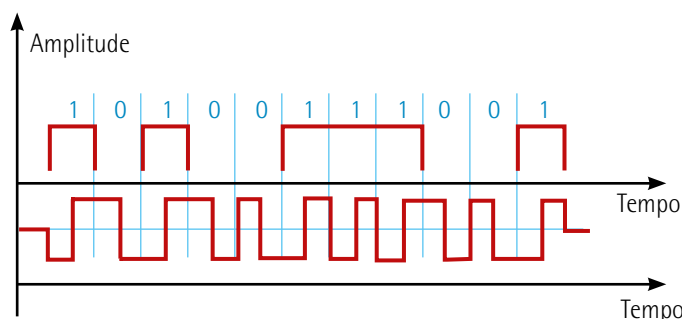


Figura 46 – Codificação Manchester

Outra codificação é o MLT-3 (*Multi-Level Transmit 3*), utilizado pelas redes Fast Ethernet com cabos de pares trançados. Ela modula os bits em três níveis de tensão elétrica diferentes, chamados de +1,

0 e -1, de forma que, quando os bits precisam ser transmitidos, os níveis de tensão mudam (quando transmitimos o bit 1) ou ficam os mesmos (quando transmitimos o bit 0). A figura a seguir apresenta a codificação MLT-3.

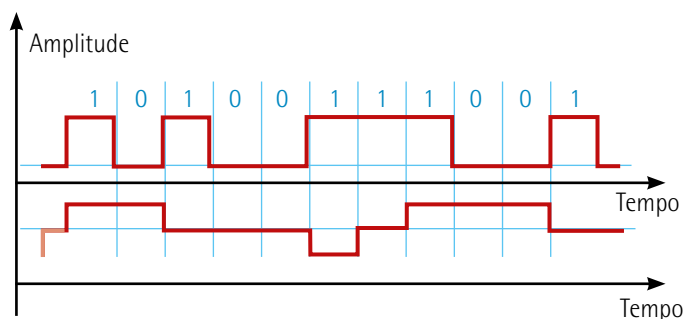


Figura 47 – Codificação MLT-3

Existem diversos outros sistemas de codificação na camada física, entre eles: codificação 4D-PAM-5, codificação 8B/10B, codificação DSQ128/PAM-16, codificação 64B/66B, codificação Barker e codificação CCK (*Complementary Code Keying*).

3.1.4 Multiplexação e modulação

A multiplexação é um processo que ocorre na camada física quando é necessário transmitir, por um único sinal portador, diversos sinais originados de diferentes fontes de informação. A operação inversa, que acontece na recepção, é chamada de demultiplexação.

Os equipamentos que executam esse tipo de processo de multiplexação e demultiplexação são respectivamente chamados de MUX e DEMUX. A figura a seguir apresenta o diagrama de um sistema multiplexado (que possui um MUX e um DEMUX).

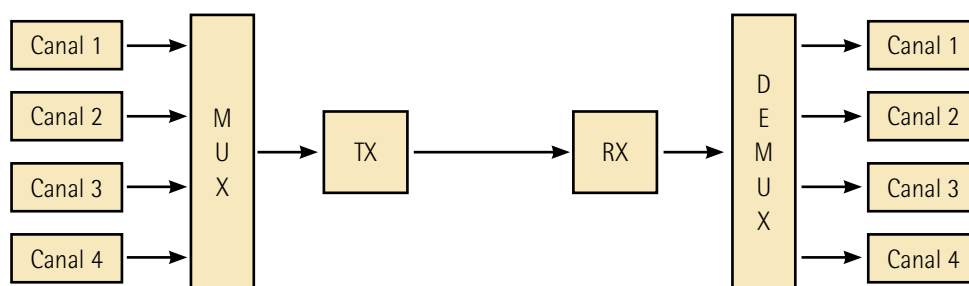


Figura 48 – Diagrama em blocos da multiplexação/demultiplexação

A frequência e o tempo são dois parâmetros comuns utilizados nos principais esquemas de multiplexação, originando assim a FDM (*Frequency Division Multiplexing* – Multiplexação por Divisão de Frequência) e a TDM (*Time Division Multiplexing* – Multiplexação por Divisão de Tempo).

Na FDM, utiliza-se uma banda de frequência denominada banda base dos canais multiplexados. Essa banda é dividida em sub-bandas chamadas de canais multiplexados, e cada uma transmite e recebe, ao mesmo tempo, em uma frequência diferente.

Na TDM, o tempo da transmissão é subdividido em pequenos espaços de tempo, em que cada um dos canais multiplexados transmite em seu tempo específico. Como o espaço de tempo destinado a cada um dos canais é extremamente pequeno e a sua ocupação é revezada, tem-se a sensação de que a transmissão e a recepção ocorrem ao mesmo tempo.



Observação

Há outros tipos de multiplexação, como a Multiplexação por Divisão de Códigos, utilizada pela telefonia móvel celular, e a Multiplexação por Divisão de Comprimento de Onda, utilizada em sistemas de comunicação óptica.

Em diversas situações, logo após os processos de sinalização e codificação, os dados que precisam ser transmitidos são modulados. A modulação é um processo que consiste na transformação de um sinal portador (onda portadora) a partir das informações contidas no sinal de informação que se deseja transmitir (sinal modulador ou modulante). O resultado desse processo é a criação de um sinal modulado, que será injetado no canal de comunicação.

A modulação pode ser executada em banda base (redes com cabos convencionais e fibras ópticas) ou em banda larga (vários canais possíveis, usados em várias frequências).

Em banda base, ocorre uma conversão dos elementos sinalizadores em níveis de tensão elétrica ou sinais luminosos. Esse processo é conhecido como modulação digital. Em banda larga, utiliza-se a portadora analógica, que é modificada de acordo com os bits e informações que se deseja transmitir.

A modulação pode ser classificada em:

- **Modulação analógica:** nesta modulação, a portadora, o sinal modulante e o sinal modulado são analógicos. Um exemplo é o sistema de comunicação de rádio AM e FM.
- **Modulação digital:** nesta modulação, a portadora e o sinal modulado são analógicos e o sinal modulante é digital (binário). Bons exemplos são encontrados na telefonia celular digital e nas transmissões em banda larga.
- **Modulação por pulsos:** nesta modulação, a portadora e o sinal modulado são digitais e o sinal modulante é analógico. Há exemplos na telefonia digital convencional.



Saiba mais

Para conhecer um pouco melhor os processos de modulação, leia os capítulos iniciais do seguinte livro:

MEDEIROS, J. C. O. *Princípios de telecomunicações: teoria e prática*. São Paulo: Érica, 2016.

3.2 Meios de transmissão

3.2.1 Cabos coaxiais

Os meios de transmissão, também conhecidos como meios físicos representam os elementos das redes de computadores que permitem a transmissão de sinais. Estes meios são peças fundamentais no processo de comunicação nas redes de computadores, por isso, em sua determinação, é necessária a adoção de critérios como: velocidades suportadas, imunidade a ruído, taxa de erros, disponibilidade, confiabilidade, atenuação e limitação geográfica.

Os meios de transmissão podem ser classificados em confinados e não confinados. Os confinados (ou guiados) são os cabos coaxiais, os cabos de pares metálicos, e os cabos de fibras ópticas. Os não confinados (ou não guiados) são os que utilizam comunicação sem fio. Por exemplo: comunicação via satélite, redes wireless, enlaces de micro-ondas, bluetooth e radiodifusão de modo geral.

Nesta seção vamos abordar especificamente o cabo coaxial. Esse tipo de meio de transmissão confinado é um velho conhecido de todos por ser muito utilizado nas transmissões de TV, embora não seja apenas essa a sua funcionalidade. O cabo coaxial pode ser utilizado para comunicações híbridas que envolvam voz, vídeo e dados, mesmo sendo obsoleto quando comparados às soluções com cabos de pares trançados. A figura a seguir mostra a imagem de um cabo coaxial e alguns de seus detalhes construtivos.

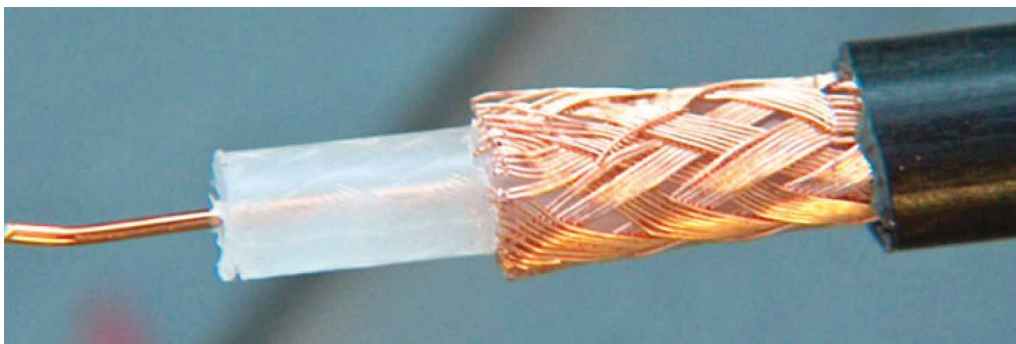


Figura 49 – Cabo coaxial

Os cabos coaxiais foram criados por volta de 1920 em uma rede de telefonia transcontinental, atendendo a conexões metropolitanas de centrais telefônicas. Em 1941 foi utilizado em escala comercial pela AT&T no Estados Unidos, com o propósito de comunicações a distância e para a TV a cabo (SHIMONSKI; STEINER; SHEEDY, 2014).

Também foi o primeiro tipo de cabo utilizado em redes de computadores, tornando-se bastante popular para conexões em redes já na década de 1980, com a tecnologia Ethernet. Em ambientes de LAN, foi gradativamente substituído pelos cabos de pares trançados metálicos e pelos cabos de fibras ópticas, devido à relação custo-benefício oferecida, além das dificuldades de instalação e velocidade limitada (PINHEIRO, 2015).

Nas redes de comunicação de voz, os cabos coaxiais são utilizados nas interligações de troncos (links que transportam múltiplos sinais de voz) comutados entre estações telefônicas dentro de um bairro, de uma cidade ou de um país.

O cabo coaxial é formado por um fio condutor envolvido por um material dielétrico (isolante) de grande resistência, geralmente um material plástico ou poroso, sendo os mais comuns o poliestireno ou o teflon. Esse material suporta campos eletrostático consideráveis. Há uma blindagem metálica envolvendo o material dielétrico, podendo ser uma malha de fios acompanhada ou não de uma folha metálica, sempre dependente da frequência suportada pelo cabo (LIMA FILHO, 2014).

A construção do cabo é completada com um revestimento isolante nas cores preto, bege, cinza ou amarelo. O material-base de construção desse revestimento é o policloreto de vinila, também conhecido como PVC, acompanhado de um material antichamas.

A próxima figura mostra um cabo coaxial com os seus detalhes construtivos.

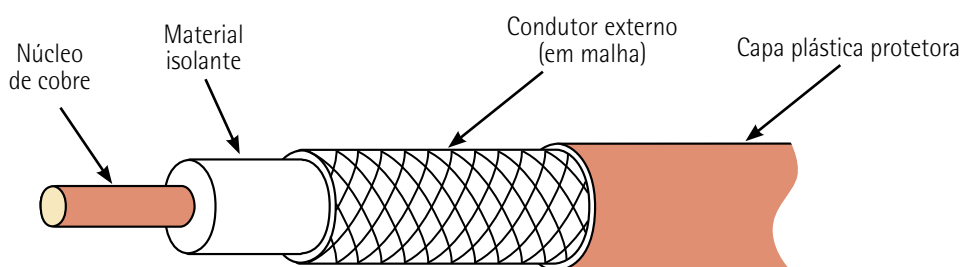


Figura 50 – Cabo coaxial e os seus detalhes construtivos

Os cabos coaxiais conduzem os sinais da informação por meio das ondas eletromagnéticas que se propagam entre a blindagem e o condutor, livre das interferências externas. As principais variáveis consideradas controladoras dos efeitos físicos do processo de transmissão em um cabo coaxial são: espaçamento entre a blindagem e o fio condutor, bem como o seu diâmetro; qualidade do isolamento entre a blindagem e o fio condutor; e ambiente em que se encontra instalado o cabo.

As principais vantagens dos cabos coaxiais são: distâncias mais longas habilitadas pela blindagem do cabo; utilização em redes de banda larga; grande imunidade contra ruídos e atenuações do sinal (LIMA FILHO, 2014).

As principais desvantagens dos cabos coaxiais são: apresenta-se com muitos maus contatos quando o conector é soldado ao invés de crimpado; grandes dificuldades nas passagens do cabo, devido ao seu diâmetro e menor flexibilidade; utilização em topologias físicas em barramento, em que a quebra do cabo desabilita todo o segmento; maior dificuldade na adição e remoção de estações; limitações na taxa de transferência de dados (LIMA FILHO, 2014).

De forma geral, os cabos coaxiais podem ser divididos em: blindagem dupla; twinaxial; triaxial; multicabos (SHIMONSKI; STEINER; SHEEDY, 2014).

Os cabos de blindagem dupla, como o próprio nome diz, são dotados de duas blindagens cobrindo o dielétrico, com a finalidade de oferecer uma maior proteção contra interferências externas, além de diminuir a atenuação.

O cabo twinaxial tem uma construção um pouco diferente. Ele possui dois condutores isolados em paralelo ou entrelaçados dentro de uma blindagem comum e um revestimento isolante.

O cabo triaxial é construído a partir de um núcleo único formado por duas blindagens, diferindo do cabo coaxial de blindagem dupla, na transmissão da informação que pode ocorrer tanto no condutor interno, quanto na blindagem interna, sendo a blindagem externa reservada para aterramento.

Os multicabos podem ser considerados feixes de cabos coaxiais construídos sob medida para determinadas aplicações.

Os cabos coaxiais também podem variar de acordo com seu diâmetro, blindagem, impedância, temperatura, taxa e aplicação. Por isso, é comum uma categorização por grau de RG (*Radio Guide*), norma com origens militares que designa a especificação de cabos coaxiais.

As categorizações mais comuns são RG-6, RG-8, RG-11, RG-58 e RG-59. A categorização RG-6 é utilizada para vídeo, CATV, inclusive com forte recomendação para uso comercial em VHF, UHF, 800 MHz. A categorização RG-8 também é utilizada para CATV, com qualidade superior à categorização da versão anterior. A categorização RG-11 é muito utilizada para vídeo e antenas UHF e VHF. A categorização RG-174 é fortemente recomendada para lances curtos de transmissão em HF, além de conexões internas e uso de RF portátil. A categorização RG-223 é para uso em estúdios de TV.

Conforme já mencionamos, os cabos coaxiais foram utilizados inicialmente nas primeiras redes de computadores em dois padrões, cabo coaxial fino e cabo coaxial grosso.

O cabo coaxial fino é também conhecido por thinnet ou cheapernet e tem a categorização RG-58, quando utilizado no padrão Ethernet, com impedância de 50 Ohms. Um antigo padrão de

redes conhecido como ARCnet utilizava a categorização RG-62 com uma impedância de 93 Ohms (SHIMONSKI; STEINER; SHEEDY, 2014).

O cabo coaxial fino tem um diâmetro de 4,953 mm se utilizado na categorização RG-58. Quando utilizada a categorização RG-62, tem um diâmetro de 6,147 mm. Nesse cabo é possível interligar, em um segmento de 185 metros, um total de pelo menos 30 computadores, sem a utilização de um repetidor (SHIMONSKI; STEINER; SHEEDY, 2014).

O cabo coaxial grosso é conhecido por thichnet e, com seu uso, é possível alcançar uma distância de 500 metros sem a necessidade de repetidores, com a interligação de 100 computadores. O cabo coaxial grosso é muito utilizado para a formação de backbones (espinha dorsal) das redes devido à distância máxima alcançada, mas foi gradativamente sendo substituído pelos cabos de fibra óptica (SHIMONSKI; STEINER; SHEEDY, 2014).

3.2.2 Cabos de pares metálicos

O cabo de par metálico é composto de um, dois ou quatro pares de fios enrolados (trançados) de dois em dois, formando uma camada isolante. Essa medida mantém as suas propriedades elétricas ao longo do fio e reduz o nível de interferência eletromagnética. Esses cabos são encontrados em redes domésticas e corporativas, interligando modems, computadores, roteadores, hubs e demais ativos de rede.

Sobre estes cabos, Shimonski, Steiner e Sheedy (2014, p. 97) mencionam que:

O tipo mais usado em cabeamento de rede é o cabo de par trançado. Nas décadas de 1970 e 1980, o cabeamento com cabo de par trançado era usado para comunicação de voz. Nos anos de 1980, as redes de dados também começaram a usar cabeamento com cabo de par trançado, pois o mesmo oferecia uma base simples, barata e modular para redes de área local. As múltiplas vias em cabos permitem comunicação duplex (conversação telefônica), caminhos separados para sinalização e inicialização e comunicação em banda larga. O trançado dos fios em um cabo de par trançado controla a degradação do sinal causada pela interferência eletromagnética (EMI) e a interferência de radiofrequência (RFI). A quantidade de voltas por unidade de comprimento no trançado de cada par de fios controla problemas como a interferência e diafonia (cross-talk) entre os pares do cabo. A interferência é potencialmente mais grave em cabeamento de dados, no qual a diafonia pode danificar severamente a integridade da comunicação de dados. No entanto, a diafonia ocorre com mais frequência em redes de voz, onde os usuários podem ocasionalmente ouvir conversas ocorrendo em outros fios dentro do mesmo feixe de cabo. No entanto, a diafonia geralmente ocorre em níveis não audíveis.

Segundo Marin (2013), os cabos de pares trançados são construídos a partir do cobre como material condutor, que transporta a informação por meio da corrente elétrica. Os principais motivos para o uso do cobre são:

- **condutividade:** é um ótimo condutor, apresentando uma resistividade muito baixa;
- **robustez:** suas propriedades físicas habilitam um bom comportamento diante de extremos de temperatura e eventuais rupturas;
- **maleabilidade:** pode ser forjado, martelado e maleável;
- **nível de corrosão:** não enferruja diante de corrosões;
- **ductibilidade:** pode ser facilmente fiado sem quebrar.

Os cabos de cobre podem ter os núcleos dos seus fios na forma sólida ou na forma multifilar (composto de uma malha ou feixe de filamentos). Esses núcleos são normalmente revestidos por um material isolante, chamado muitas vezes de dielétrico, de modo a impedir que correntes elétricas externas cheguem até o fio condutor.

Para o cabo de pares trançados que possuem mais do que um condutor, é adicionada outra camada isolante para proteger a integridade física dos pares de fios. Em algumas situações é necessária uma blindagem ou dos pares, ou de todo o cabo, com o objetivo de prevenir o meio físico das interferências externas.

Ainda sobre os materiais isolantes utilizados nos cabos de cobre, é possível destacar:

- **elastômeros:** material semelhante ao plástico e à borracha, com uma grande flexibilidade mecânica;
- **termoplásticos:** muito conhecido pelo seu principal tipo (o policloreto de vinila, PVC), é o mais utilizado como isolante por conseguir resistir a diversos ambientes hostis;
- **flúor polímeros:** conhecido como material isolante e antichamas, porque só queima em temperaturas muito altas, além de emitir pouca fumaça.

Os cabos de cobre são classificados e rotulados segundo um padrão internacional conhecido como USOC (Universal Service Order Code), que utiliza a codificação AWG (American Wire Gauge).



Saiba mais

Para conhecer a tabela de graus AWG, leia o capítulo 3 do livro a seguir:

SHIMONSKI, R. J.; STEINER R.; SHEEDY, S. *Cabeamento de rede*. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

Tipicamente um cabo de par trançado é utilizado em uma topologia física em estrela. Assim, cada computador (ou host, de forma geral) é interligado ao concentrador de rede (que pode ser um hub ou um switch) por meio dos cabos de pares trançados.

Essa nova concepção de topologia física foi uma evolução quando comparada à topologia física em barramento utilizada com os cabos coaxiais em uma LAN mais antiga. Se antes, ao romper-se o cabo, todo o segmento de rede ficava inativo, agora, ao romper-se um dos cabos da topologia estrela, os outros segmentos funcionam normalmente.

Os cabos de pares trançados podem ser divididos em três tipos: cabos de pares trançados sem blindagem, cabos de pares trançados com blindagem individual e cabos de pares trançados com blindagem geral.

O cabo de par trançado sem blindagem é conhecido pelo seu acrônimo UTP (*Unshielded Twisted Pair*) e é o mais comum em instalações de redes locais. A distância máxima alcançada é de aproximadamente 100 metros em LANs no padrão Ethernet, sem a necessidade de repetidores. A figura a seguir apresenta um cabo UTP já decapado (MARIN, 2013).

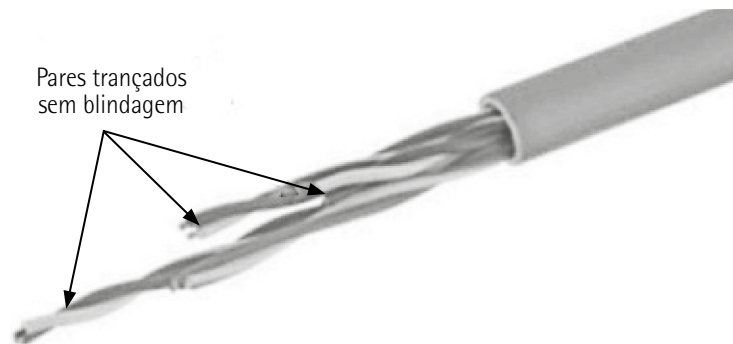


Figura 51 – Cabo UTP

O cabo de par trançado com blindagem geral é conhecido como cabo F/UTP (*Foil/Unshielded Twisted Pair*) e não tem uma blindagem individual para os pares de fios. A figura a seguir mostra um cabo F/UTP (MARIN, 2013).

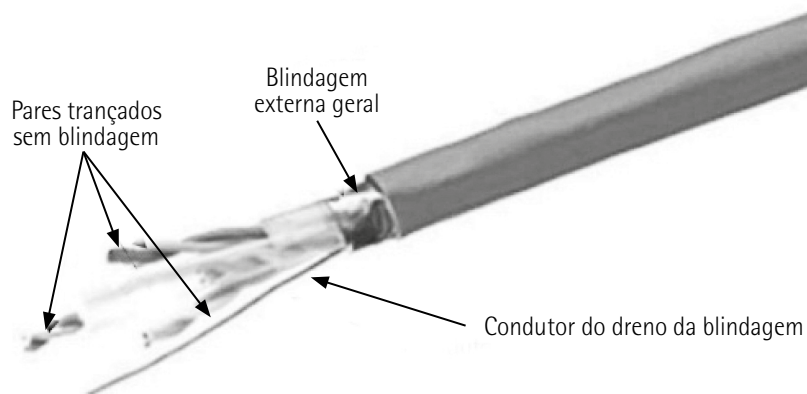


Figura 52 – Cabo F/UTP

O cabo de par trançado com blindagem geral e individual é conhecido como cabo S/FTP (*Screened/Foiled Twisted Pair*). A figura a seguir mostra um cabo S/FTP (MARIN, 2013).

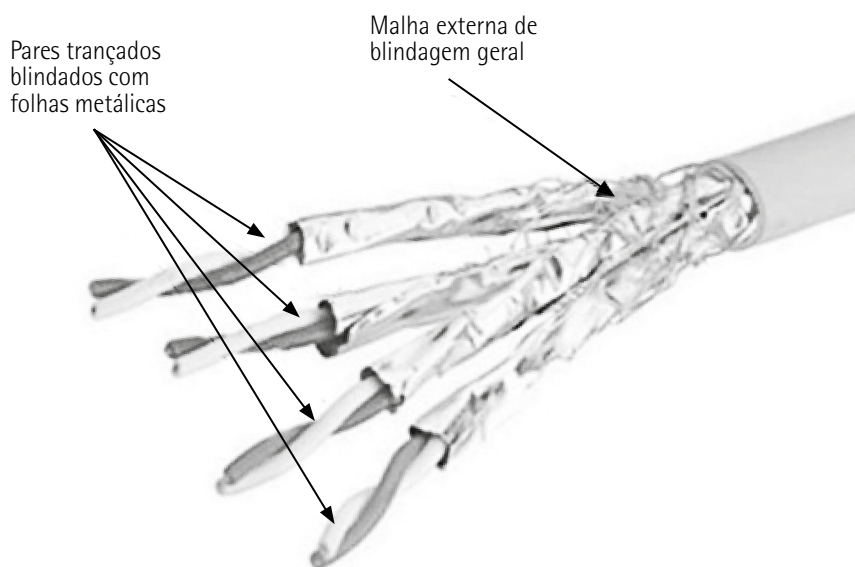


Figura 53 – Cabo S/FTP

A TIA criou uma padronização, hoje praticamente internacionalizada, para categorias de cabos de pares trançados, apontando propriedades e características distintas de cada um dos cabos utilizados em LAN. É o que conhecemos por padrão de cabeamento estruturado.

A ISO também criou uma padronização de cabos divididos por classes que tem uma similaridade com as categorias da ANSI/TIA/EI. Assim, é possível apresentar as principais categorias de cabos que são aceitas internacionalmente como:

- **Categoria 1:** conhecida como Anixter nível 1, era utilizado apenas para a telefonia fixa, com transmissões de até 1 MHz. Como não é reconhecida pela ANSI/TIA/EIA, não integra sistemas de cabeamento estruturado.

- **Categoria 2:** conhecida como Anixter nível 2, era utilizada para redes com padrão Token Ring da IBM, com uma taxa de transferência de até 4 Mbps, considerada obsoleta. Essa categoria também não é reconhecida pelas normas de cabeamento estruturado.
- **Categoria 3 (padronização ISO Classe C):** foi o primeiro padrão para a Ethernet com cabos de pares trançados não blindados, conhecida como 10BaseT. Tinha como características principais uma taxa de transferência de 10 Mbps, uso de um cabo com 24 AWG e uma frequência de operação de 16 MHz. Hoje, essa categoria é considerada obsoleta para redes de dados, mas ainda pode ser utilizada para a telefonia fixa.
- **Categoria 4:** utilizada em redes no padrão Token Ring, com uma taxa de transferência máxima de 16 Mbps e uma frequência de operação de 20 MHz. Os cabos dessa categoria operam com quatro pares de fios com 22 ou 24 AWG. Essa categoria não é reconhecida pelas normas de cabeamento estruturado estabelecidas pela ANSI/TIA.
- **Categoria 5:** utilizada para transmissões com taxa de transferência de até 1 Gbps e uma frequência de 100 MHz. Foi rapidamente substituída pela categoria 5e.
- **Categoria 5e (padronização ISO Classe D):** extremamente semelhante fisicamente à categoria 5, diferindo apenas nas especificações de paradiáfonia, que foram melhoradas devido ao aumento do trançamento dos pares de fios. Esse ganho é perceptível em transmissões com taxa de transferência de 1 Gbps. Por esse motivo, a categoria 5 foi praticamente toda substituída pela categoria 5e.
- **Categoria 6 (padronização ISO Classe E):** utilizada para transmissões de até 250 MHz, é considerada uma melhoria na categoria 5e. Possui quatro pares de fios de 24 AWG.
- **Categoria 6A (padronização ISO Classe EA):** utilizada para transmissões de até 500 MHz e taxas de transferência de até 10 Gbps, com pares trançados.
- **Categoria 7 (padronização ISO Classe F):** utiliza cabo de pares trançados blindados que permitem uma operação até 600 MHz.
- **Categoria 7A (padronização ISO Classe FA):** semelhante à categoria anterior, mas com uma frequência máxima de 1 GHz.

O conector utilizado para cabos de pares trançados é 8P8C, popularmente conhecido como RJ-45. Esse conector possui oito contatos, de forma a receber os quatro pares de fios do cabo de par trançado. Cada par de fios em um cabo de par trançado tem uma cor diferente, e a ordem das cores é importante na conexão do cabo no conector. As cores dos fios do cabo de par trançado são: laranja, verde, marrom e azul. O par laranja é formado por um fio laranja trançado a um outro fio laranja, sendo este mais claro. Alguns fabricantes utilizam a cor branca no lugar do fio laranja mais claro, chamando este de branco do laranja. Da mesma forma ocorre com os outros pares, por exemplo o par azul, formado pelo azul e o branco do azul (ou azul claro). Os outros pares seguem o mesmo padrão.

A figura a seguir mostra o conector RJ-45.



Figura 54 – Conector RJ-45

A ordem de conexão dos pares no conector RJ-45 obedece ao padrão T568 criado pela TIA, que estabelece dois tipos de conexão: T568A e T568B. O quadro a seguir apresenta o padrão de conexão T568A.

Quadro 5 – Padrão de conexão T568A

Pino	Cor	Função (10 Mbps / 100 Mbps)	Função (1 Gbps / 10 Gbps)
1	Branco do verde	Transmissão	Transmissão/Recepção
2	Verde	Transmissão	Transmissão/Recepção
3	Branco do laranja	Recepção	Transmissão/Recepção
4	Azul	Não usado	Transmissão/Recepção
5	Branco do azul	Não usado	Transmissão/Recepção
6	Laranja	Recepção	Transmissão/Recepção
7	Branco do marrom	Não usado	Transmissão/Recepção
8	Marrom	Não usado	Transmissão/Recepção

Já o próximo quadro apresenta o padrão de conexão T568B.

Quadro 6 – Padrão de conexão T568B

Pino	Cor	Função (10 Mbps / 100 Mbps)	Função (1 Gbps / 10 Gbps)
1	Branco do laranja	Transmissão	Transmissão/Recepção
2	Laranja	Transmissão	Transmissão/Recepção
3	Branco do verde	Recepção	Transmissão/Recepção
4	Azul	Não usado	Transmissão/Recepção
5	Branco do azul	Não usado	Transmissão/Recepção
6	Verde	Recepção	Transmissão/Recepção
7	Branco do marrom	Não usado	Transmissão/Recepção
8	Marrom	Não usado	Transmissão/Recepção

Quando deseja-se interligar equipamentos com o mesmo padrão elétrico de conexão (por exemplo, dois computadores ou dois switches), é necessário a construção de cabos para conexões cruzadas. As conexões cruzadas são obtidas quando em uma ponta do cabo a crimpagem do conector segue o padrão T568A e na outra ponta a crimpagem do conector segue o padrão T568B. Ao interligar equipamentos com um diferente padrão elétrico de conexão (por exemplo, um computador e um switch), é necessário ter o mesmo padrão nas crimpagens de conector efetuada em ambas as pontas do cabo.



Observação

Alguns dispositivos e suas interfaces são dotados de mecanismos que invertem os padrões elétricos, dispensando, assim, o uso de cabos cruzados em conexões físicas de mesmo padrão, como roteadores e computadores, por exemplo.

3.2.3 Cabos de fibra óptica

A fibra óptica é um meio físico que transporta dados na forma de sinais luminosos (fótons). É um meio seguro de transmitir dados, pois não transportam sinais elétricos, minimizando problemas de segurança e de ruídos/interferência. Seu surgimento se dá com características modernas em 1970, com utilização em escala mundial por volta de 1978.

Não se contrapondo aos padrões de comunicação elétrica surgidos em 1837, as comunicações ópticas as complementam, fazendo com que enlaces de distâncias tão limitadas alcançassem distâncias de centenas de quilômetros, sem o uso de repetidores, já na década de 1980.

Com o desenvolvimento da informática, a necessidade da comunicação de dados, com um tráfego crescente de voz e vídeo, as comunicações ópticas começaram a assumir certo protagonismo, principalmente nas transmissões em banda larga.

Segundo Marin (2013), as principais vantagens das comunicações ópticas são:

- alcance de longas distâncias nos processos de transmissão quando estabelecida uma comparação com os cabos metálicos;
- redução drástica no número de componentes de redes responsáveis por regenerar sinais com nível de potência diminuído em consequência das distâncias dos enlaces;
- aumento considerável da largura de banda suportada pelo meio físico;
- aumento da capacidade de transporte de informação, devido ao fato de as fibras ópticas suportarem um maior número de canais de comunicação em uma mesma fibra;

- tamanhos e pesos menores quando comparados aos cabos metálicos;
- imunidade à interferência eletromagnética;
- considerado nível de segurança operacional, devido ao fato de não possuir loops de terra faíscas ou quaisquer outros problemas elétricos.

Os fenômenos da reflexão e da refração ocorrem em uma fibra óptica. Nela, o fenômeno da reflexão da luz se dá por meio de um canal, que nada mais é que o núcleo de vidro. Esse núcleo é construído a partir de um vidro de altíssima qualidade e mais fino que um fio de cabelo, além de ser revestido de outro vidro menos denso, que favorece a reflexão da luz para dentro do núcleo. Há ainda uma capa protetora que cria uma resistência mecânica ao núcleo e ao revestimento.

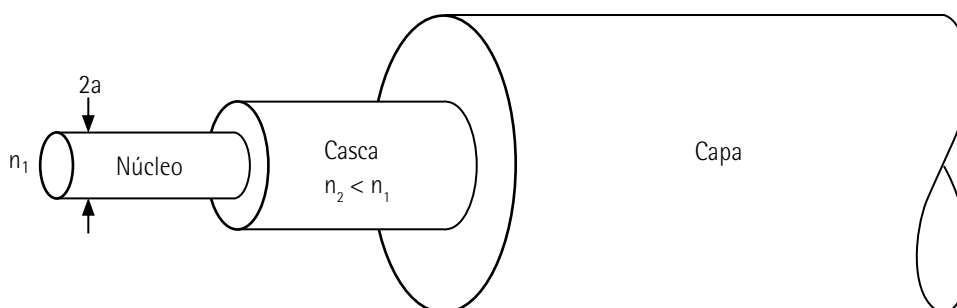


Figura 55 – Ideia construtiva da fibra óptica

De forma muito parecida aos sistemas de transmissão em cabos de cobre, as comunicações por fibra óptica necessitam de um emissor, que normalmente é um LED ou um laser. Esse emissor converte o sinal elétrico em óptico. De modo similar no destino, um receptor óptico, normalmente um fotodiodo, converte o sinal óptico em sinal elétrico. A figura a seguir denota a ideia da comunicação óptica.

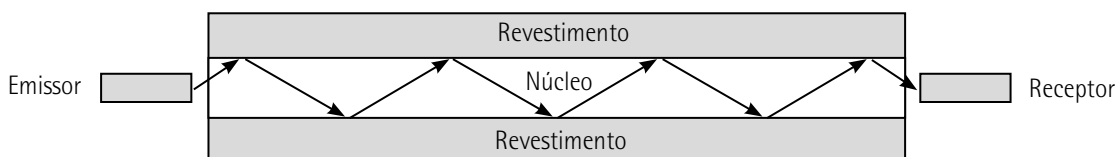


Figura 56 – Comunicação óptica

Os modos de propagação da luz em uma fibra óptica podem ocorrer de duas formas: multimodo e monomodo.

A fibra óptica multimodo recebe esse nome devido a sua forma de propagação ocorrer a partir de múltiplos feixes de luz oriundos de uma fonte de luz, atravessando o núcleo da fibra óptica por diversos caminhos. Esse foi o primeiro tipo de cabo óptico empregado em ambientes comerciais, e por causa do seu baixo custo ainda é muito utilizado.

Essas fibras podem ser divididas em índice degrau e índice gradual. As fibras multimodo índice degrau possuem um núcleo com densidade constante em linha reta até o limite com o revestimento, tendo este uma menor densidade. As fibras multimodo índice gradual têm maior densidade no centro do núcleo, e esta densidade vai reduzindo até chegar no limite entre o núcleo e o revestimento.

A figura a seguir apresenta a ideia que cerca essas duas fibras ópticas multimodo.

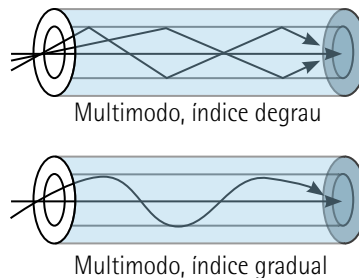


Figura 57 – Fibras ópticas multimodo

As fibras multimodo são normalmente mais "grossas" que as fibras monomodo, além de possuírem núcleos de 50 microns ou 62,5 microns. O fato de possuir um núcleo maior habilita, desta forma, transmissores com LED de baixo custo. Uma grande desvantagem das fibras multimodo é a existência da dispersão modal que aumenta atenuação nesse meio físico. Essa dispersão é fruto da defasagem entre os sinais transmitidos de forma múltipla, além de aumentar com a distância entre transmissores e receptores.

O outro tipo de fibra óptica é o monomodo, também conhecido como fibra de modo único, caracterizada por ter um modo de propagação praticamente paralelo ao limite entre o núcleo e o revestimento. Outra característica interessante é que o seu núcleo tem um diâmetro bastante reduzido quando comparado com os das fibras multimodo. A figura a seguir apresenta a ideia que cerca a fibra monomodo.

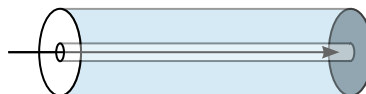


Figura 58 – Fibra óptica monomodo

Diferentemente das fibras multimodo, que utilizam LEDs para transmissão, as fibras monomodo utilizam o laser para a emissão do sinal, elevando, assim, a qualidade na comunicação. O núcleo das fibras monomodo medem aproximadamente de 8 a 9 microns. Não obstante, convém lembrar que o núcleo, acrescido da casca e do revestimento, deixa o diâmetro do cabo de fibra monomodo praticamente do mesmo tamanho da fibra multimodo.



Observação

Em fibras ópticas monomodo não encontramos a dispersão modal, porque utiliza-se apenas um modo de propagação da luz.

Como a comunicação em uma fibra é unidirecional, para que se construa um enlace, é necessário o uso de um par de fibra. Assim, os conectores são divididos em individuais e duplos.

Os conectores individuais são presos separadamente em cada fibra. Os principais exemplos de conectores individuais são:

- **SC (*Subscriber Connector*)**: criado pela NTT (Nippon Telephone and Telegraph), é considerado o mais comum;
- **ST (*Straight Tip*)**: criado pela AT&T, tem muita semelhança com um conector BNC de cabo coaxial, pelo fato de ser atarrachado;
- **FC (*Ferrule Connector*)**: normalmente utilizado em fibras monomodo;
- **LC (*Lucent*)**: criado pela empresa Lucent, é considerado uma versão miniatura do conector SC.

A figura a seguir apresenta exemplos de conectores individuais.

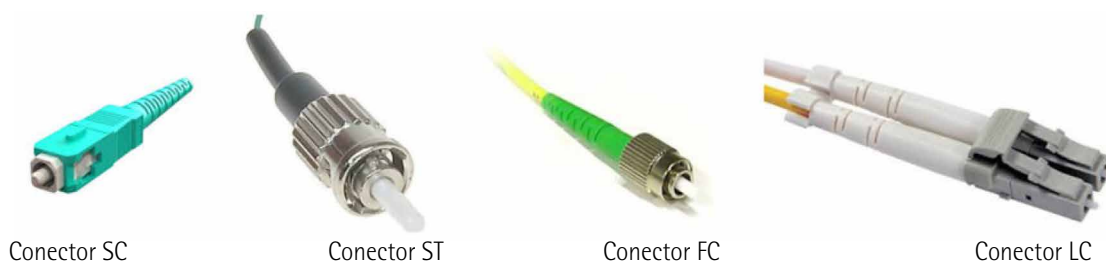


Figura 59 – Conectores individuais

Os conectores duplos são utilizados ao mesmo tempo para duas fibras. Os principais exemplos de conectores individuais são:

- **MIC (*Medium Interface Connector*)**: utilizado em redes Ethernet;
- **MT-RJ**: utilizado em redes FDDI.

A figura a seguir apresenta exemplos de conectores duplos.

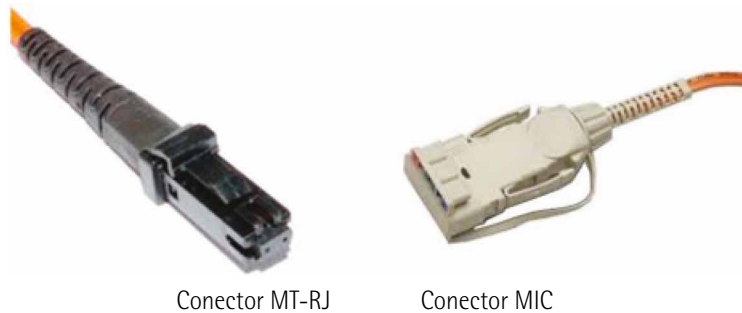


Figura 60 – Conectores duplos

3.2.4 Meio não confinado

Além dos cabos de pares metálicos, coaxiais e de fibra óptica, o ar (ou espaço livre) também é utilizado como meio de transmissão de sinais, considerando um canal ou meio de comunicação não confinado. Pelo ar são transmitidas as ondas eletromagnéticas (ondas de rádio) irradiadas por uma antena transmissora e captada por uma antena receptora. A figura a seguir apresenta a ideia deste sistema de comunicação.

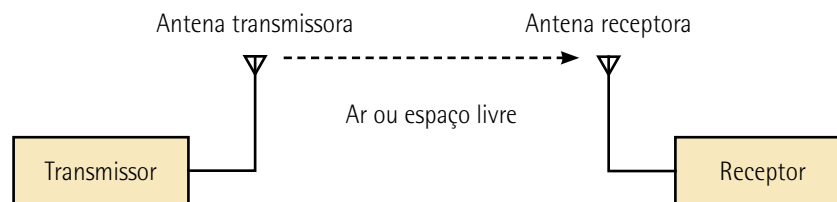


Figura 61 – Sistemas de comunicações via ondas eletromagnéticas

Adaptada de: Medeiros (2016, p. 101).

A geração e transmissão das ondas eletromagnéticas ocorre a partir da criação de campos elétricos e magnéticos variáveis oriundos de um fio condutor percorrido por uma corrente elétrica variável. A sequência de campos elétricos e magnéticos forma as ondas de rádio, que, quando captadas por outro fio condutor distante do primeiro, sofrem uma indução eletromagnética que gera uma corrente elétrica. Estes fios condutores na verdade são as antenas utilizadas em um sistema de telecomunicações via ondas de rádio e podem ser vistos na figura a seguir (MEDEIROS, 2016).

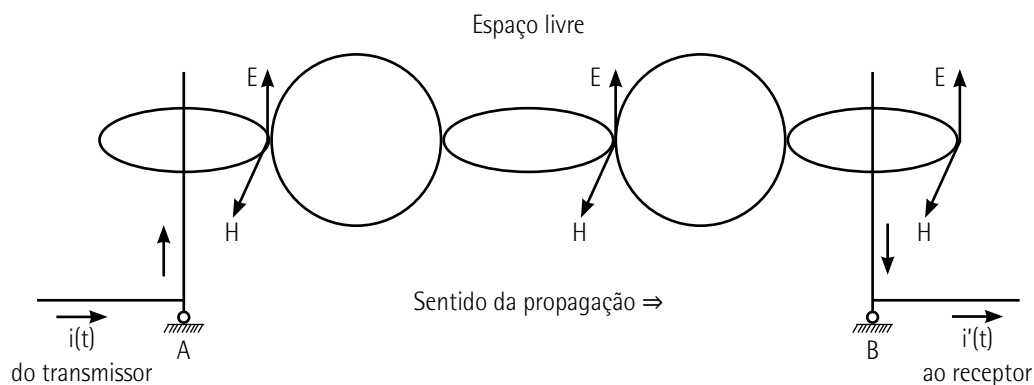


Figura 62 – Propagação das ondas de rádio

Adaptada de: Medeiros (2016, p. 105).

Desta maneira, temos nas antenas um dos principais elementos na comunicação de dados via ondas de rádio. Isto ocorre nas mais variadas formas de transmissão de sinais via redes sem fio (satélite, micro-ondas, radiodifusão broadcast AM, FM ou televisão).

As redes que utilizam meios sem fio também podem ser classificadas em ponto-a-ponto (um enlace de rádio entre dois pontos) e ponto multiponto (transmissão de ondas eletromagnéticas para múltiplos pontos). A figura a seguir apresenta uma rede sem fio metropolitana. Nela encontramos as mais diversas taxas de transferências, desde 2 Mbps até 622 Mbps.

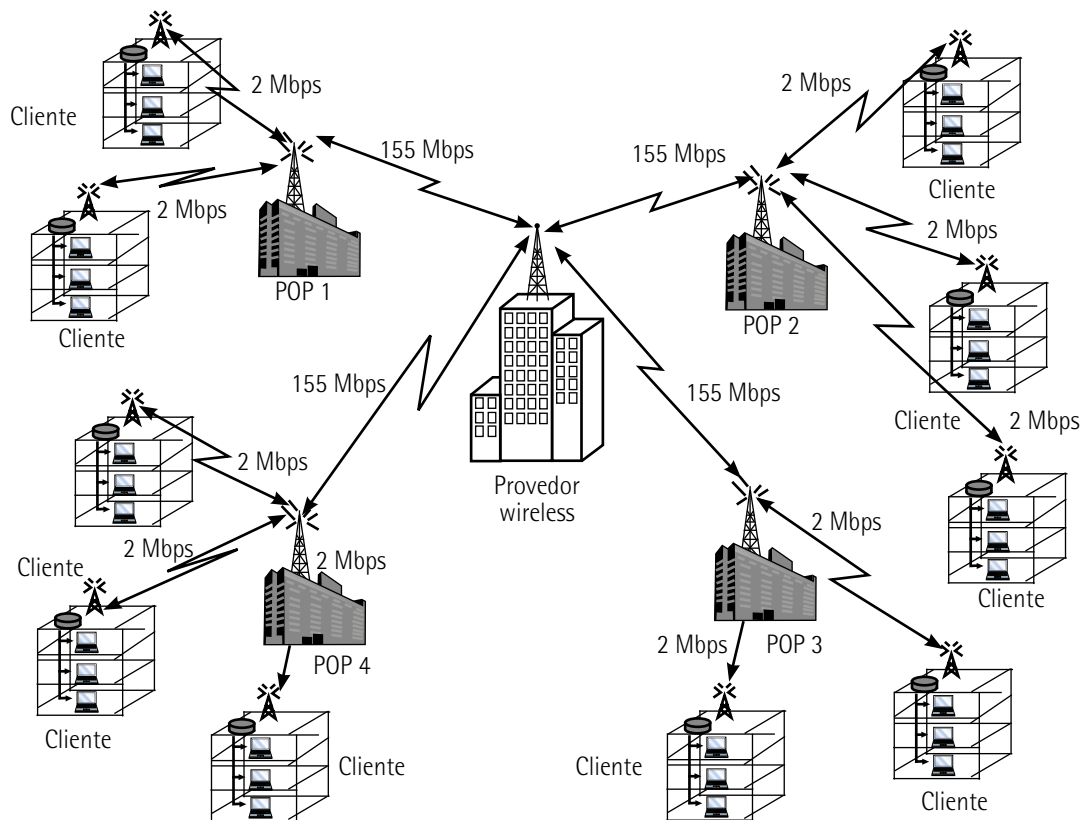


Figura 63 – Rede sem fio metropolitana

Adaptada de: Moraes (2020, p. 37).

Partindo para as redes locais de computadores, encontramos a WLAN (*Wireless Local Area Network* - Rede de Área Local Sem Fio), que funcionam com alcances que chegam a mais de 150 metros em ambientes indoor (internos) e outdoor (externos). As soluções em WLAN são extremamente atrativas e eficientes por não necessitarem de cabeamento estruturado, que aumenta e muito o custo com o projeto de redes locais de computadores, seja no ambiente residencial, seja no ambiente comercial.

O principal padrão utilizado em redes locais de computadores é conhecido como IEEE 802.11, também chamado de padrão Wi-Fi. O padrão IEEE 802.11 opera nas camadas física e de enlace do modelo OSI, sendo, desse modo, responsável por receber os pacotes, encapsulá-los em frames e transformá-los em bits para a transmissão através de ondas eletromagnéticas. O quadro a seguir apresenta os padrões IEEE 802.11 (OLIVEIRA; MELO, 2021).

Quadro 7 – Padrão IEEE 802.11

Padrão IEEE	Frequência	Máxima taxa de transferência	Alcance
802.11a	5 GHz	54 Mbps	120 metros
802.11b	2,4 GHz	11 Mbps	140 metros
802.11g	2,4 GHz	54 Mbps	140 metros
802.11n	2,4 e 5 GHz	600 Mbps	250 metros
802.11ac	5 GHz	6,93 Gbps	120 metros
802.11ax	2,4 e 5 GHz	10 Gbps	120 metros

Adaptado de: Oliveira e Melo (2021, p. 406).

Um grande número de equipamentos é capaz de utilizar o Wi-Fi, como laptops, PCs, celulares, televisores, geladeiras, câmeras de segurança, videogames e muitos outros. Suas conexões ocorrem por meio de um ponto de acesso ou hotspot, com um raio de ação limitado. Eventualmente, pode-se usar uma antena com ganho de sinal, o que permite aumentar em algumas vezes o campo de recepção.



Observação

Estas redes sem fio têm evoluído muito no critério segurança no que tange a protocolos, sendo cada vez mais confiáveis e robustas.

4 PADRÕES E PROTOCOLOS DE CAMADA DE ENLACE DE DADOS

Tendo conhecido os processos executados na camada física, além dos meios de transmissão, subiremos um pouco mais no modelo em camadas, chegando ao nível de enlace de dados, que é a camada 2 do modelo híbrido que adotamos. Ela executa um importante papel na gestão dos meios de transmissão e no recebimento das demandas do nível de camada de rede.

Inicialmente apresentaremos os conceitos básicos relativos à camada de enlace de dados, depois abordaremos o padrão Ethernet utilizado em redes locais de computadores. Observaremos que o padrão Ethernet abrange, além da camada de enlace, algumas questões relacionadas à camada física. Finalizaremos este tópico abordando a utilização e o funcionamento do switch, que é um dos equipamentos inseridos no contexto da camada 2.

4.1 Serviços e protocolos de camada de enlace de dados

4.1.1 Conceitos básicos em camada de enlace de dados

Conforme já mencionamos, a camada de enlace tem como papel principal o gerenciamento dos meios de transmissão, ou seja, do enlace propriamente dito. Estes enlaces são compreendidos como uma interligação entre nós dentro de uma rede. A figura a seguir apresenta exemplos destes enlaces; nela encontramos apenas os do tipo ponto a ponto (ou unicast), mas é possível a existência de enlaces em broadcast em outros exemplos de topologia.

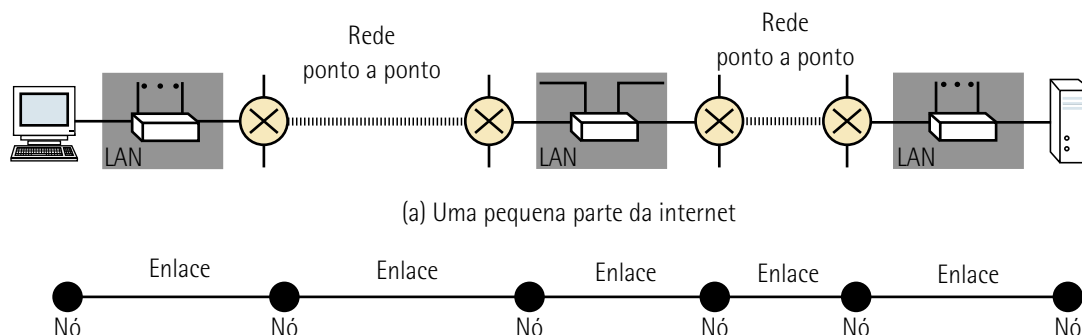


Figura 64 – Exemplo de enlaces

Adaptada de: Forouzan e Mosharraf (2013, p. 369).

É também na camada de enlace de dados que se estabelece um mecanismo para detectar e corrigir erros, por meio de um campo de controle contido nos quadros gerados neste nível da arquitetura de redes. É bem verdade que as funções de controle e correção de erros também são executadas em alguns tipos de transportes executados na camada 4, no entanto, a camada de enlace de dados parece executar bem esta funcionalidade porque já faz, por definição, o gerenciamento dos meios de transmissão, provendo um aumento da confiabilidade no processo de transmissão das informações (FOROUZAN; MOSHARRAF, 2013).

Sobre estas e outras questões, relacionadas à camada de enlace de dados, Filippetti (2017, p. 49) menciona que:

a camada de enlace assegura que os dados sejam transmitidos ao equipamento apropriado e faz a "ponte" entre a camada superior (rede) e a camada inferior (física), tornando possível a transmissão através de meios físicos diversos. A camada de enlace formata a mensagem em frames e

adiciona um cabeçalho próprio contendo, entre outras informações, o endereço de hardware (MAC *address*) da máquina transmissora e da destinatária. Essa informação é encapsulada na mensagem original recebida pela camada superior, de modo análogo aos módulos de um foguete que vão sendo descartados à medida que determinados estágios vão sendo completos.

Assim, percebemos que a camada de enlace de dados efetua um isolamento entre processos do nível de rede e outros processos executados no nível físico. Desta forma, o meio de transmissão não se "preocupa" com o tipo de pacote que precisa ser transmitido em uma rede, devido ao encapsulamento do pacote em um quadro.

Outra interessante funcionalidade da camada de enlace é a criação de um esquema de endereçamento físico de conotação local, diferentemente da camada de rede, que opera com um esquema de endereçamento global e hierárquico, relacionado ao IP.

Estes endereços físicos são a base do funcionamento do processo de comutação, executado pelo switch. Os switches são considerados dispositivos centrais na camada de enlace, principalmente quando o padrão adotado é o Ethernet. O switch funciona como comutador e concentrador ao mesmo tempo, conhecendo todos os endereços físicos dos hosts que estão interligados às suas portas, por meio de uma tabela, chamada de MAC.

Resumindo, encontramos as seguintes funcionalidades básicas da camada de enlace: enquadramento; controle de acesso ao meio; detecção e correção de erros na transmissão; e regulação do fluxo de informações nos enlaces.

4.1.2 Enquadramento

A camada de enlace recebe os pacotes oriundos da camada de rede e os encapsula em quadros. Este processo é conhecido por framing ou enquadramento. Dentro de um quadro encontramos, normalmente, três partes distintas: cabeçalho do quadro, carga útil do quadro (campo de dados) e o trailer de quadro (também conhecido como correção ou detecção de erro). A figura a seguir apresenta a ideia deste encapsulamento (MAIA, 2013).

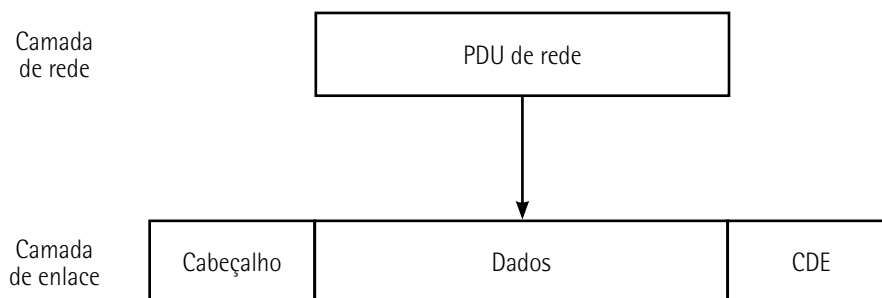


Figura 65 – Encapsulamento de pacotes em quadros

Adaptada de: Maia (2013, p. 82).

O cabeçalho do quadro é formado por um conjunto de campos que trazem informações que permitem a execução do processo de enquadramento adequado, identificação do protocolo de camada superior, além da comutação por meio do endereçamento físico, ou endereçamento de camada 2. A carga útil do quadro traz o pacote vindo da camada de rede. O trailer se apresenta como um campo que permite o controle, a detecção e a correção dos erros encontrados no meio físico (MAIA, 2013).

O enquadramento pode ocorrer de diversas formas diferentes. É comum encontrarmos:

- **contagem de caracteres:** executada a partir de um campo do cabeçalho do quadro que especifica o número de bytes do quadro, facilitando a identificação de finalização do quadro;
- **bytes de flag com inserção de bytes:** executada a partir da inserção de bytes de flag que delimitam início e fim do quadro;
- **bits de flag com inserção de bits:** executada a partir da inserção de bits em uma quantidade qualquer delimitando início e fim do quadro.



Observação

Muitos padrões utilizados na camada de enlace utilizam combinações destas técnicas de enquadramento.

4.1.3 Detecção e correção de erros

Erros no processo de transmissão são causados por atenuação do sinal, pelo ruído e por outros efeitos indesejáveis nos enlaces. O erro pode se dar, por exemplo, em um único bit, alternado o seu valor de 1 para 0 e vice-versa. O erro também pode se dar em rajada, onde temos a alteração de diversos bits dentro de um conjunto de bytes. A figura a seguir apresenta este contexto em que podem ocorrer erros (FOROUZAN; MOSHARRAF, 2013).

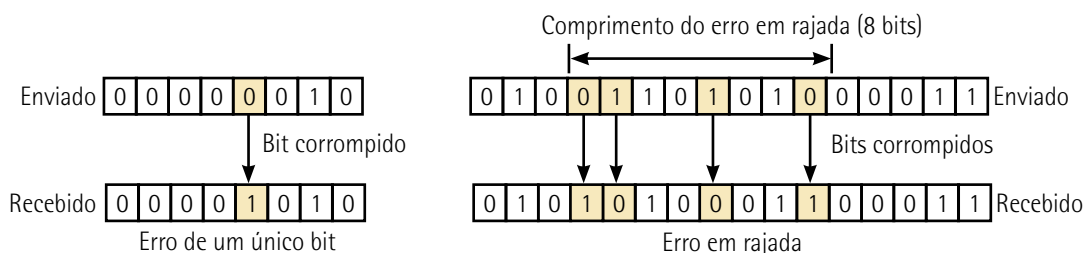


Figura 66 – Erros em bits e em rajada

Adaptada de: Forouzan e Mosharraf (2013, p. 374).

Justamente devido aos erros e em vista de controlá-los, a camada de enlace desenvolve os processos de correção e detecção de erros. É também neste nível de enlace que pode ocorrer a retransmissão de quadros com erros em bits e em rajadas, objetivando uma entrega mais confiável. Sobre isso, Tanenbaum, Feamster e Wetherall (2021, p. 65) mencionam que:

A forma mais comum de garantir uma entrega confiável é dar ao transmissor algum tipo de feedback sobre o que está acontecendo no outro extremo da linha. Normalmente, o protocolo solicita que o receptor retorne quadros de controle especiais com confirmações positivas ou negativas sobre os quadros recebidos. Se receber uma confirmação positiva sobre um quadro, o transmissor saberá que ele chegou em segurança ao destino. Em contrapartida, uma confirmação negativa significa que algo saiu errado e que o quadro deve ser retransmitido.

Voltando para os processos ligados a transmissão confiável, encontramos a correção de erros. A ideia deste processo é trabalhar com um mecanismo que permite que o receptor localize e corrija o erro sem precisar da retransmissão. Esta correção é efetuada a partir de códigos de correção antecipada de erros (FEC – *Forward Error Correction*).



Observação

O processo de correção de erros é muito comum em redes sem fio, em razão da alta quantidade de erros encontrados, devido aos ruídos que acometem o canal de comunicação.

Os principais códigos de correção de erros são: código de Hamming, códigos de convolução binários, códigos Reed-Solomon e códigos de verificação de paridade de baixa densidade (TANENBAUM; FEAMSTER; WETHERALL, 2021).

No caso da detecção, apenas tentamos encontrar a presença dos erros; caso eles existam, os quadros "defeituosos" são descartados e a retransmissão é solicitada. Diferentemente das redes sem fio, aquelas que operam com meio de transmissão cabeado (óptico ou metálico) tem uma taxa menor de erros, fazendo com que a opção do tratamento de erros recaia na detecção em vez de na correção (TANENBAUM, FEAMSTER E WETHERALL, 2021).

Exemplos de técnicas de detecção de erros nos dados transmitidos são: verificações de paridade, métodos de soma e verificação e verificações de redundância cíclica (CRC – *Cyclic Redundancy Check*).



Saiba mais

Para conhecer um pouco mais sobre os códigos de correção de erros e os códigos de detecção de erros, leia o capítulo 3 do seguinte livro:

TANENBAUM, A.; FEAMSTER, N.; WETHERALL, D. *Redes de computadores*. Tradução: Daniel Vieira. 5. ed. Rio de Janeiro: Pearson Prentice Hall, 2021.

4.1.4 Protocolos de camada de enlace de dados

Existem três protocolos simplex e básicos utilizados na camada de enlace: protocolo sem controle de fluxo e sem correção de erros; protocolo com controle de fluxo (stop-and-wait); e protocolo com correção de erros (TANENBAUM; FEAMSTER; WETHERALL, 2021).

O primeiro protocolo é aquele que não efetua controle nem correção de erros. Ele é chamado também de simplex utópico, porque considera que não haverá erros no enlace e que a transmissão deve ocorrer apenas em um sentido. É comum dizermos que o simplex utópico é não orientado a conexão por prever apenas os processos de transmissão e recepção.

O segundo protocolo é o stop-and-wait, que tem o objetivo de impedir sobrecargas na recepção de quadros, trabalhando com feedback do receptor para o transmissor. No stop-and-wait, transmissor e receptor trabalham sincronizados em vista de evitar o overflow (transbordamento de quadros). A figura a seguir apresenta esta ideia de protocolo.

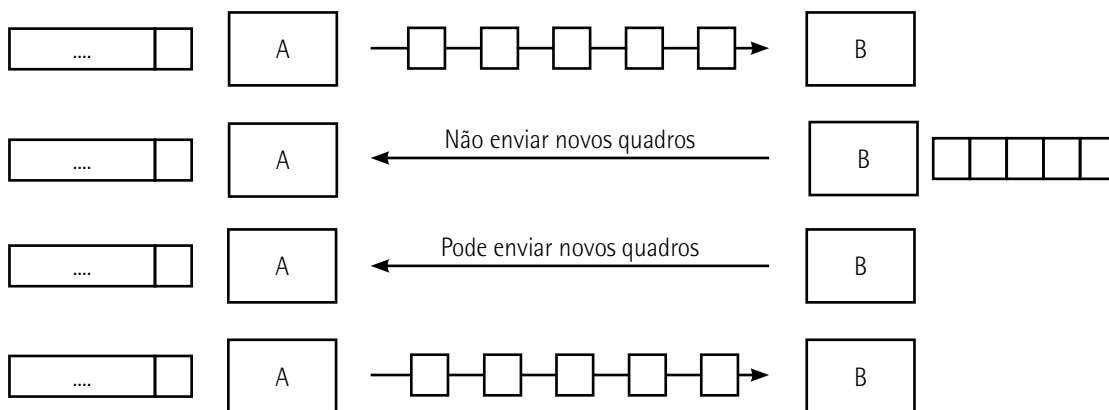


Figura 67 – Stop-and-wait

Adaptada de: Maia (2013, p. 100).

O terceiro e último protocolo é aquele que procede com o tratamento adequado de erros, melhorando a eficiência na transmissão.

Saindo dos protocolos simplex, encontramos aqueles que operam de forma bidirecional e são chamados de protocolos de janela deslizante. Eles trabalham com um tamanho de janela que pode variar de acordo com a necessidade da transmissão. O conceito que temos de janela, na camada de enlace, está relacionado à quantidade de quadros que podem ser transmitidos até que seja devolvida, do receptor para o transmissor, uma confirmação de sucesso na recepção do quadro.



Saiba mais

Para conhecer um pouco mais sobre os protocolos de camada de enlace, leia as seções 3.2 e 3.3 do livro:

TANENBAUM, A.; FEAMSTER, N.; WETHERALL, D. *Redes de computadores*. Tradução: Daniel Vieira. 5. ed. Rio de Janeiro: Pearson Prentice Hall, 2021.

4.2 Padrões de camada de enlace de dados

4.2.1 Padrões de camada de enlace de dados para LAN e para WAN

Para o projeto e funcionamento de uma LAN, os padrões de camada de enlace mais conhecidos são: Ethernet, Wi-Fi (802.11), Token Ring e FDDI. Para a WAN, os principais padrões de camada de enlace são: LAP-B (*Link Access Procedure, Balanced*), Frame Relay, ATM (*Asynchronous Transfer Mode*), PPP (*Point-to-Point Protocol*) e HDLC (*High-level Data Link Control*) (FILIPPETTI, 2017).

Começando com os padrões utilizados em LAN, a Ethernet é o mais adotado, sendo também utilizado em redes metropolitanas conhecidas como redes Metro Ethernet. Funciona como um método de acesso ao meio por contenção, que permite que hosts compartilhem o meio físico, além de definir especificações para as camadas física e de enlace.

Ainda em LAN, temos o Wi-Fi (802.11) como o mais popular padrão para redes sem fio, operando nas camadas de enlace e física do modelo OSI. Esse padrão determina como os pacotes dos protocolos de alto nível são recebidos e encapsulados em quadros para serem transmitidos via ondas eletromagnéticas (FILIPPETTI, 2017).

Complementando os padrões de LAN, temos o Token Ring e o FDDI. O padrão Token Ring foi criado pela IBM para fazer frente ao crescimento do padrão Ethernet. Ele ainda é utilizado em pouquíssimas redes de computadores de grande porte conhecidos como mainframes. O padrão FDDI foi um dos primeiros em redes LAN a ser baseado no uso das fibras ópticas, também operando nas camadas de enlace e física do modelo OSI (FILIPPETTI, 2017).

Chegando até os padrões de WAN, encontramos o LAP-B, padrão utilizado pelas redes que operam com o protocolo X.25. O protocolo X.25 foi criado na década de 1970, quando linhas de transmissão

digitais tinham um uso escasso. O quadro LAP-B foi uma verdadeira inovação para a época em que foi lançado e guarda semelhanças com os padrões Ethernet.

Outro importante padrão de camada de enlace para WAN é o ATM. É um conjunto de tecnologias que operam nas camadas mais baixas do modelo OSI. Trabalha com arquitetura não confiável e com um processo de comutação por células. No padrão ATM, a camada de enlace é compreendida pelo funcionamento de duas camadas (adaptação e transporte de células). O ATM tem protocolos próprios para o nível de enlace. São eles: AAL1 (*ATM Adaptation Layer 1*), AAL2, AAL3/4 e AAL5.

ATM é uma tecnologia de comunicação de dados de alta velocidade usada para interligar redes locais, metropolitanas e de longa distância para dados, voz, áudio e vídeo. Fornece um meio para enviar informações em modo assíncrono através de uma rede de dados, dividindo essas informações em células.

As células ATM são pacotes de tamanho fixo com um endereçamento próprio. A criação dessas células favorece o processo de comutação de pacotes, que é adequado para o envio assíncrono de informações com diferentes requisitos de tempo e funcionalidades, aproveitando-se de sua confiabilidade, eficiência no uso de banda e suporte a aplicações que requerem classes de qualidade de serviço diferenciadas. O modelo de referência ATM é baseado em padrões desenvolvidos pela ITU, sendo dividido nas camadas: física ATM, enlace ATM, rede ATM e adaptação ATM.

Saindo do ATM, chegamos até o Frame Relay, que opera nas camadas de enlace e rede do modelo OSI. Os padrões são bem parecidos com o X.25, inclusive o protocolo LAP-B. O Frame Relay trabalha com um processo de comutação por frames (quadros) que visa a melhor esforço e maior rapidez na transmissão de dados.

O Frame Relay é uma rede de transporte implantada como infraestrutura em operadoras de serviço. Rede de transporte significa a capacidade de transportar dados de diferentes tipos e protocolos, de forma transparente, entre pontos finais. Para os pontos finais, a rede Frame Relay é vista como enlaces representados por circuitos virtuais (normalmente permanentes, ou PVC – *Permanent Virtual Circuit*).

A rede Frame Relay é sempre representada por uma nuvem, já que ela não é uma simples conexão física entre dois pontos distintos. Uma rede Frame Relay é composta de:

- **Equipamentos de usuários:** PCs, estações de trabalho, servidores, computadores de grande porte etc., e suas respectivas aplicações;
- **Equipamentos de acesso com interface Frame Relay:** bridges, roteadores de acesso, dispositivos de acesso Frame Relay (FRAD – *Frame Relay Access Device*) etc.;
- **Equipamentos de rede:** switches, roteadores de rede, equipamentos de transmissão com canais E1 ou T1 etc.

O quadro Frame Relay é composto de:

- **Flags:** indicam o início e o final de cada quadro;
- **Frame Relay Header (FRH):** é o cabeçalho do quadro;
- **Information:** carrega a informação das camadas superiores;
- **Frame Check Sequence (FCS):** é um CRC de 16 bits utilizado para detecção de erros no receptor, ou seja, caso ocorra algum erro entre a transmissão e a recepção do frame, é com esse campo que o protocolo verificará a integridade do quadro.

Na tecnologia Frame Relay existem dois tipos de VC (*Virtual Circuit* – Circuito Virtual) padronizados: circuito virtual permanente e circuito virtual comutado. O circuito virtual permanente comporta-se para o usuário como uma conexão permanente entre dois pontos. Quando um PVC é implementado, existe a criação de uma rota de encaminhamento. Essa rota pode ser alterada durante a operação por causa de problemas ou por mudanças de configuração promovidas pela própria operadora. O circuito virtual comutado comporta-se como uma conexão comutada e estabelecida quando existe a necessidade de transmissão de dados. O seu uso não é comum.

Entre as principais vantagens das redes Frame Relay está o fato de que linearizam o processo de comunicação. A redução na funcionalidade do protocolo no nível de interface usuário-rede, bem como no processamento interno da rede, resulta em menor espera e maior vazão. A desvantagem das redes Frame Relay é a impossibilidade de fazer um controle de fluxo de erro nó a nó – vale ressaltar que essa funcionalidade pode ser implementada em um nível mais alto.

O próximo padrão de camada de enlace para o WAN é o PPP. Ele foi desenvolvido e padronizado pelo RFC 1548 (1993) com o objetivo de transportar todo o tráfego entre dois dispositivos de rede por meio de uma conexão física serial (cabo serial, linha telefônica, telefone celular via conexão GPRS, ligações de rádio especializadas ou ligações de fibras ópticas) única e full-duplex.

O PPP foi projetado para transportar pacotes através de uma conexão entre dois pontos. Essa conexão deve prover operação full-duplex, sendo assumido que os pacotes são entregues em ordem. Tais características são importantes para que o PPP proporcione uma solução comum para a conexão de uma grande variedade de hosts, bridges e routers (FILIPPETTI, 2017).

O encapsulamento do PPP provê multiplexação de diferentes protocolos da camada de rede, simultaneamente, através do mesmo link. Esse encapsulamento foi cuidadosamente projetado para manter compatibilidade com os suportes de hardware utilizados com mais frequência. Somente oito octetos adicionais são necessários para formar o encapsulamento do PPP se o compararmos ao encapsulamento padrão do frame HDLC (OLIVEIRA; MELO, 2021).

Segundo Filippetti (2017), o quadro PPP é composto dos seguintes componentes:

- **Flag:** todo quadro começa e termina com um byte de valor 01111110.
- **Endereço:** por enquanto, apenas o valor de broadcast é utilizado (11111111). O PPP permite que este não seja enviado.
- **Controle:** somente o valor 00000011 foi especificado até o momento. O campo foi criado prevendo a necessidade de abranger mais de uma especificação. É possível não transmiti-lo, assim como o campo de endereço.
- **Informação:** contém o pacote encapsulado proveniente da camada de rede. O comprimento máximo padrão desse campo é de 1.500 bytes, embora seja possível a mudança na primeira vez em que o enlace é configurado.
- **Protocolo:** este campo informa ao receptor PPP a qual protocolo da camada de rede pertence o pacote enquadrado como informação. Ao receber um quadro, o receptor verifica a existência de erros e, em caso negativo, repassa os dados encapsulados – o pacote – ao protocolo apropriado. O RFC 1700 define os códigos utilizados pelo PPP. Como exemplo, temos o IP (21h), o DECnet (29h) e o protocolo de controle de enlace PPP (C021h).
- **Verificação:** utiliza um código de redundância cíclica, padrão HDLC, para detectar erros de bits em um quadro transmitido.

Segundo Filippetti (2017), o protocolo PPP divide-se em dois outros protocolos:

- **Link Control Protocol (LCP):** é usado para automaticamente concordar sobre opções de formato de encapsulamento, lidar com variações nos limites de tamanho dos pacotes, detectar repetições infinitas, identificar erros de configuração, iniciar e terminar a conexão.
- **Network Control Protocol (NCP):** é composto de diversas famílias de protocolo de rede. Estabelece e configura os diferentes protocolos na camada de rede que serão utilizados pelo PPP, pois os links usados tendem a agravar alguns problemas comuns aos protocolos de rede.

Em alguns ambientes, pode ser necessário agrupar links seriais para que atuem como uma única largura de banda agregada. A fim de atender essa necessidade, é possível configurar o multilink por meio do PPP (FILIPPETTI, 2017).

Outra interessante especificação relacionada ao PPP é o PPPoE (*PPP over Ethernet*). Ela permite a conexão de hosts à rede do provedor de acesso à internet, providenciando conexões ponto a ponto, por meio da pilha do protocolo PPP sobre o protocolo Ethernet (FILIPPETTI, 2017).

O protocolo PPP trabalha com a tecnologia Ethernet (nesses cenários) para ligar a placa de rede dos usuários ao modem. Dessa forma, é possível agregarmos a autenticação para a conexão e aquisição de um endereço IP fixo ou dinâmico à máquina do usuário.

Estes modems operam com a tecnologia DSL (*Digital Subscriber Line*) e são essencialmente simples bridges Ethernet para conexão com multiplexadores de acesso (DSLAMs) da operadora, oferecendo um túnel PPP sobre Ethernet. A tecnologia PPPoE é bastante utilizada com DSL – isso porque o protocolo PPP é a opção natural para permitir a autenticação do usuário e o transporte das mais diversas tecnologias através das redes de transporte das operadoras. O maior motivador para uso do PPPoE é a possibilidade de autenticar o usuário com CHAP (*Challenge Handshake Authentication Protocol*), um subprotocolo nativo do PPP.

Finalizando os padrões de WAN, encontramos o HDLC. Ele é um protocolo comum da camada de enlace de dados do modelo OSI, com orientação bit a bit. Ele especifica um método de encapsulamento de dados de ligações seriais síncronas. É um protocolo ponto a ponto utilizado em linhas privadas e não possui qualquer método de autenticação. O protocolo HDLC é proprietário.

Em protocolos com orientação byte a byte, as informações de controle são codificadas utilizando bytes inteiros. Já em protocolos com orientação bit a bit, como é o caso do HDLC, um bit pode representar uma informação de controle.

4.2.2 Ethernet

A Ethernet, padrão adotado na maior parte das redes locais do mundo, surgiu na década de 1970, criado por estudantes da Universidade do Havaí que propunham interligar os computadores espalhados pelas ilhas em um computador central na ilha de Honolulu (OLIVEIRA; MELO, 2021).

Em 1978, foi criado um padrão para Ethernet chamado DIX, por um consórcio entre as empresas Digital Equipment Company, Intel e Xerox. Os primeiros produtos com padrão Ethernet foram vendidos na década de 1980, com transmissão de 10 Mbps por cabo coaxial grosso (thicknet), com uma distância de 2 km.

Em 1985, o IEEE desenvolveu o padrão 802, mas, para assegurar os padrões da ISO/OSI, alterou o projeto Ethernet original para 802.3.

Para o padrão Ethernet, a camada de enlace divide-se em duas subcamadas: LLC (*Logical Link Control* – Controle de Enlace Lógico) e MAC (*Media Access Control* – Controle de Acesso ao Meio).

A subcamada LLC tem o objetivo de receber todos os pacotes dos protocolos de alto nível, acrescentando informações que identificam características de camadas superiores. A implementação da LLC implica a adição de um cabeçalho de cinco bytes com as seguintes informações:

- **DSAP (*Destination Service Access Point*)**: informa o protocolo de alto nível de destino;
- **SSAP (*Source Service Access Point*)**: informa o protocolo de alto nível de origem;
- **Controle**: informa se é de fato uma transmissão de dados ou se é uma transmissão de controle;
- **Código**: é a identificação do fabricante/desenvolvedor do protocolo de alto nível.

A subcamada MAC tem o objetivo de gerar o quadro a partir das informações oriundas da subcamada LLC. É na subcamada MAC que se encontram as informações de endereçamento físico gravadas nas placas de rede dos computadores.

O método de acesso da Ethernet é o CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection* – Acesso Múltiplo por Portadora com Detecção de Colisão). Ele permite o compartilhamento do meio físico, evitando que dois dispositivos transmitam simultaneamente (provocando uma colisão). O CSMA/CD funciona da seguinte maneira:

- Escuta o meio físico, isto é, verifica se o meio físico está ocupado;
- Transmite o sinal pelo meio físico, caso não esteja ocupado – se o meio físico estiver ocupado, o host aguarda a sua desocupação;
- Após a utilização, o host desocupa o meio físico;
- Caso haja alguma colisão, os hosts envolvidos “forçam” a percepção dela por parte de todos os dispositivos;
- Os hosts aguardam um período de tempo pseudoaleatório antes de voltar a transmitir – o tempo de backoff.
- Se 15 tentativas resultarem em colisão, o host abandonará a transmissão.

O padrão Ethernet estabelece um esquema de endereçamento físico composto de uma sequência de 48 bits. Esse endereço encontra-se gravado na memória ROM da placa de rede do computador ou nas memórias dos roteadores e switches que possuem porta Ethernet, sendo seu identificador único de conotação local. É comum chamar o endereço Ethernet de endereço MAC, endereço de hardware ou endereço de placa de rede.

Esse esquema de endereçamento apresenta um agrupamento de 4 bits para formar um dígito hexadecimal. Assim, o endereçamento de Ethernet pode ser expresso por 48 dígitos binários ou 12 dígitos hexadecimais, divididos em duas porções iguais. A primeira porção (contendo 6 dígitos hexadecimais ou 24 bits) é conhecida por OUI (*Organizationally Unique Identifier* – Identificador Organizacional Único) e é designada pelo IEEE; a segunda porção é designada pelo fabricante.

Para descobrir o endereço MAC da placa de rede, é necessário entrar com o comando `IPCONFIG / ALL` no prompt de comando. A figura a seguir mostra um exemplo de endereço MAC destacado igual a AC-9E-17-EB-83-2A.

```
cmd Prompt de Comando - cmd
C:\Users\ANTONIO>IPCONFIG /ALL

Configuração de IP do Windows

Nome do host. . . . . : Palmeira
Sufixo DNS primário . . . . . :
Tipo de nó. . . . . : híbrido
Roteamento de IP ativado. . . . . : não
Proxy WINS ativado. . . . . : não

Adaptador Ethernet Ethernet:

Estado da mídia. . . . . : mídia desconectada
Sufixo DNS específico de conexão. . . . . :
Descrição . . . . . : Realtek PCIe GBE Family Controller
Endereço Físico . . . . . : AC-9E-17-EB-83-2A
DHCP Habilitado . . . . . : Sim
Configuração Automática Habilitada. . . . . : Sim
```

Figura 68 – Comando que permite encontrar o endereço MAC

Os endereços MAC também podem ser classificados como: unicast, multicast e broadcast. O endereço unicast especifica uma placa de rede apenas. O endereço multicast especifica um grupo de placas de rede. Já o endereço broadcast identifica todas as máquinas de uma rede.

Exemplo de aplicação

Para familiarizar-se mais com os endereços MAC, tente entrar no comand prompt do seu computador, dê o comando ipconfig /all e descubra qual é o endereço MAC da sua máquina.

Para o padrão Ethernet, a subcamada de controle de acesso ao meio encapsula o pacote oriundo da camada de rede em um quadro, chamado de quadro Ethernet. A figura a seguir mostra a estrutura desse quadro.

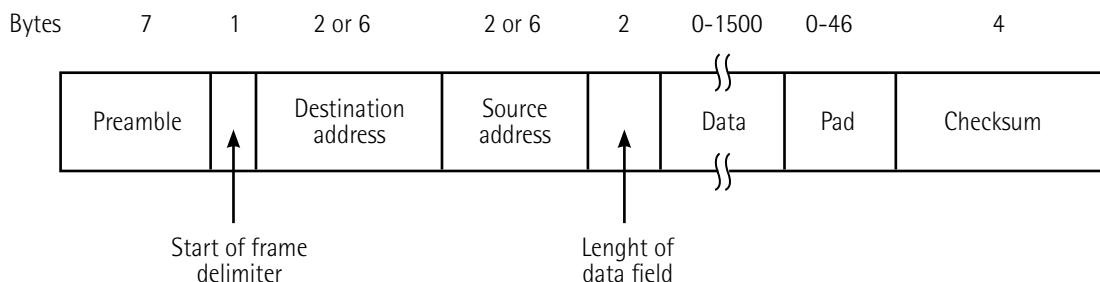


Figura 69 – Quadro Ethernet

Os componentes de um quadro Ethernet são:

- **Preamble (preâmbulo):** apresenta o sincronismo do quadro, sendo formado por 7 bytes, com sequências alternadas de bits iguais a 1 e 0;

- **Start of frame delimiter (delimitador de início do quadro):** é um byte fixo, com o valor de 10101011, que sinaliza o início do quadro;
- **Destination address (endereço MAC de destino):** indica o endereço MAC da máquina de destino;
- **Source address (endereço MAC de origem):** indica o endereço MAC da máquina de origem;
- **Length of data field (comprimento do campo de dados):** indica o tamanho do campo de comprimento de dados;
- **Data (dados):** é nada mais que o pacote enviado pela camada de rede;
- **Pad (preenchimento):** é um campo destinado a complementar o campo de dados para que este tenha sempre no mínimo 46 bytes – esse preenchimento é executado pela subcamada LLC;
- **Checksum:** é o campo final do quadro, usado para a checagem de erros no quadro – a partir dele, é feita uma conferência baseada em algoritmos matemáticos.

O padrão Ethernet define os meios físicos utilizados nas redes LAN e suas respectivas características. O quadro a seguir apresenta os principais padrões físicos da Ethernet.

Quadro 8 – Padrões físicos da Ethernet

Padrão	Velocidade teórica	Distância máxima	Meio físico
10BaseT	10 Mbps	100 m	Par trançado sem blindagem, de categoria 3 ou 5
100BaseTX	100 Mbps	100 m	Par trançado sem blindagem, de categoria 5, 6 ou 7
100BaseFX	100 Mbps	400 m	Fibra óptica multimodo (62,5 micrômetros)
1000BaseT	1 Gbps	100 m	Par trançado sem blindagem, de categoria 5, 6 ou 7
1000BaseCX	1 Gbps	25 m	Par trançado blindado (obsoleto)
1000BaseSX	1 Gbps	260 m	Fibra óptica multimodo (62,5 micrômetros)
1000BaseLX	1 Gbps	10 km	Fibra óptica monomodo (9 micrômetros)
10GBase-SR	10 Gbps	80 km	Fibra óptica multimodo
10GBase-LR	10 Gbps	10 km	Fibra óptica monomodo
10GBase-ER	10 Gbps	40 km	Fibra óptica monomodo

Adaptado de: Filippetti (2017, p. 56).

Cada notação descrita nessa tabela especifica um padrão de operação: primeiro aparece a taxa de transmissão; depois, o tipo de transmissão e o tipo de meio. Por exemplo, no padrão 10BaseT, está especificada a taxa de transmissão máxima de 10 Mbps, seguida de uma transmissão em banda base e de um cabo de par trançado como meio físico (representado pela letra T).

4.2.3 Switching

Switching ou comutação é um processo efetuado na camada de enlace, por um dispositivo intermediário de redes denominado switch, sendo este considerado um dispositivo de camada 2. O switch opera também como um elemento concentrador, tal qual um hub, sendo ambos considerados os principais equipamentos de uma rede LAN.

A maior diferença entre um hub e um switch está na função de comutação que o switch exerce. O hub nunca poderia efetuar a comutação, por estar justamente na camada física, que não compreende qualquer processo de chaveamento de quadros da camada de enlace.

É comum, em algumas situações, certa confusão entre as funções de comutação e concentração. Uma não é necessariamente a outra. Observe que, na comutação, há o conhecimento dos hosts interligados em cada porta do equipamento, ao passo que, na concentração, há total desconhecimento dos hosts interligados.

É também de extrema importância compreender que esse conhecimento está limitado apenas ao endereço físico que cada host possui, seja qual for a tecnologia de camada 2 utilizada. Assim, convém a utilização de switches em vez de hubs em redes com grande número de hosts para diminuir a quantidade de colisões em uma rede de computadores.

O switch diminui o tamanho do domínio de colisão de uma rede, a partir da segmentação (divisão) de grandes domínios de colisão gerados pelos hubs. A inserção de um hub, por sua vez, aumenta o tamanho do domínio de colisão.

O domínio de colisão é um segmento de rede em que há a possibilidade de mais de um host transmitir sinais ao mesmo tempo. O ideal é que as redes LAN tenham domínios de colisão pequenos.

Nas redes que adotam o padrão Ethernet, os switches operam como comutadores eficientes e rápidos na camada de enlace, sem se preocupar com quaisquer questões pertinentes à camada de rede e ao pacote gerado por ela. Ou seja, o switch apenas se preocupa com o quadro, executando todo o seu processo hardware, em vez de software.

A comutação no padrão Ethernet na camada de enlace favorece a conexão entre máquinas e grupos de trabalho, permitindo a segmentação de domínios de colisão e a transmissão full-duplex fim a fim. Tudo isso coopera com a eficiência na transmissão, verificada na taxa real de transmissão dos dados.

O processo de comutação também é conhecido como encaminhamento de frames e é sempre baseado no endereço MAC de destino situado no cabeçalho do quadro Ethernet.

Para desempenhar bem as suas funções, o switch realiza as seguintes tarefas:

- **Aprendizagem de endereços:** registro de endereços MAC dos hosts que transmitem dados em uma rede;

- **Decisões de filtragem e encaminhamento:** decisões sobre qual porta deverá enviar um determinado quadro.

Um switch pode trabalhar com um dos três modos de comutação: **Store-and-Forward**, **Cut-Through** e **FragmentFree**.

O modo de comutação Store-and-Forward consiste em receber e armazenar todo o quadro e somente depois encaminhá-lo pela porta correta. Antes da retransmissão do quadro, ocorre, nesse tipo de comutação, uma checagem de erros a partir do último campo do quadro Ethernet. Caso o cálculo de redundância cíclica executado a partir do checksum apresente problemas, o quadro é descartado. Os switches do fabricante Cisco da linha 2960 e 3560 utilizam esse método.

O modo de comutação Cut-Through é utilizado em switches que desejam uma menor latência (atraso) e alta performance na transmissão de quadros. Esse modo consiste em receber e examinar o quadro até o endereço MAC de destino para imediatamente encaminhá-lo pela porta adequada. O ponto negativo desse método é o encaminhamento antes da checagem de erros do quadro, que é executada pelo cálculo de redundância cíclica feito no checksum. Os switches do fabricante Cisco da linha Nexus operam com esse modo de comutação.

O modo de comutação FragmentFree é também conhecido como Cut-Through modificado. Nesse modo, o encaminhamento só acontece após a passagem da "janela de colisão", que se refere aos 64 bytes iniciais de quadro Ethernet. A partir do uso desse método, é possível detectar se, na verdade, tem-se um quadro ou um fragmento de colisão. Os switches do fabricante Cisco da linha 1900 e 2900 operam com esse tipo de comutação.

A figura a seguir apresenta o quadro Ethernet e o momento em que cada um dos modos de comutação ocorre.

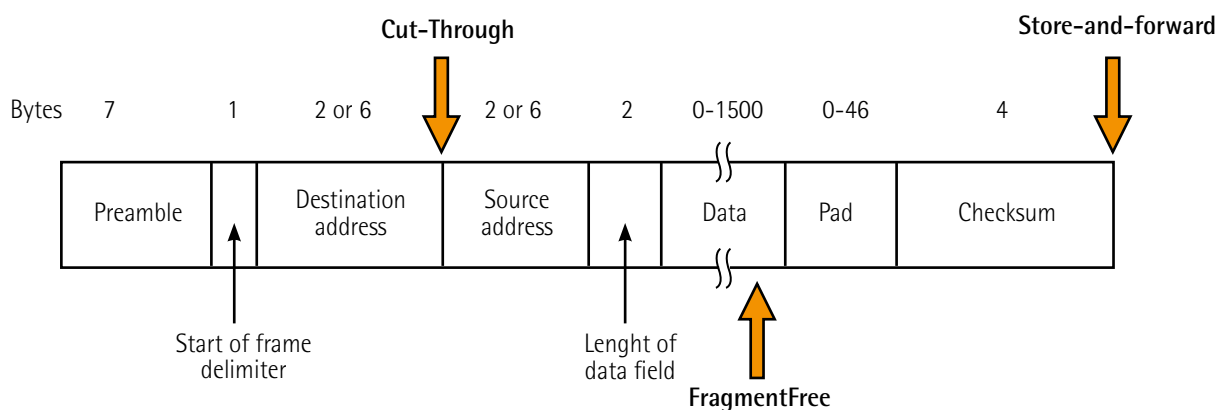


Figura 70 – Modos de comutação de um switch Ethernet

4.2.4 Operação de um switch

Todo switch atua como concentrador de redes e comutador de quadros. Para melhor exercer essa tarefa, o switch mantém uma tabela contendo as informações dos endereços MAC de cada um dos dispositivos finais interligados em suas portas, como consequência de um processo de aprendizado de endereços.

Quando o switch inicia suas operações ou quando ele é reinicializado, a sua tabela de endereços MAC encontra-se vazia, ou seja, ele não tem qualquer informação sobre os hosts que estão conectados a ele. Esse primeiro estágio do switch o faz parecer com um hub, que também nada "sabe" sobre os dispositivos interligados a suas portas. Assim, se qualquer dispositivo transmitir algum quadro para o switch, ele vai retransmiti-lo para todas as portas, justamente porque a sua tabela MAC está vazia, sem qualquer informação sobre os hosts.

Observe a topologia descrita na figura a seguir, composta de um switch da linha 2900, modelo 2950, da Cisco e três computadores identificados como João, Maria e José. O computador de João, que tem o endereço MAC 0A10.B51A.0001, está interligado à interface (porta) FastEthernet 0/2 (Fa0/2) do switch. O computador de José, que tem o endereço MAC ABC1.2124.D464, está interligado à interface (porta) FastEthernet 0/3 (Fa0/3) do switch. O computador de Maria, que tem o endereço MAC 4561.71A4.CC68, está interligado à interface (porta) FastEthernet 0/1 (Fa0/1) do switch.

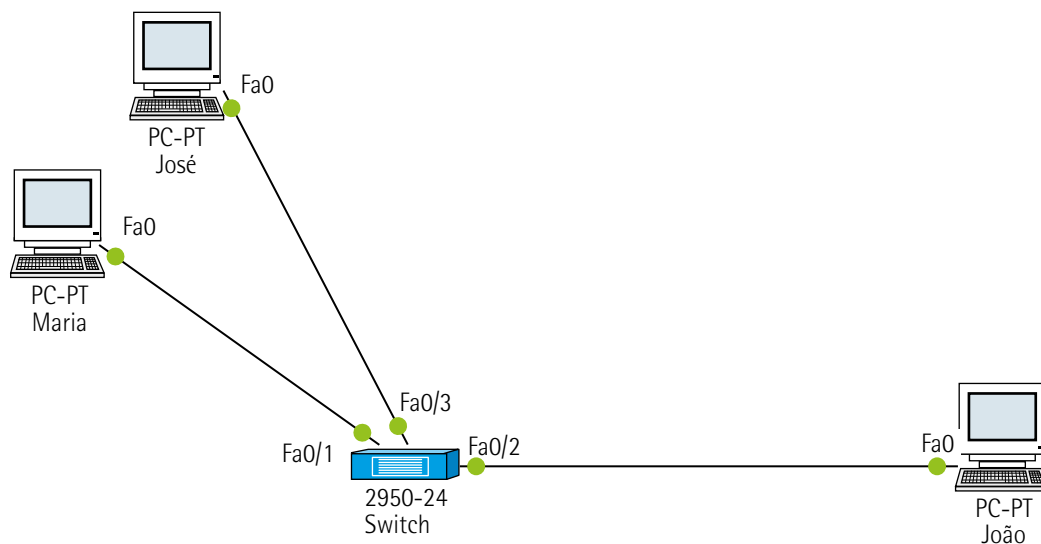


Figura 71 – Processo de aprendizagem do switch

Em um primeiro estágio, quando o switch é ligado ou reinicializado, a sua tabela de endereços MAC está vazia.

Em um segundo momento, o computador de João quer estabelecer uma comunicação com o computador de José. Assim, o quadro gerado por João será recebido pela interface Fa0/2 do switch e retransmitido para todas as portas, com exceção da porta que recebeu o quadro (Fa0/2). O computador de

Maria vai receber o quadro e ao mesmo tempo descartá-lo, por não ser destinado a ela. O computador de José receberá o quadro e enviará os dados para as camadas superiores. Após o encaminhamento do quadro por todas as portas, o switch deste exemplo vai iniciar a operação aprendizado, "escrevendo" na tabela MAC o endereço físico do computador de João (0A10.B51A.0001), descrito em seu quadro no campo endereço MAC de origem. Assim, a tabela MAC desse switch agora tem uma entrada que relaciona a interface (Fa0/2) ao endereço físico de João (0A10.B51A.0001).

Em um terceiro momento, o computador de José quer responder a uma solicitação de João. Envia, assim, um quadro para o switch na interface Fa0/3. Ao receber o quadro, o switch vai analisar o endereço de destino (no caso, o endereço de destino do computador de João: 0A10.B51A.0001) e verificar se há alguma entrada na tabela MAC com esse endereço. Ele vai encontrar o endereço do computador de João, porque o aprendeu no passo anterior. Então, o quadro será enviado pela interface correta, a Fa0/2, em que se encontra João. Após esse encaminhamento, o switch terá mais uma entrada na tabela MAC – o endereço de José (ABC1.2124.D464), relacionado à interface Fa0/3.

O quadro 9 traz a tabela MAC do switch do exemplo apresentado.

Quadro 9 – Tabela MAC do Switch

Endereço MAC	Interface
0A10.B51A.0001	Fa0/2
ABC1.2124.D464	Fa0/3

Observe que a tabela MAC descrita apresenta dois registros. É comum também dizermos que a tabela MAC tem duas entradas, em vez de registros. Da mesma forma que o switch aprende novos endereços MAC, relacionando-os a interfaces para preencher a sua tabela MAC, ele também poderá esquecer tudo. Basta que os hosts parem de transmitir por um tempo para que todos os registros inativos sejam retirados. Com isso, a tabela MAC permanece sempre atualizada.

O segundo processo executado pelo switch envolve as decisões de filtragem e encaminhamento. Este processo é consequência do anterior. Ao chegar a uma interface, o quadro é recepcionado pelo switch, que verifica a existência de um registro na tabela MAC que o ajude na tomada de decisão. Caso haja, ele filtrará a transmissão apenas pela interface informada pela tabela MAC. Se não houver registro na tabela MAC que o auxilie na filtragem, o quadro será enviado para todas as suas interfaces ativas, com exceção da interface da qual o quadro foi originado.



Resumo

Iniciamos esta unidade apresentando os fundamentos das telecomunicações e das redes de computadores. Destacamos os principais conceitos, classificações, princípios e embasamento teórico para compreender de forma geral o processo de comunicação de dados.

Avançamos no segundo tópico com uma abordagem sobre os modelos em camada. Com destaque especial para o modelo OSI e para o modelo TCP/IP, adotamos a ideia de alguns autores no que tange a uma arquitetura de redes considerando o modelo híbrido que reúne características importantes do OSI e do TCP/IP, simplificando a compreensão das funcionalidades de cada camada dentro da arquitetura final.

Assim, partindo de uma abordagem de baixo para cima, apresentamos os padrões e protocolos de camada física. Mencionamos as suas funcionalidades e destacamos o papel dos meios de transmissão, sejam eles confinados em um cabo ou não confinados, quando utilizamos uma rede sem fio.

O último tópico desta unidade trouxe os padrões e protocolos da camada de enlace de dados. Nele, abordamos os processos de enquadramento e comutação, destacando o esquema de endereçamento físico e o trabalho executado pelo switch em uma LAN.



Exercícios

Questão 1. A topologia de uma rede descreve sua estrutura e o modo como são feitas as conexões entre os dispositivos. Elas podem ser classificadas como topologias físicas (descrevem a forma de interconexão física dos dispositivos de uma rede) e topologias lógicas (descrevem a forma como os dados se propagam e as formas de comunicação). A respeito das topologias físicas, avalie as afirmativas.

I – Na topologia em estrela, todos os componentes estão interligados a um equipamento concentrador, que é o núcleo central da rede.

II – Na topologia em barramento, há um meio físico interligando os componentes um por um, de forma a compor um circuito fechado em série.

III – Na topologia em anel, os vários componentes da rede estão conectados a um único cabo ou linha.

É correto o que se afirma em:

A) I, apenas.

B) III, apenas.

C) I e II, apenas.

D) II e III, apenas.

E) I, II e III.

Resposta correta: alternativa A.

Análise das afirmativas

I – Afirmativa correta.

Justificativa: na topologia física em estrela, há um dispositivo central (normalmente um switch ou um hub), ao qual se ligam os vários dispositivos da rede, por meio de conexões individuais. Desse modo, esses componentes estão interligados a um equipamento concentrador, que é o núcleo central da rede.

II – Afirmativa incorreta.

Justificativa: o texto da afirmativa descreve a topologia física em anel. Na topologia em barramento, cada um dos componentes está interligado a um barramento físico – por exemplo, um cabo coaxial.

III – Afirmativa incorreta.

Justificativa: o texto da afirmativa descreve a topologia física em barramento. Na topologia em anel, há um meio físico interligando os componentes um por um, formando um anel físico.

Questão 2. (UFMA/2019, adaptada) A junção de protocolos e as camadas em um modelo representam o que chamamos de arquitetura de redes. Por meio dessas arquiteturas, especificamos a implementação e o funcionamento de interfaces, os recursos de hardware e os recursos de software das redes.

Nesse sentido, avalie as afirmativas a seguir, relativas à comparação entre as arquiteturas TCP/IP e OSI.

I – As camadas de sessão, apresentação e aplicação do modelo OSI correspondem à camada de aplicação na arquitetura TCP/IP.

II – O modelo TCP/IP é conceitual, enquanto o modelo OSI é real e utilizado na prática.

III – As duas camadas inferiores do modelo OSI são chamadas de camada de interface de rede no TCP/IP.

IV – A camada de transporte é funcionalmente similar nos dois modelos.

É correto o que se afirma em:

A) I, apenas.

B) II e III, apenas.

C) III e IV, apenas.

D) I, III e IV, apenas.

E) I, II, III e IV.

Resposta correta: alternativa D.

Análise das afirmativas

I – Afirmativa correta.

Justificativa: no modelo OSI, as camadas de aplicação (camada 7), apresentação (camada 6) e sessão (camada 5) são consideradas as camadas superiores por serem as mais próximas do usuário e por terem o dado como unidade de dados de protocolo (PDU). No modelo TCP/IP, a camada de aplicação é a mais próxima do usuário, acumulando as funções das três camadas superiores do modelo OSI.

