

COMUNICAÇÃO DE DADOS



Prof. Me. Wallace Rodrigues de Santana



www.neutronica.com.br

Versão 2.1 Preliminar

© 2014-2019
neutronica.com.br



Atribuição-NãoComercial-Compartilhalgual 3.0 Brasil (CC BY-NC-SA 3.0)

Você tem a liberdade de:

Compartilhar — copiar, distribuir e transmitir a obra.

Remixar — criar obras derivadas.



Ficando claro que:

Renúncia — Qualquer das condições acima pode ser **renunciada** se você obtiver permissão do titular dos direitos autorais.

Domínio Público — Onde a obra ou qualquer de seus elementos estiver em **domínio público** sob o direito aplicável, esta condição não é, de maneira alguma, afetada pela licença.

Outros Direitos — Os seguintes direitos não são, de maneira alguma, afetados pela licença:

- Limitações e exceções aos direitos autorais ou quaisquer **usos livres** aplicáveis;
- Os **direitos morais** do autor;
- Direitos que outras pessoas podem ter sobre a obra ou sobre a utilização da obra, tais como **direitos de imagem** ou privacidade.

Aviso — Para qualquer reutilização ou distribuição, você deve deixar claro a terceiros os termos da licença a que se encontra submetida esta obra. A melhor maneira de fazer isso é com um link para esta página.



Atribuição — Você deve creditar a obra da forma especificada pelo autor ou licenciante (mas não de maneira que sugira que estes concedem qualquer aval a você ou ao seu uso da obra).



Uso não comercial — Você não pode usar esta obra para fins comerciais.



Compartilhamento pela mesma licença — Se você alterar, transformar ou criar em cima desta obra, você poderá distribuir a obra resultante apenas sob a mesma licença, ou sob uma licença similar à presente.

Comunicação de Dados

Apresentação da disciplina



Objetivo Geral

Apresentar ao aluno as características fundamentais da transmissão de dados em redes de computadores, seja em conexões locais ou de longa distância.



Módulos

- Módulo 1 – Introdução aos sistemas de comunicação
- Módulo 2 – Topologias e tipos de redes
- Módulo 3 – Equipamentos de redes
- Módulo 4 – Camada de enlace
- Módulo 5 – Camada física
- Módulo 6 – Redes óticas
- Módulo 7 – Redes sem fio



Ementa

- Conceitos e características de comunicação de dados;
- Classificação das redes, topologias e padrões;
- Modelos de referência OSI e TCP/IP;
- Meios de transmissão;
- Transmissão de dados;
- Enlace de dados;
- Detecção e correção de erros;
- Acesso ao meio físico.



Referências

BÁSICAS

FOROUZAN B. **Comunicação de Dados e Redes de Computadores**. Mcgraw Hill. 2008.

ROCHOL, J. **Comunicação de Dados**. Vol. 22. Bookman. 2012.

WHITE, Curt. **Redes de Computadores e Comunicação de Dados**. Cengage. 2012.

COMPLEMENTARES

FOROUZAN, B. **Protocolo TCP/IP**. Mcgraw Hill. 2009.

FRENZEL JR, Louis. **Fundamentos de Comunicação Eletrônica: Modulação, Demodulação e Recepção**. Mcgraw Hill. 2013.

KUROSE, J. F. Kurose. **Redes de computadores e a Internet: uma abordagem top-down**. Addison Wesley, 2007.

SOARES, Luiz Fernando Gomes. **Redes de computadores: das LANs, MANs e WANs às redes ATM**. Rio de Janeiro: Campus, 1995.

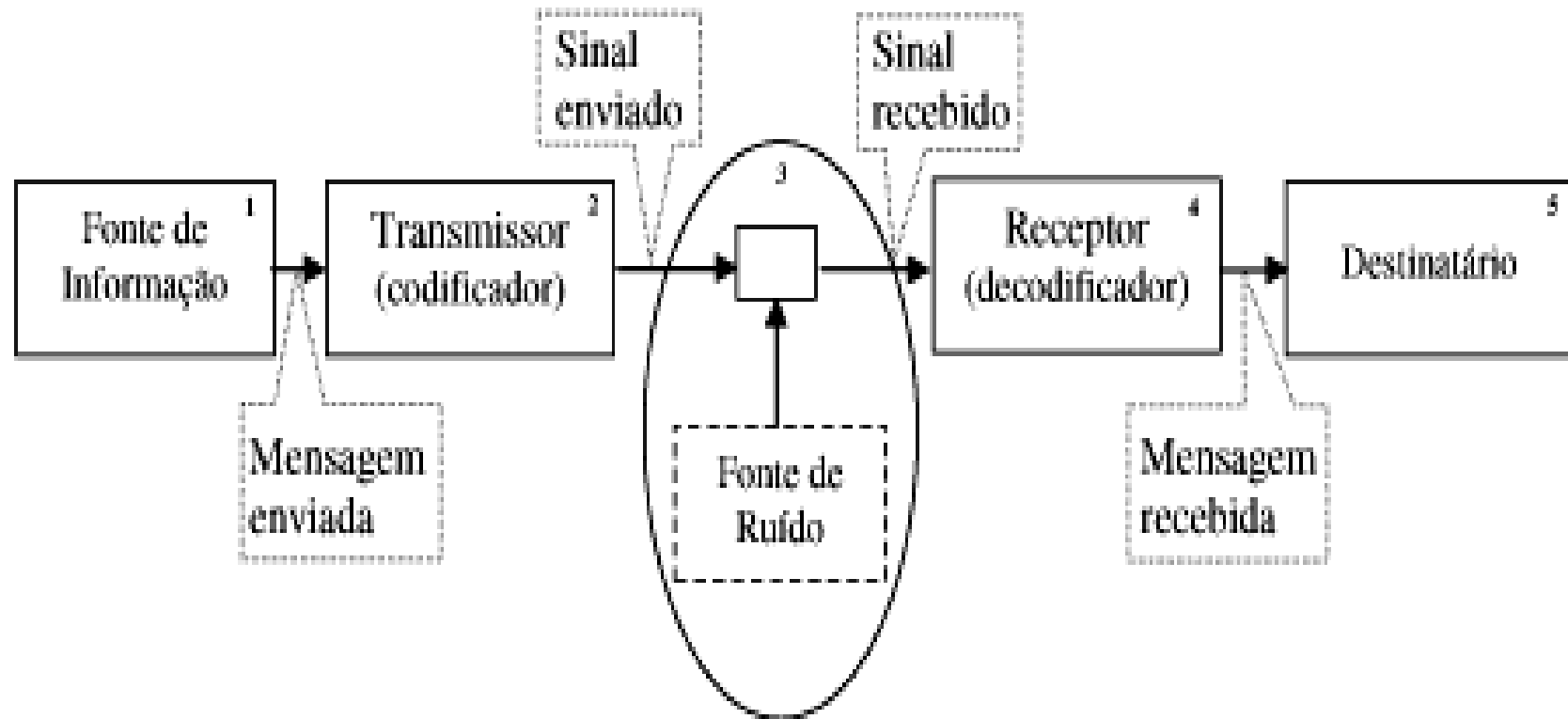
VELLOSO, Fernando de Castro. **Informática: conceitos básicos**. Campus, 2011.

Módulo 1

Introdução aos sistemas de comunicação



Transmitindo uma mensagem



O modelo proposto por Shannon descreve cinco elementos essenciais ao processo de comunicação: fonte (1), transmissor ou codificador (2), canal (3), receptor ou decodificador (4) e destinatário (5).

Referências Bibliográficas:

SANTOS, Flávio Marcelo Risuenho dos; SOUSA, Richard Perassi Luiz de. *O conhecimento no campo de Engenharia e Gestão do Conhecimento*. Perspect. ciênc. inf., Belo Horizonte, v. 15, n. 1, abr. 2010

SHANNON, C. E. *A Mathematical theory of communication*. The Bell System Technical Journal, United States, v. 27, p. 379-423 / 623-656, Jul./Oct., 1948



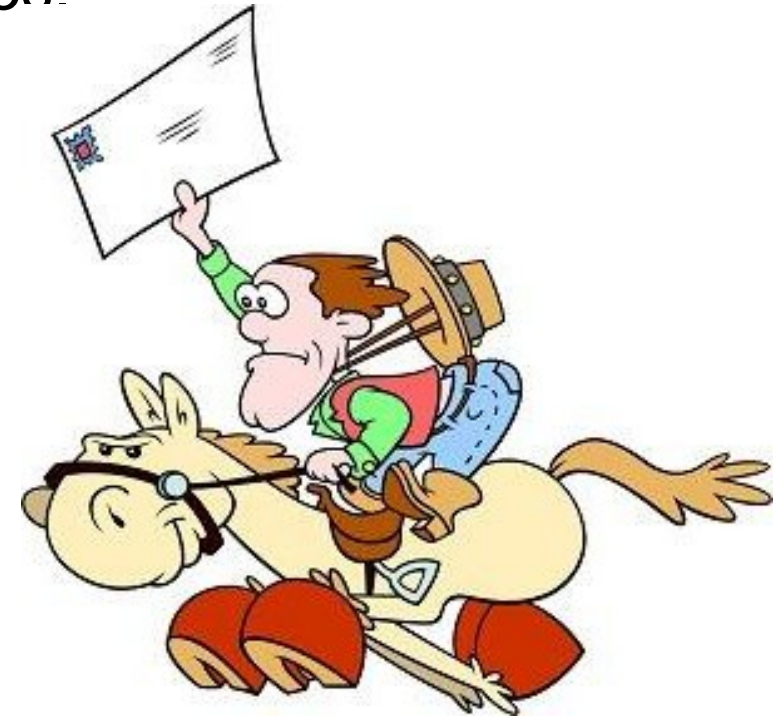
Transmitindo uma mensagem

- a) O emissor ou destinador é o que emite a mensagem; pode ser um indivíduo ou um grupo (firma, organismo de difusão, etc.)
- b) O receptor ou destinatário é o que recebe a mensagem; pode ser um indivíduo, um grupo, ou mesmo um animal ou uma máquina (computador). Em todos estes casos, a comunicação só se realiza efetivamente se a recepção da mensagem tiver uma incidência observável sobre o comportamento do destinatário (o que não significa necessariamente que a mensagem tenha sido compreendida: é preciso distinguir cuidadosamente recepção de compreensão).
- c) A mensagem é o objeto da comunicação; ela é constituída pelo conteúdo das informações transmitidas.
- d) O canal de comunicação é a via de circulação das mensagens. Ele pode ser definido, de maneira geral, pelos meios técnicos aos quais o destinador tem acesso, a fim de assegurar o encaminhamento de sua mensagem para o destinatário.
- e) O código é um conjunto de signos e regras de combinação destes signos; o destinador lança mão dele para elaborar sua mensagem (esta é a operação de codificação). O destinatário identificará este sistema de signos (operação de decodificação) se seu repertório for comum ao do emissor for comum ao do emissor. Este processo pode se realizar de várias maneiras (representaremos por dois círculos os repertórios de signos do emissor e do receptor).



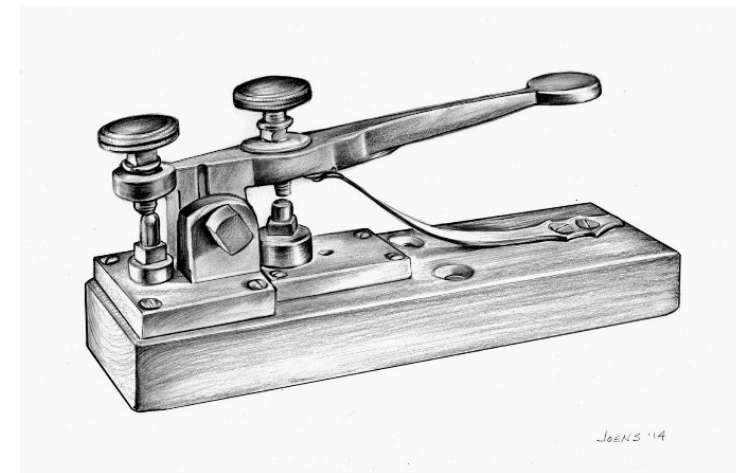
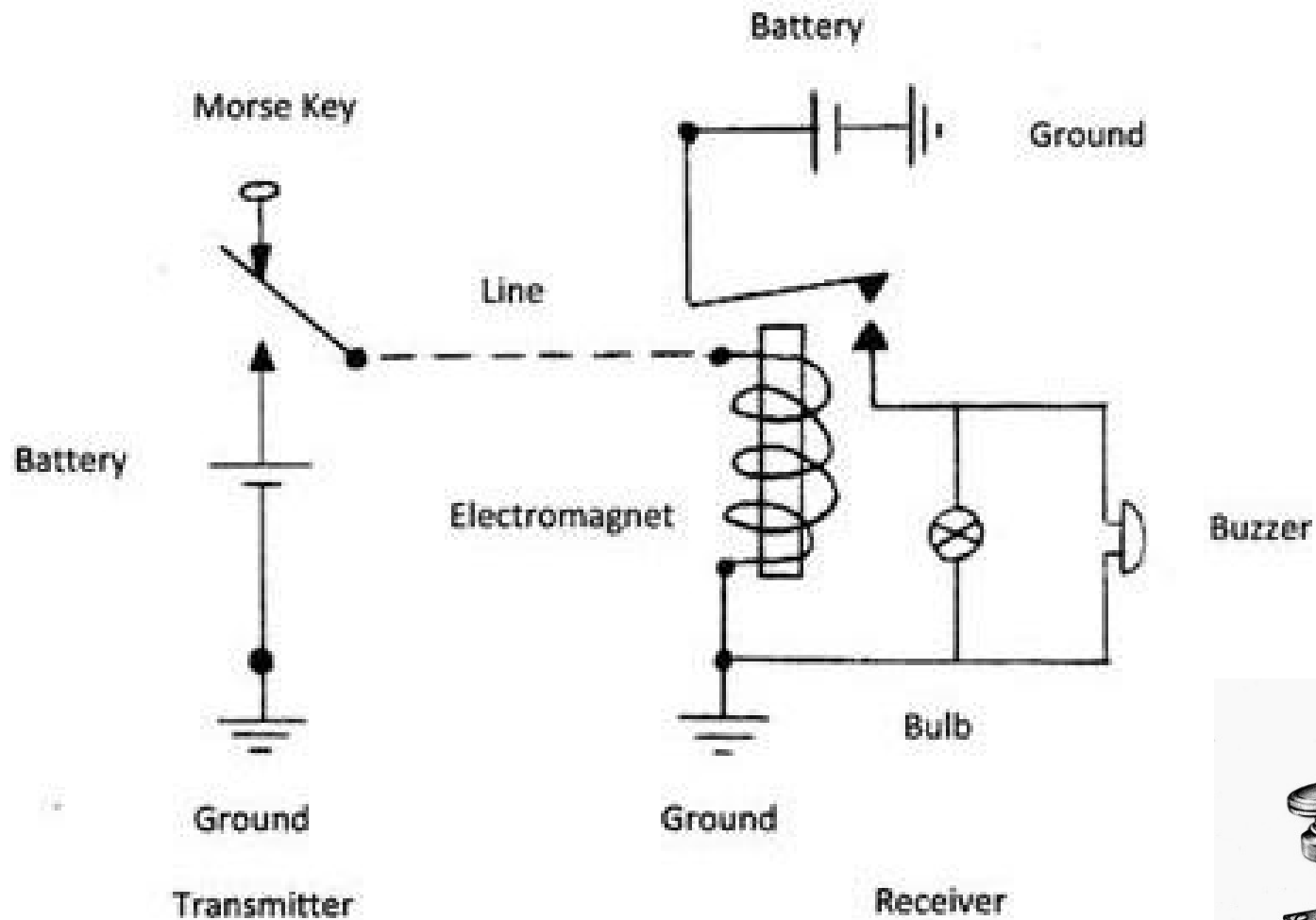
Correio “Pony Express”

- Funcionou de abril de 1860 até outubro de 1861;
- Distância de 3.226 km e postos a cada 16 km;
- Viagem durava de 10 a 12 dias;
- Foi substituído pelas linhas de telégrafos.





Telégrafo





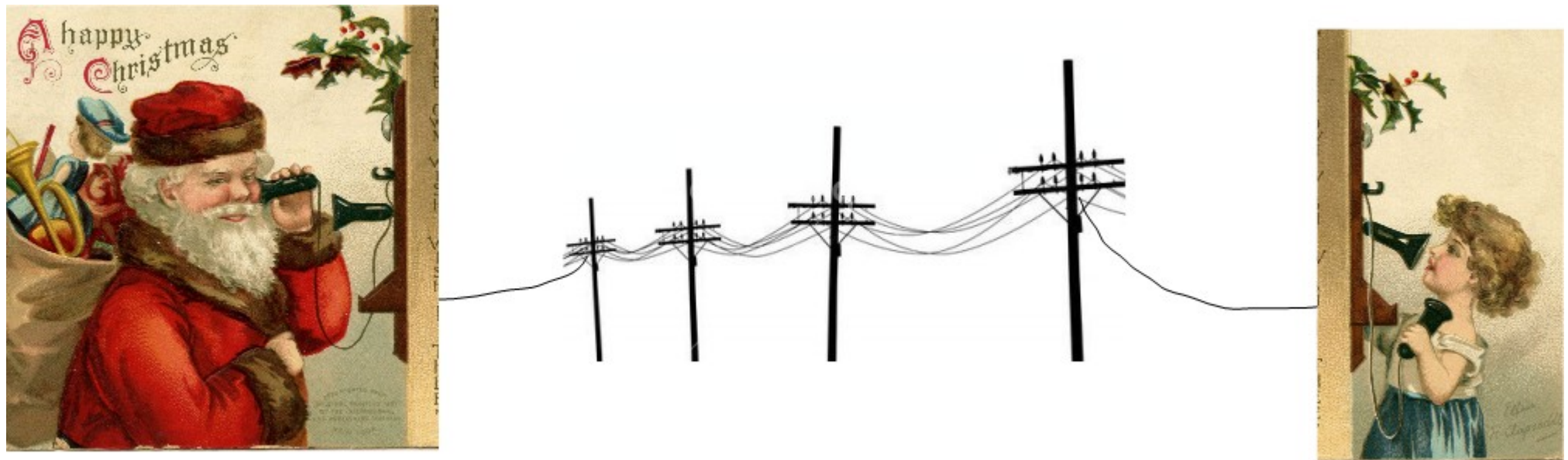
Telégrafo – código morse

A . -	J . - - - -	S . . .	2 . . - - - -
B -	K - . -	T -	3 . . . - -
C - . . - .	L . - . . .	U . . -	4 -
D - . .	M - -	V . . . -	5
E .	N - .	W . - -	6 -
F . . - . .	O - - -	X - . . -	7 - - . . .
G - - .	P . - - . .	Y - . - - -	8 - - - . .
H	Q - - . -	Z - - . .	9 - - - - .
I . .	R . - .	1 . - - - - -	0 - - - - -



Telefonia

Comunicação entre dois telefones:

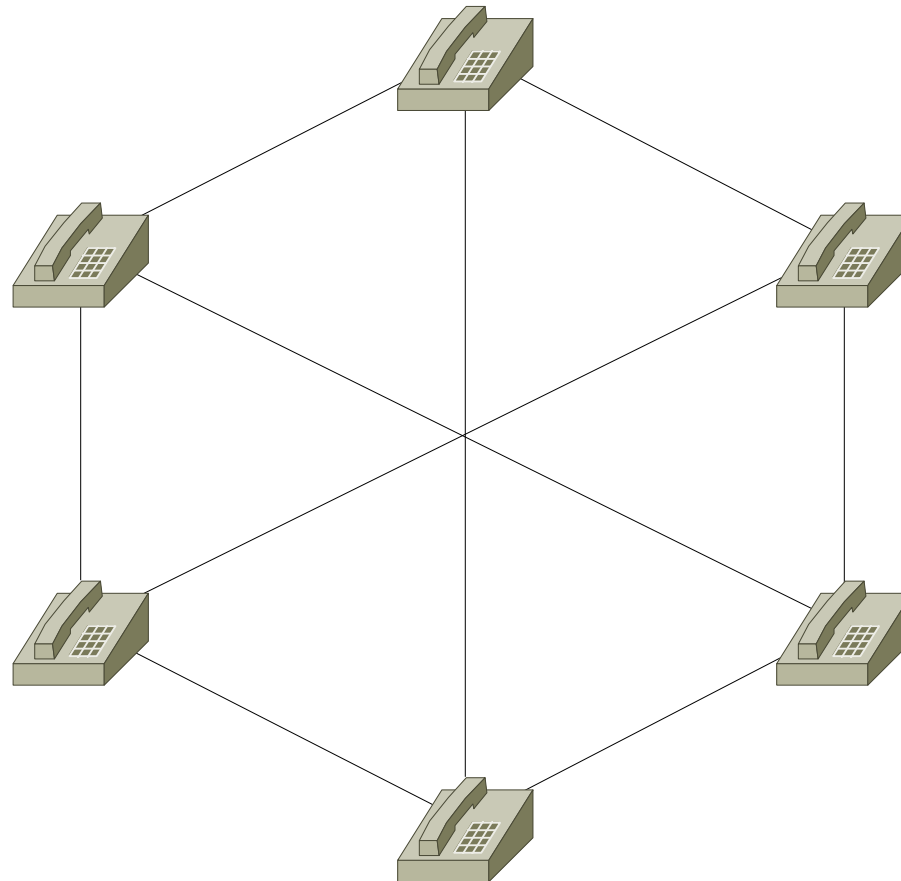


Arte de Ellen Clapsaddle



Telefonia

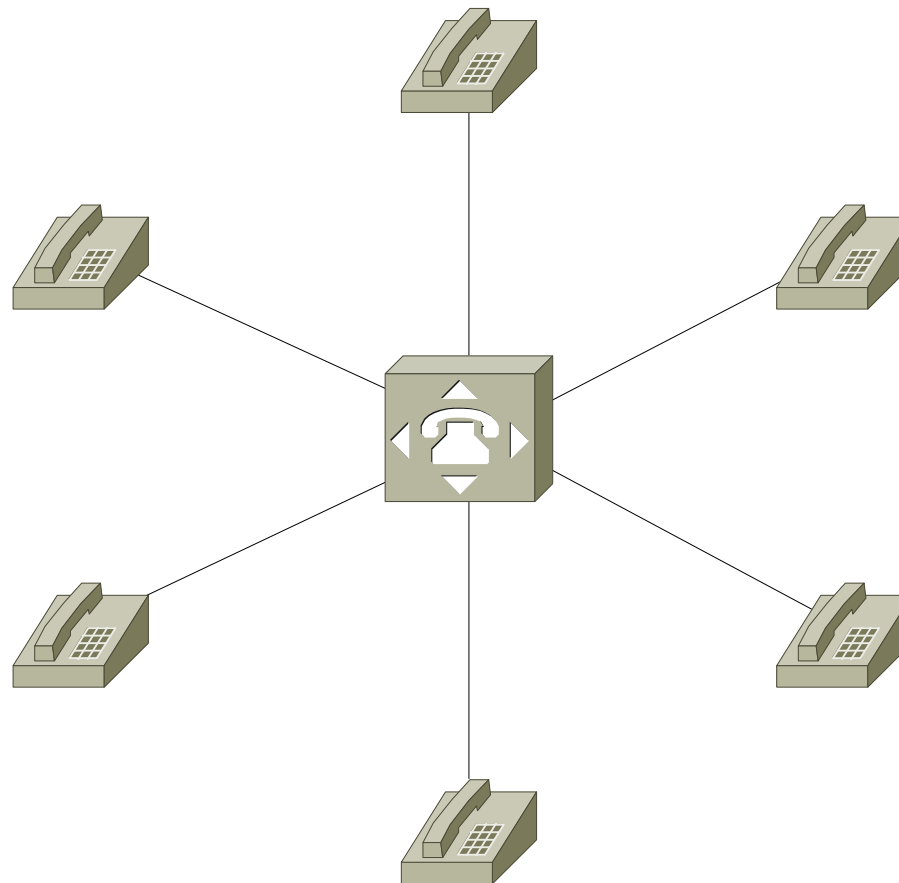
Para a comunicação entre vários telefones, é necessário que todos estejam interconectados.





Telefonia

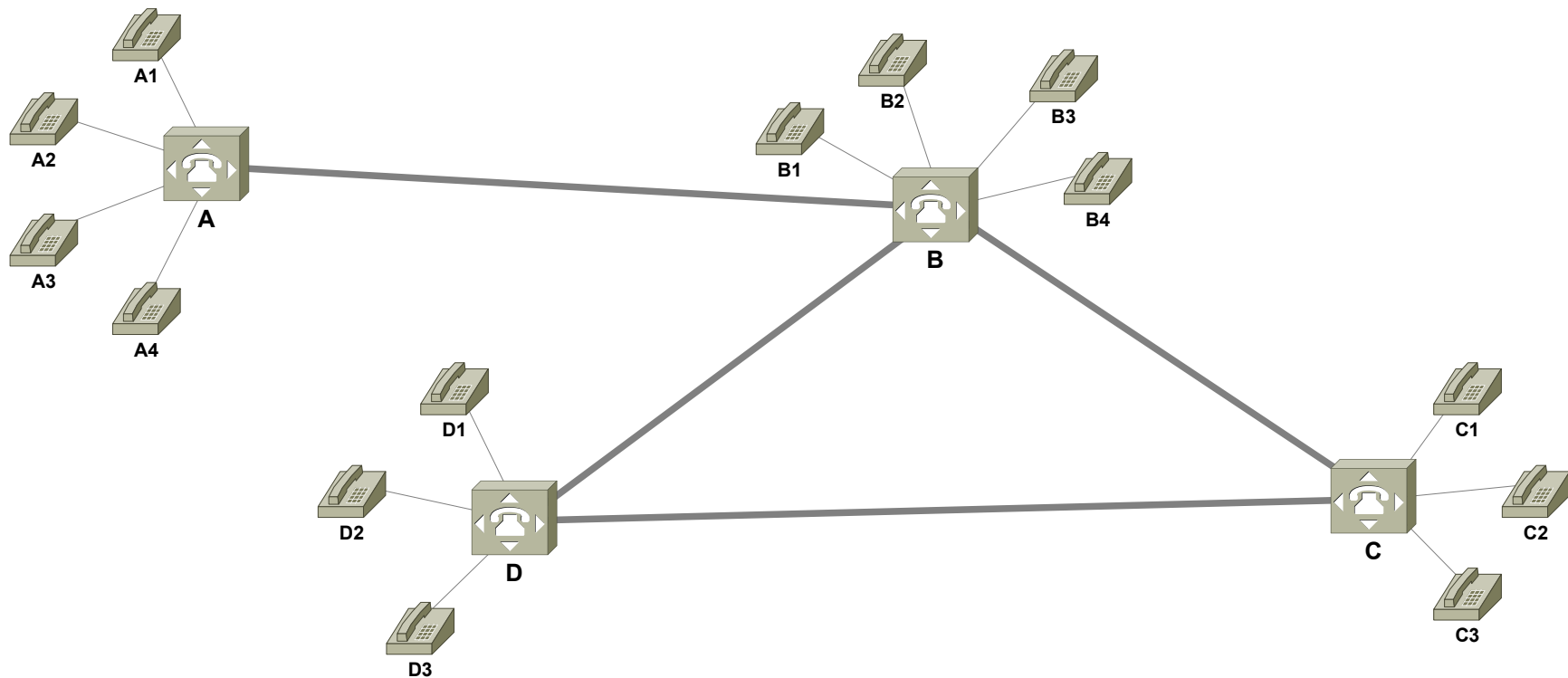
A solução veio com a criação da central de comutação.





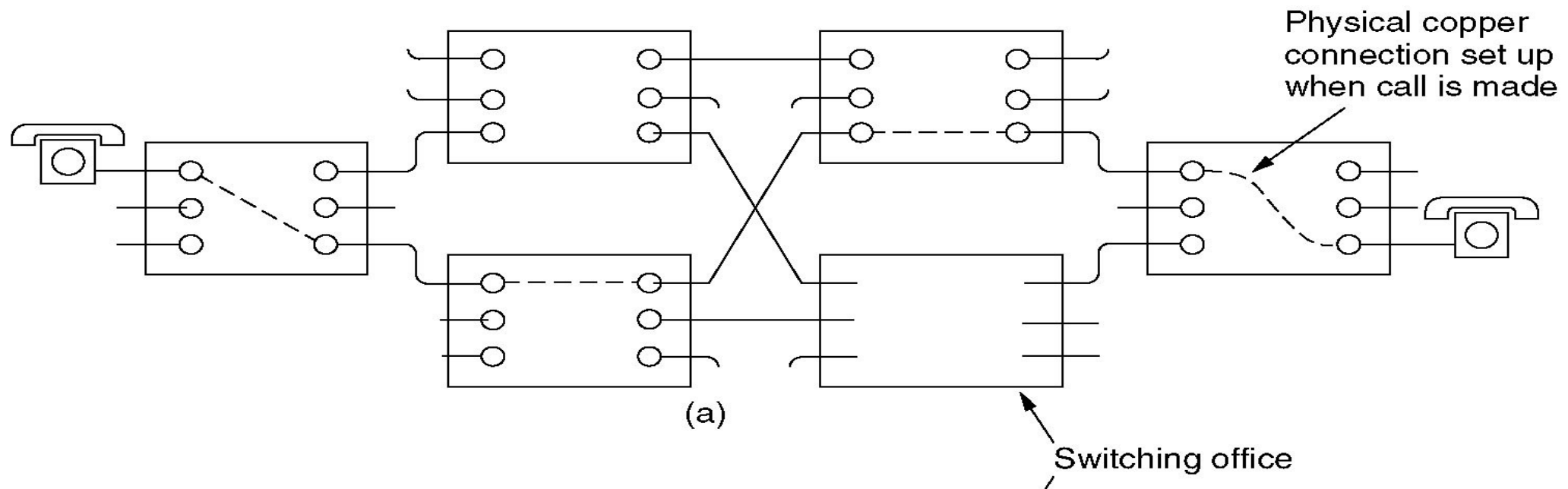
Telefonia

Várias cidades são interconectadas por linhas tronco de longa distância.



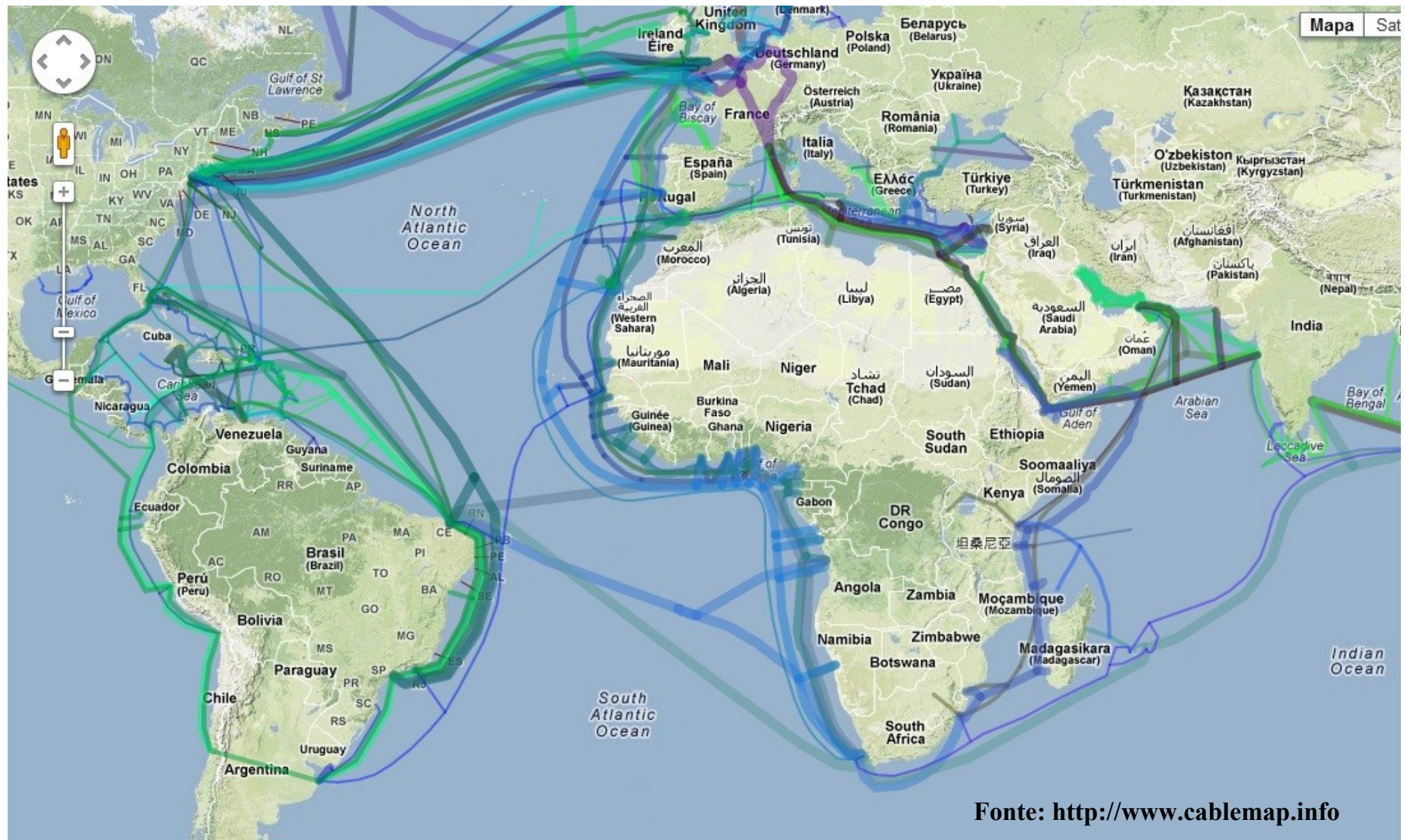


Telefonia – comutação de circuitos



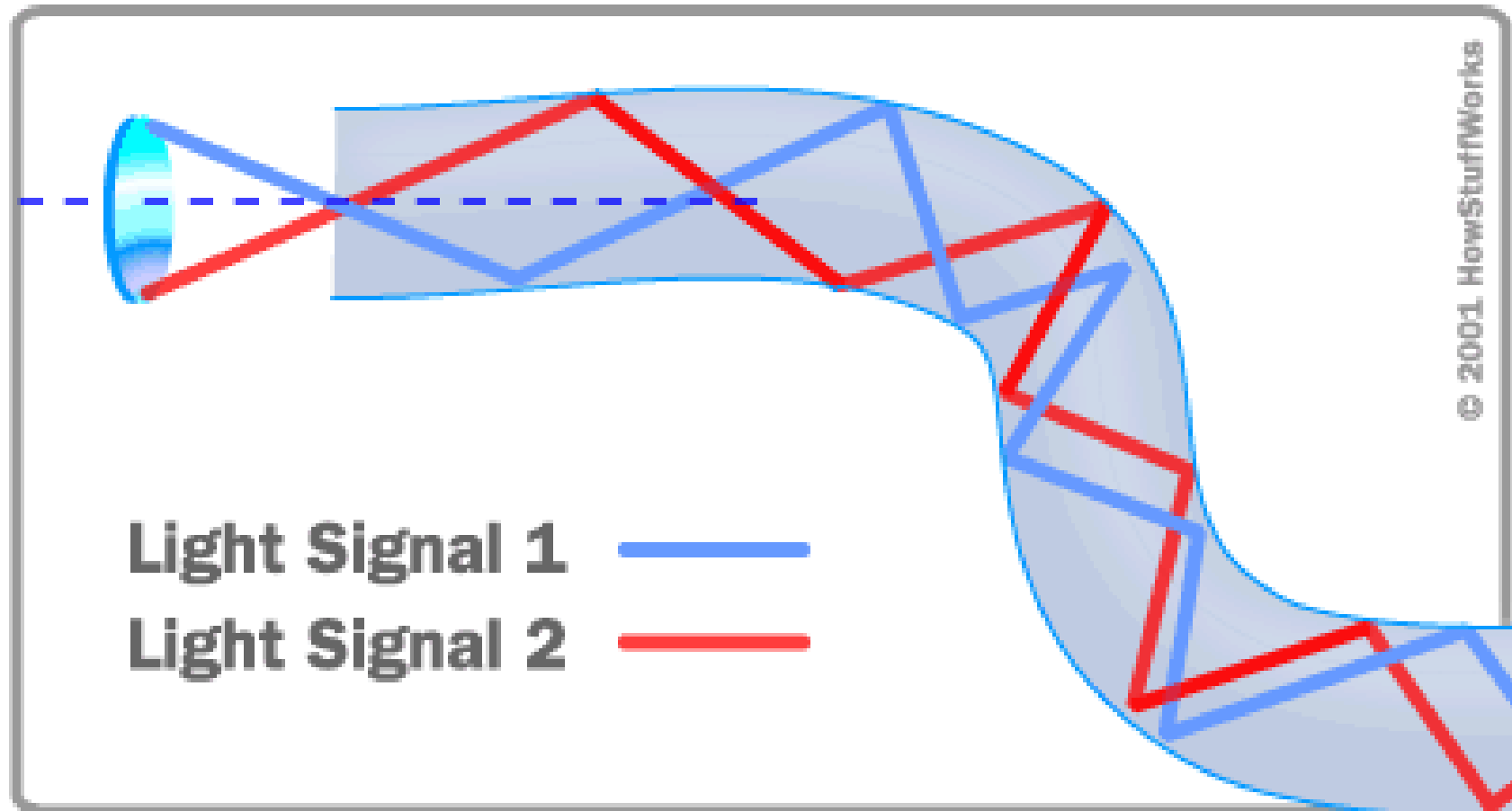


Cabos submarinos



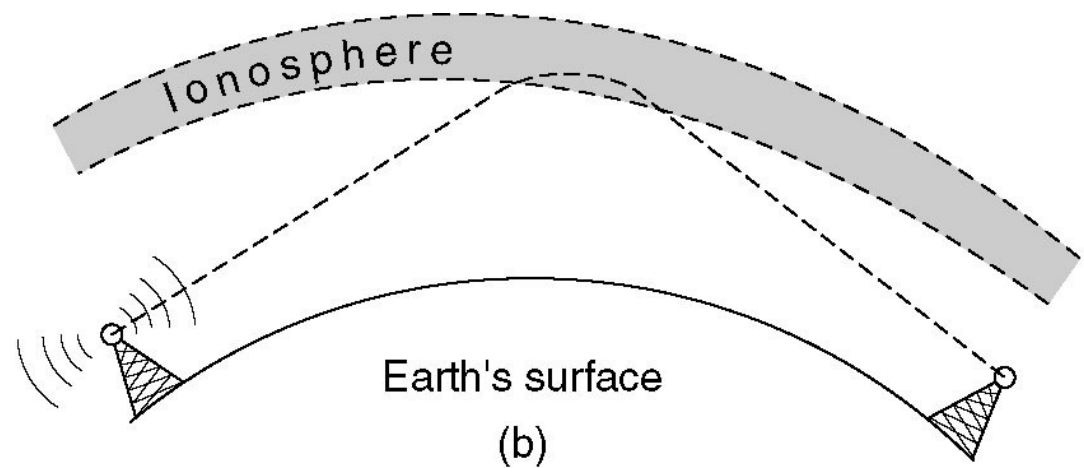
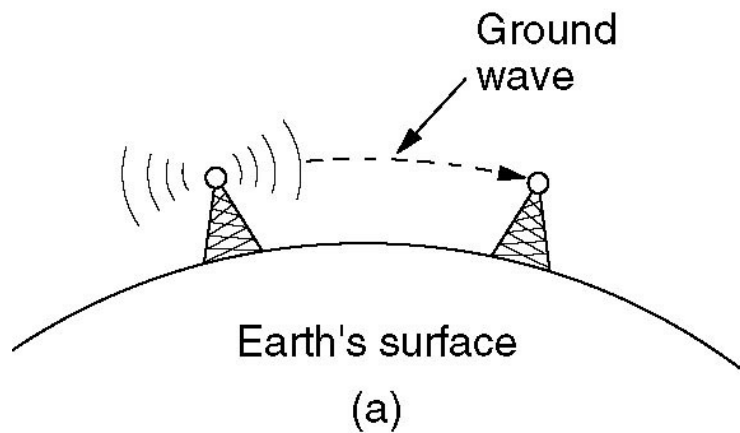


Fibra ótica



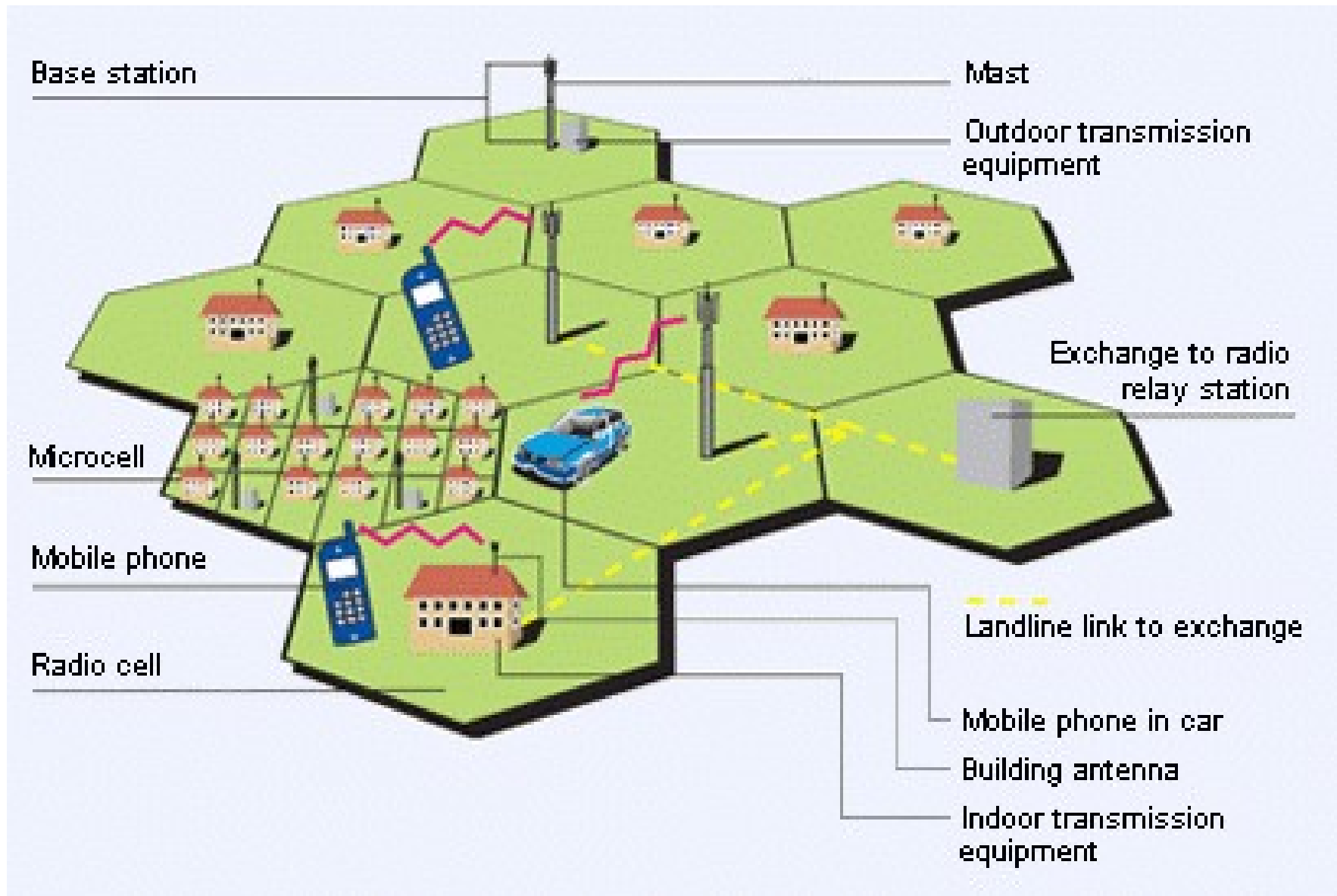


Satélite



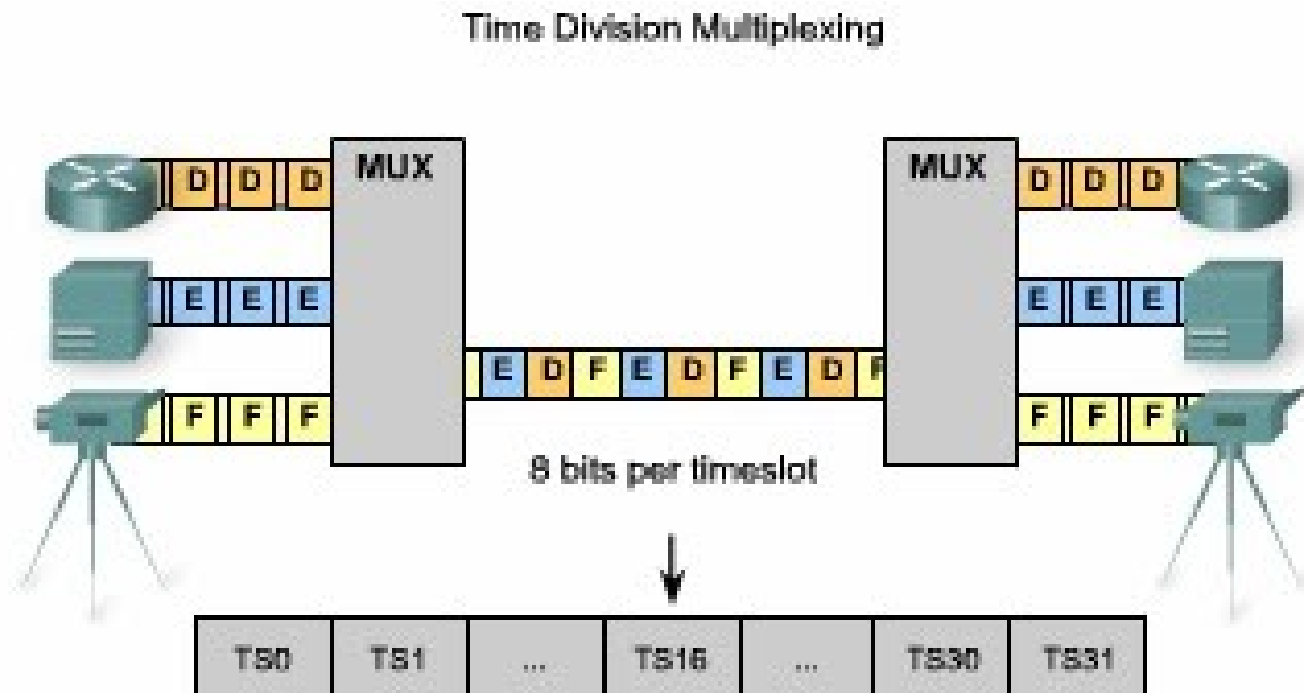


Telefonia Celular





Multiplexação



- TDM shares available transmission time on a medium by assigning timeslots to users.
- The MUX accepts input from attached devices in a round-robin fashion and transmits the data in a never-ending pattern.
- T1/E1 and ISDN telephone lines are common examples of synchronous TDM.



Para saber mais...

... acesse o texto sobre a História da Comunicações e das Telecomunicações, do Prof. Pedro de Alcântara Neto, da Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

Módulo 2

Topologias e tipos de redes

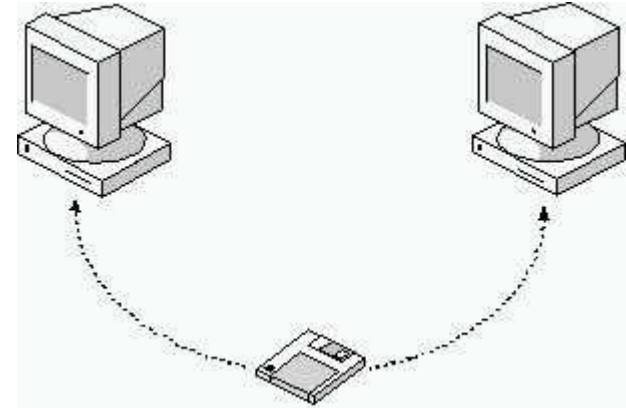


Antes das redes

- ambiente *stand-alone*, onde cada máquina não se comunica com outras.



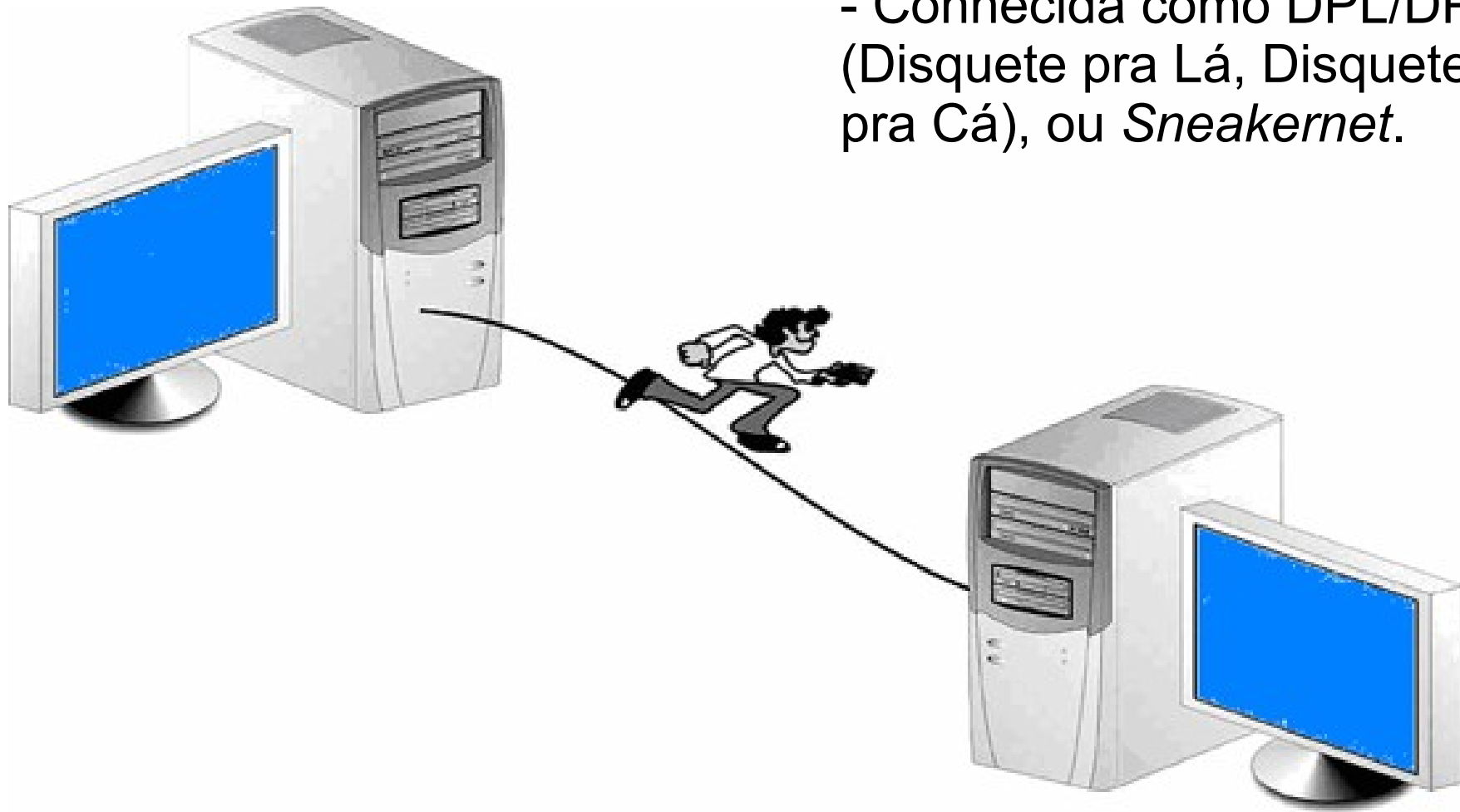
- primeiras redes trocavam informações por meio de disquetes.





Rede DPL/DPC

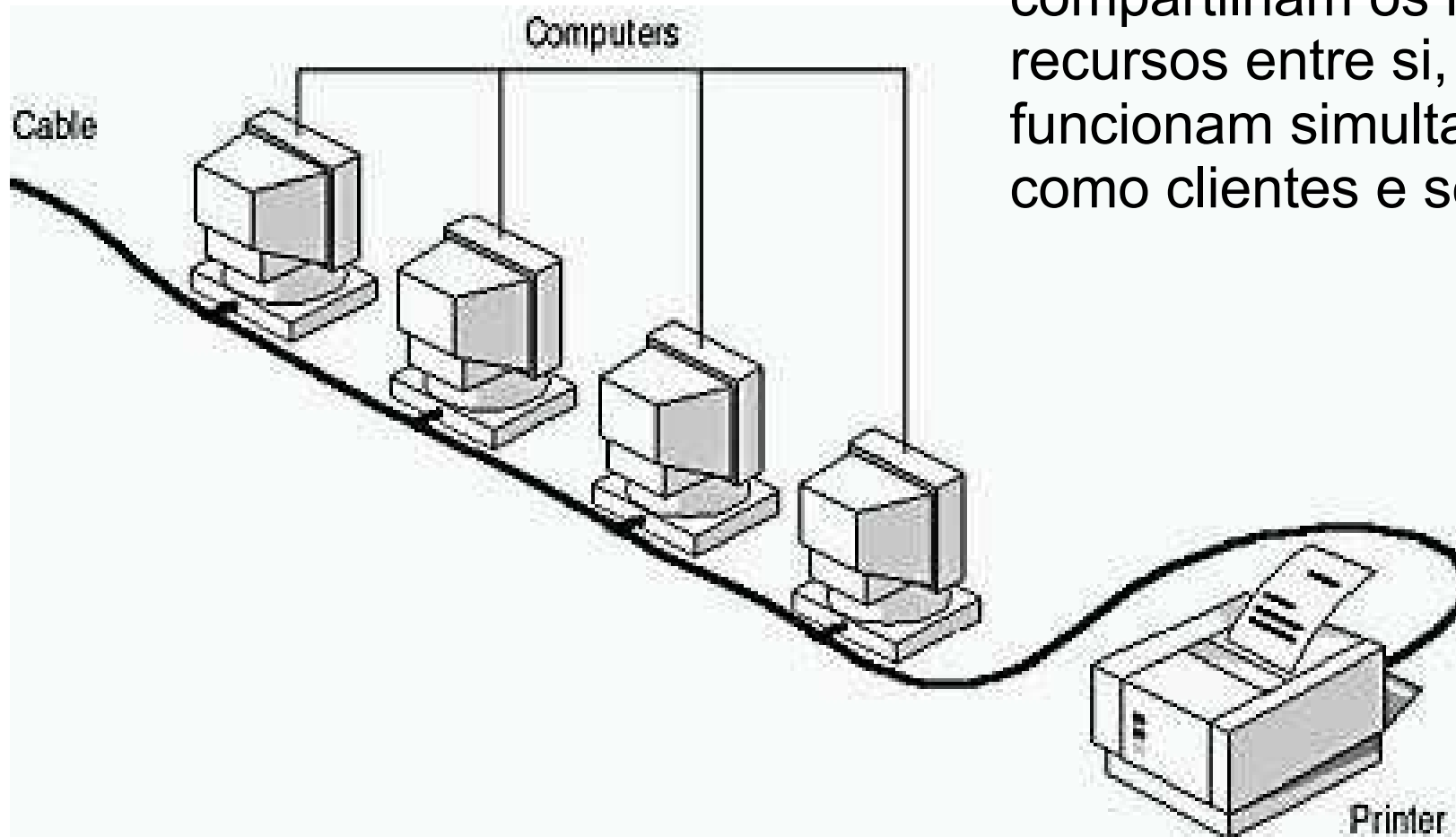
- Conhecida como DPL/DPC (Disquete pra Lá, Disquete pra Cá), ou *Sneakernet*.





Redes ponto a ponto (*peer-to-peer*)

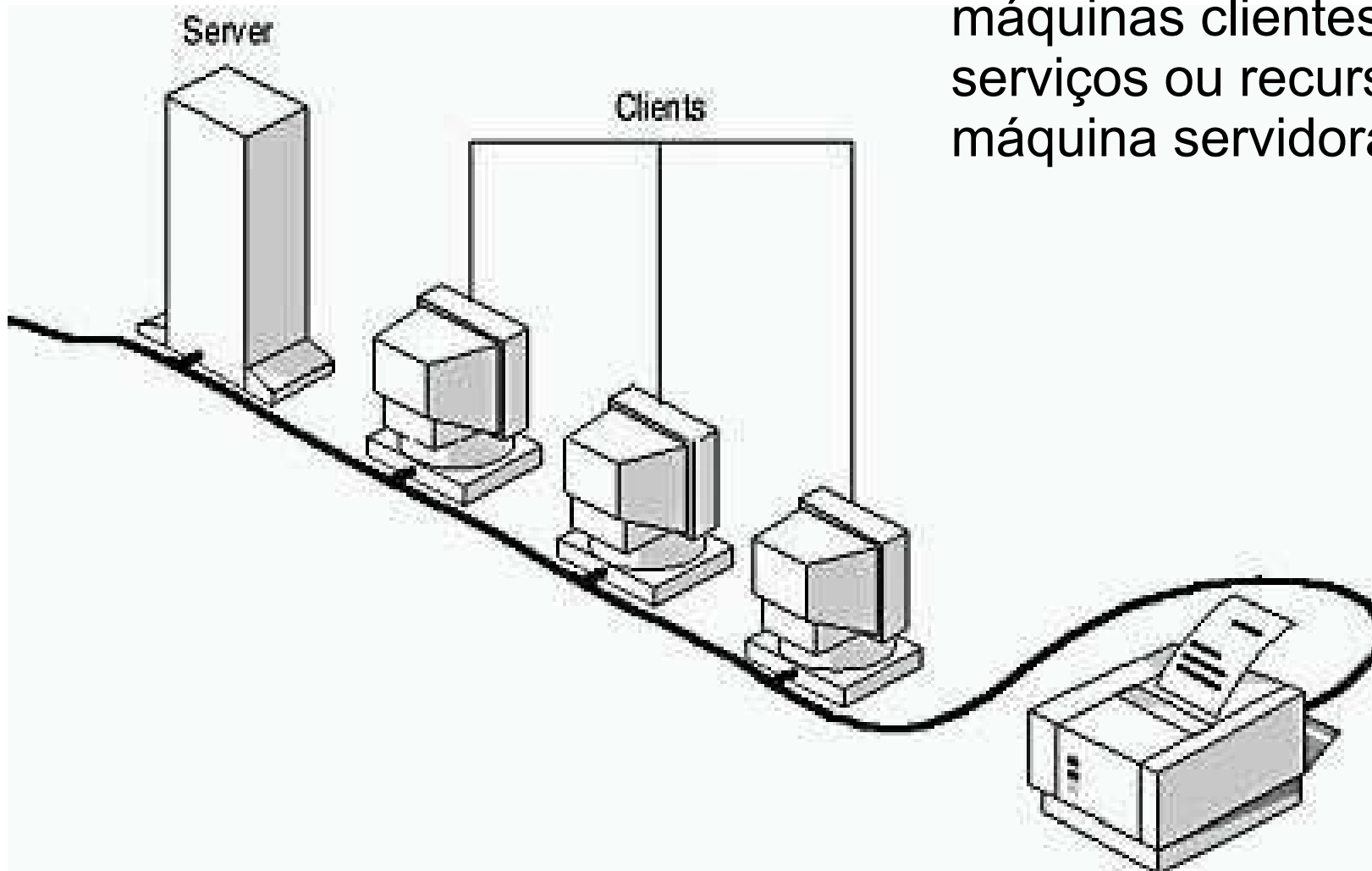
- na rede ponto a ponto (*peer-to-peer*), todas as máquinas compartilham os mesmos recursos entre si, ou seja, funcionam simultaneamente como clientes e servidores.





Redes cliente/servidor

- na rede cliente/servidor as máquinas clientes acessam serviços ou recursos da máquina servidora.





Tipos de comunicação

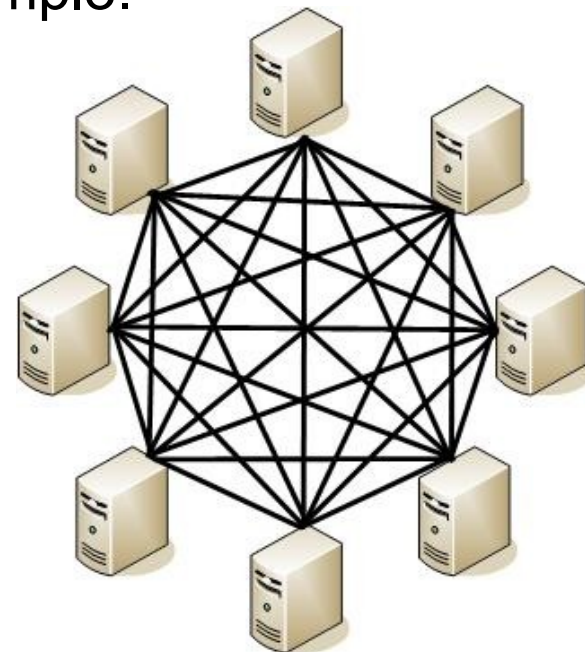
- Difusão (*Broadcast*):

A comunicação se dá a partir de um ponto comum para um ou mais destinos, como nas transmissões de rádio e televisão, por exemplo.



- Ponto a ponto (*point-to-point*):

A comunicação se dá aos pares, e cada ponto de origem deve estabelecer uma rota de comunicação com o ponto de destino, como na telefonia, por exemplo.





Tipos de fluxo de dados

- SIMPLEX:

A comunicação se dá em apenas um sentido, como nas transmissões de rádio e televisão, por exemplo.

- HALF DUPLEX:

A comunicação se dá em qualquer sentido, mas não simultaneamente, como no rádio *walkie-talkie*, por exemplo.

- FULL DUPLEX:

A comunicação se dá nos dois sentidos, simultaneamente, como no telefone, por exemplo.



Tipos de comutação

- Comutação de circuitos:

A comutação de circuitos estabelece um caminho físico entre a origem e o destino para a transmissão de dados, e pode ser dividida em três etapas: o estabelecimento do circuito, a conversação e a desconexão do circuito.

- Comutação de pacotes:

A comutação de pacotes envia os dados de uma mesma transmissão por caminhos diversos entre a origem e o destino. Ela pode ser orientada à conexão, onde é estabelecido um circuito virtual fixo; ou sem conexão, onde os pacotes de dados são transmitidos por caminhos distintos.



Tipos de serviço

- Orientado à conexão:

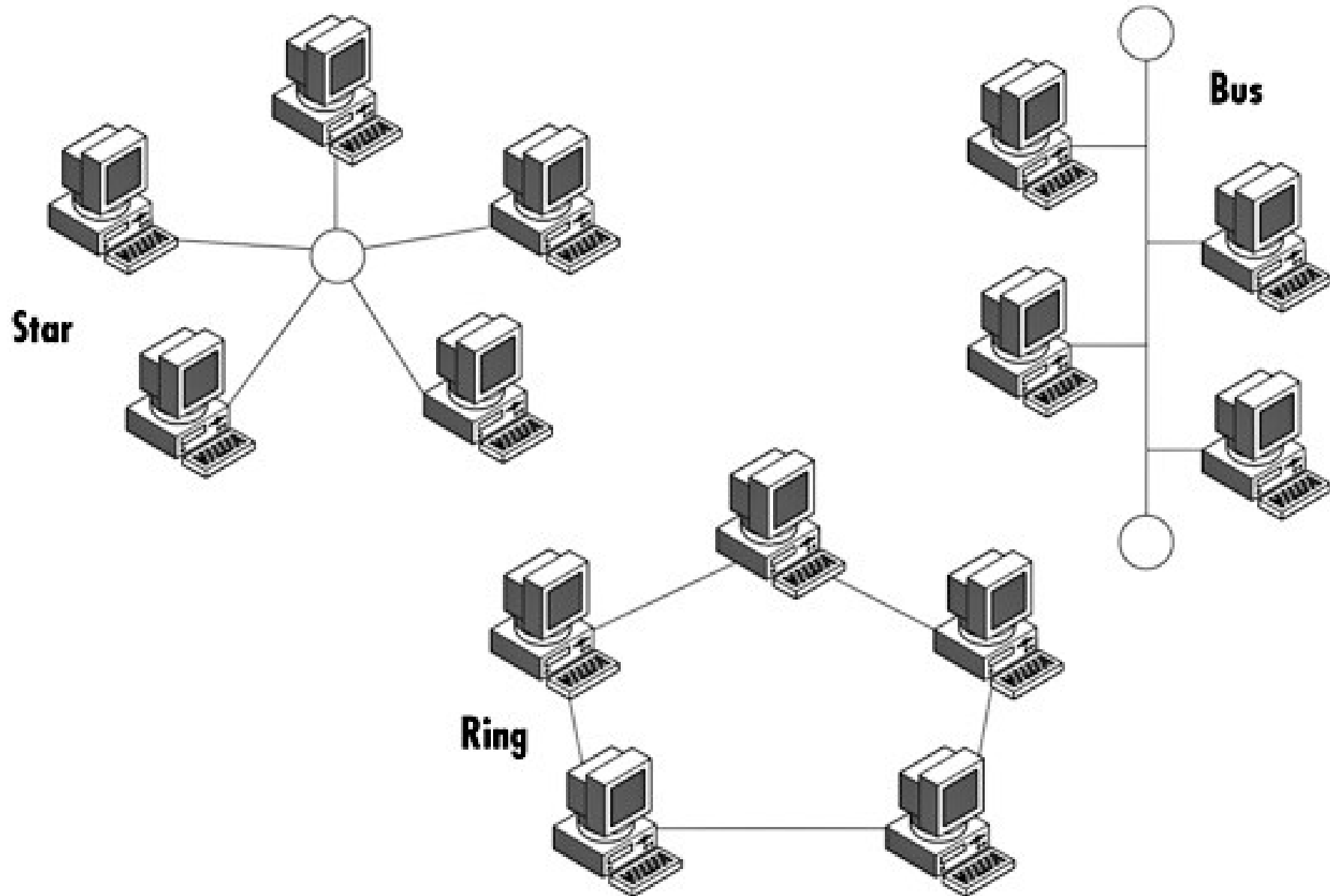
O serviço orientado à conexão se baseia no sistema telefônico. Antes que a origem possa mandar uma mensagem para o destino, um canal de comunicação (ou conexão) deve ser estabelecido. Quando termina o envio da mensagem, o canal de comunicação (ou conexão) é liberado. Quando mais de uma mensagem é enviada, elas chegam no destino na mesma ordem em que saíram da origem.

- Sem conexão:

O serviço sem conexão é baseado no sistema postal. Quando a origem manda uma mensagem para o destino, o transporte desta mensagem é roteado e pode seguir caminhos diversos dependendo da distância e do custo para percorrer cada caminho. Quando mais de uma mensagem é enviada, elas podem chegar no destino numa ordem diferente de quando saíram da origem, já que cada mensagem pode ter seguido um caminho diferente.

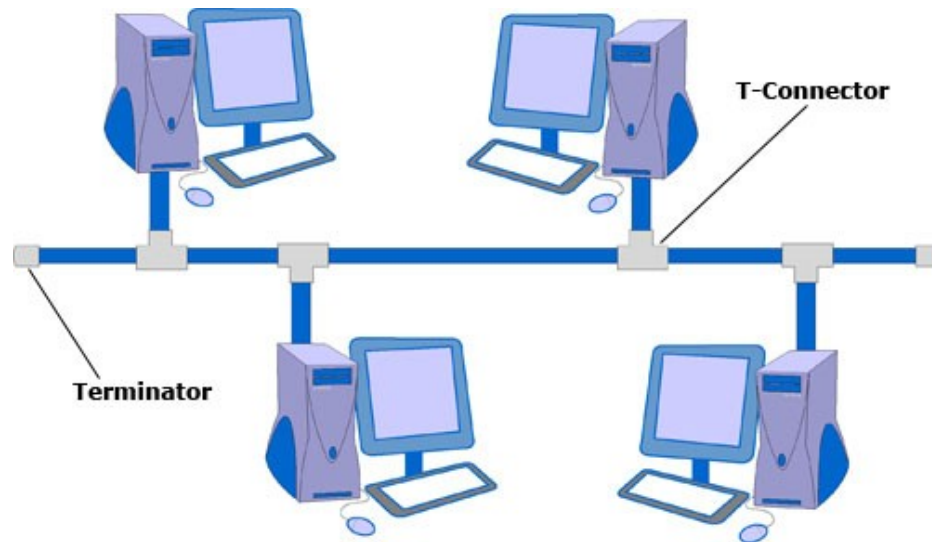


Topologias de rede





Topologia barramento

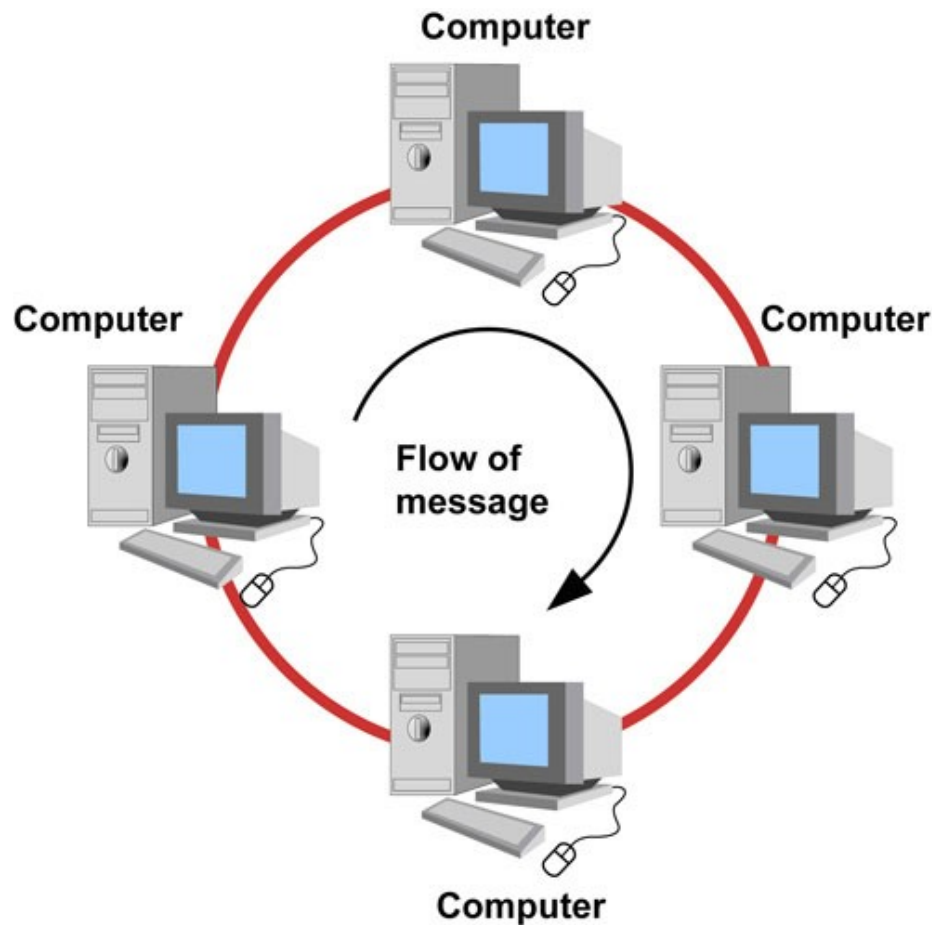


Na topologia em barramento, as máquinas compartilham o mesmo meio físico e “disputam” o acesso a ele. Quando uma das máquinas transmite, todas as outras “escutam” a transmissão, mas só processam a informação se a mesma estiver endereçada a ela.

Esta topologia usa cabos coaxiais, mas se forem substituídos por cabos de par trançado (UTP) com um HUB como elemento concentrador, fisicamente parecerá com uma estrela, mas funcionará logicamente como barramento.



Topologia em anel

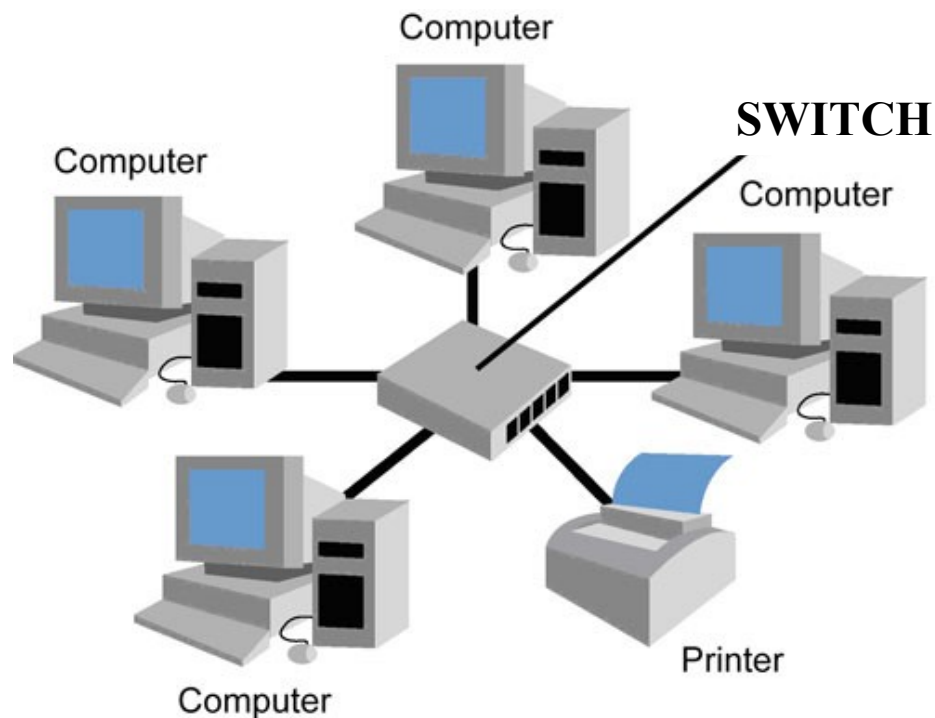


Na topologia em anel, o acesso ao meio físico é controlado pela posse do *token*, que é um código especial que permite a quem o detenha transmitir na rede. Quando a máquina de posse do *token* termina a transmissão, ela libera o *token* para que uma nova máquina que queira transmitir possa capturá-la.

Esta topologia geralmente é implementada usando-se cabos de par trançado (UTP) com um elemento concentrador chamado MAU (*Multistation Access Unit*), funcionando fisicamente como estrela mas logicamente como anel.



Topologia em estrela

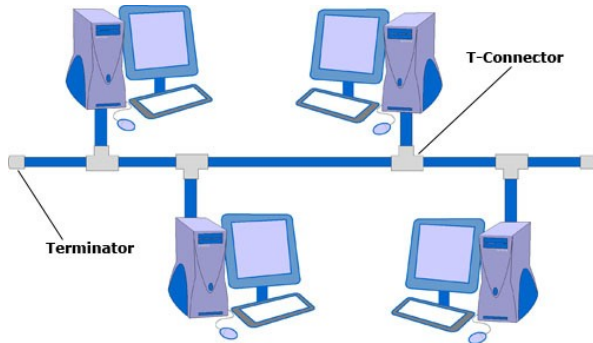


Na topologia em estrela, as máquinas são conectadas a um concentrador, que se encarrega de transmitir os dados de um computador a outro.

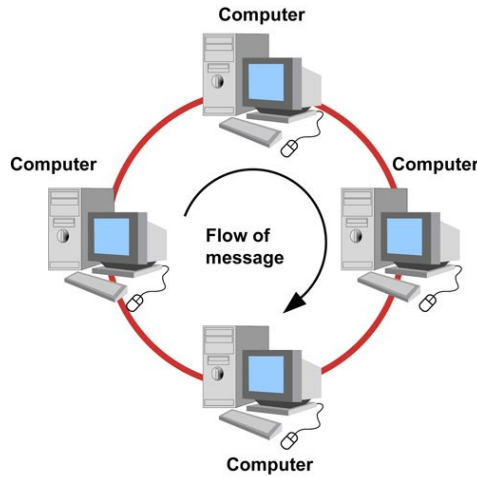
Esta topologia usa cabos de par trançado (UTP – *Unshielded Twisted Pair*), e funciona fisicamente e logicamente como estrela.



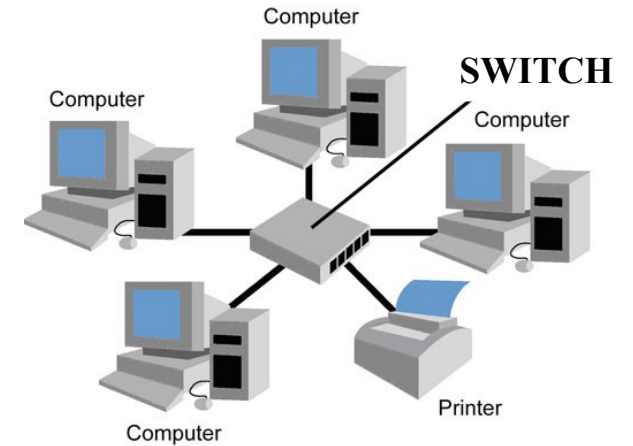
Topologias lógica *versus* física



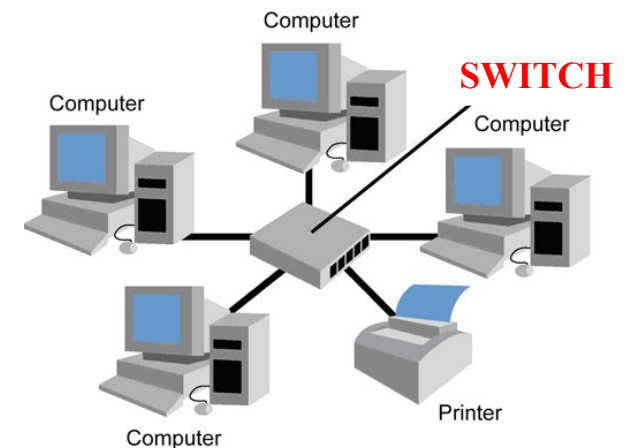
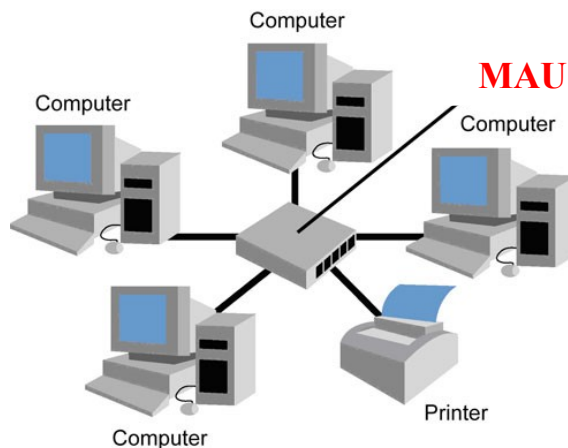
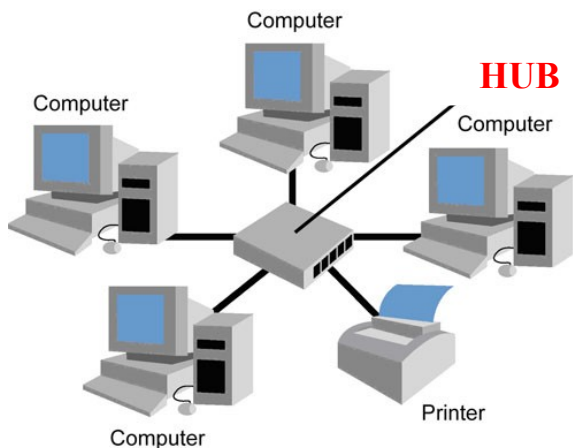
BARRAMENTO



ANEL



ESTRELA





Para saber mais...

... acesse o material online do curso Introduction to Computer Networks, do Prof. Cheng-Yuan Hsieh, da Knowledge Systems Institute, Estados Unidos.

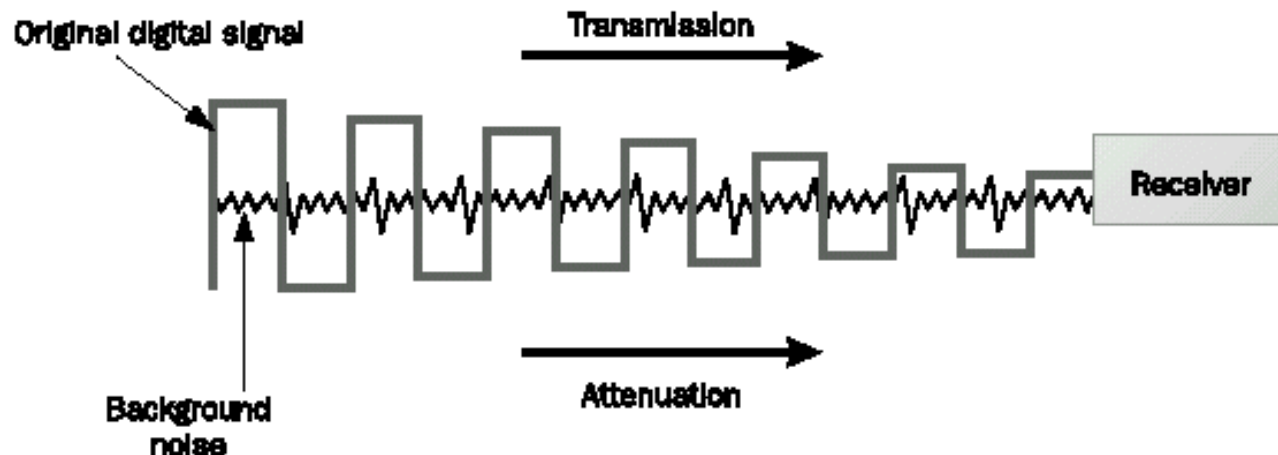
Módulo 3

Equipamentos de rede



Atenuação de sinal

- Devido à resistência que todo condutor metálico impõe à corrente elétrica, o sinal transmitido na origem vai perdendo força (atenuando) ao longo da linha de transmissão, e o sinal chega enfraquecido no destino.



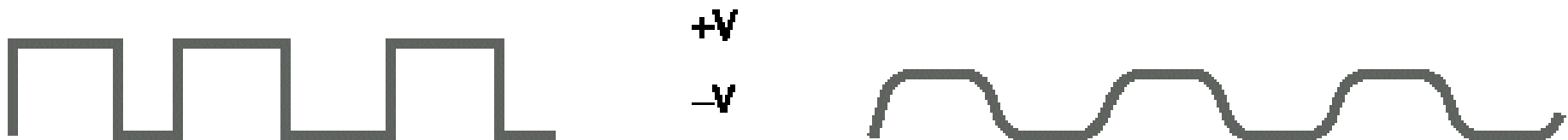


Atenuação de sinal

- Se o sinal transmitido na origem chegar muito fraco no destino, pode ser que este não consiga detectar as informações contidas no sinal original.

Original signal

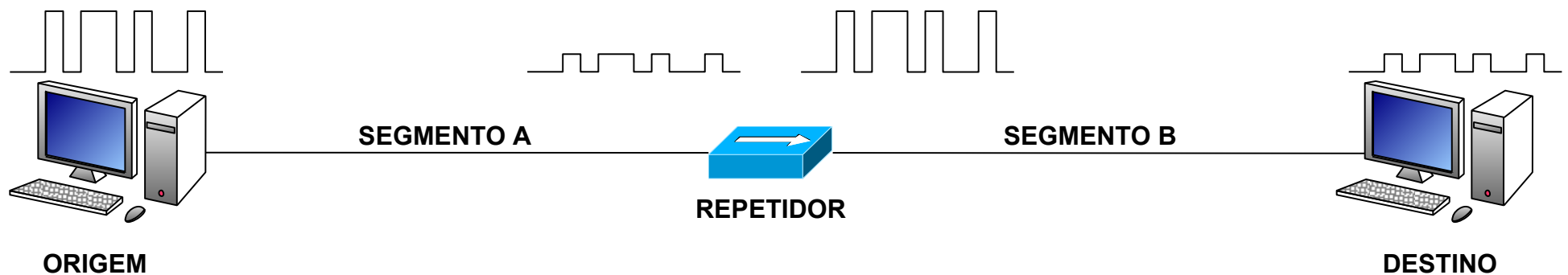
Received signal





Repetidores

- O repetidor é um aparelho instalado ao longo de uma linha de transmissão em intervalos regulares, e tem por objetivo receber o sinal no final de um segmento, amplificá-lo e reenviá-lo para o próximo segmento.





Segmentos de rede

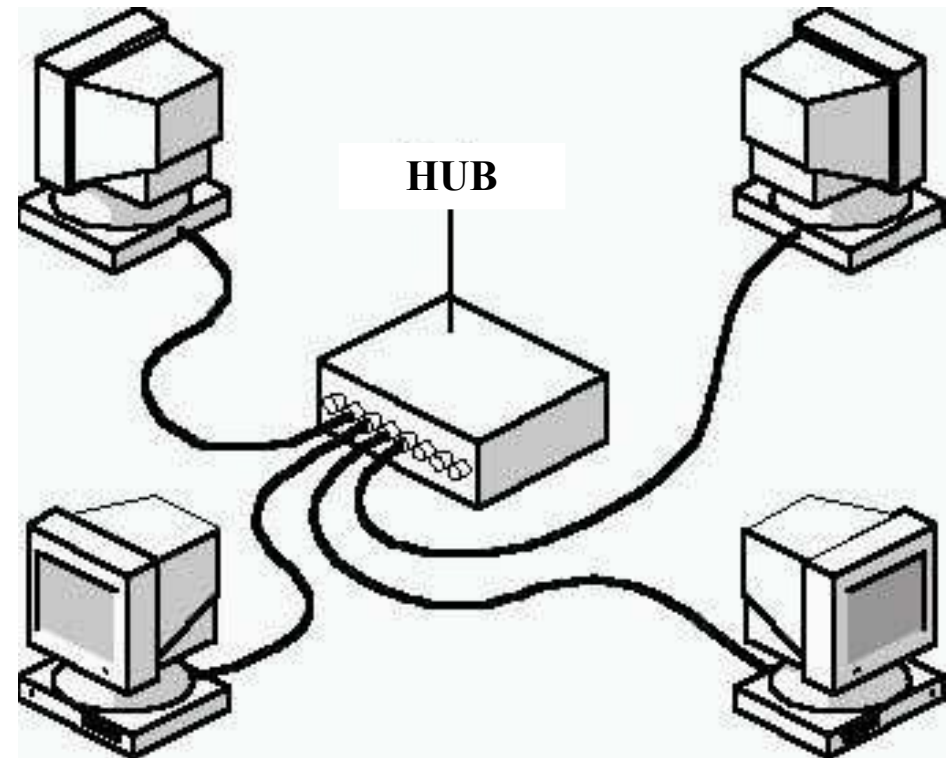
- Usando-se cabo coaxial, o comprimento máximo de cada segmento varia de 185 a 500 metros, dependendo do tipo de cabo.
- Usando-se cabo de par trançado, o comprimento máximo de cada segmento é de 100 metros.





HUB

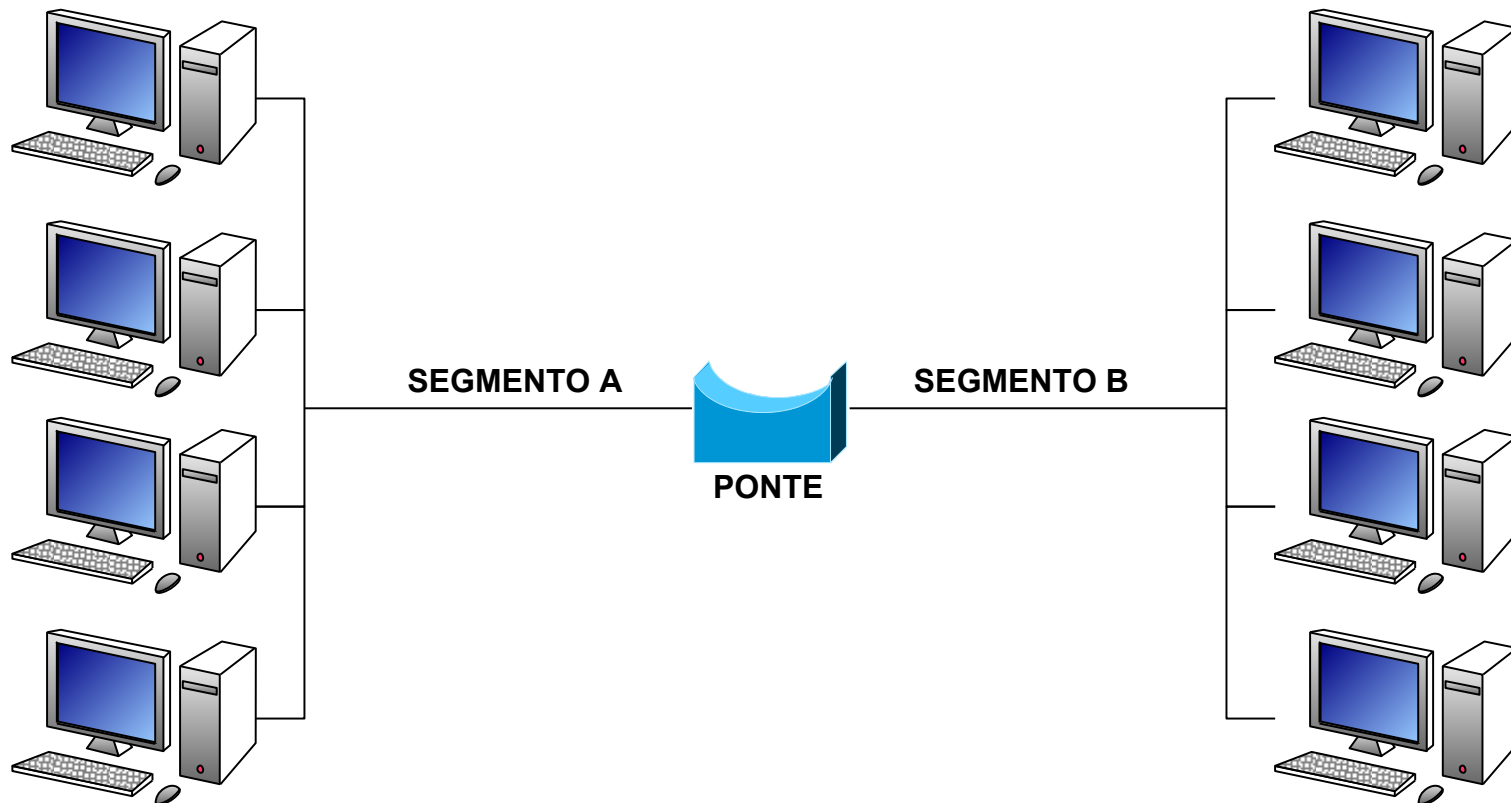
- O *hub* nada mais é que um repetidor com várias portas, pois o sinal que chega a uma porta é reenviado a todas as outras portas. O *hub* opera na camada 1 do modelo de referência OSI.





Ponte (*bridge*)

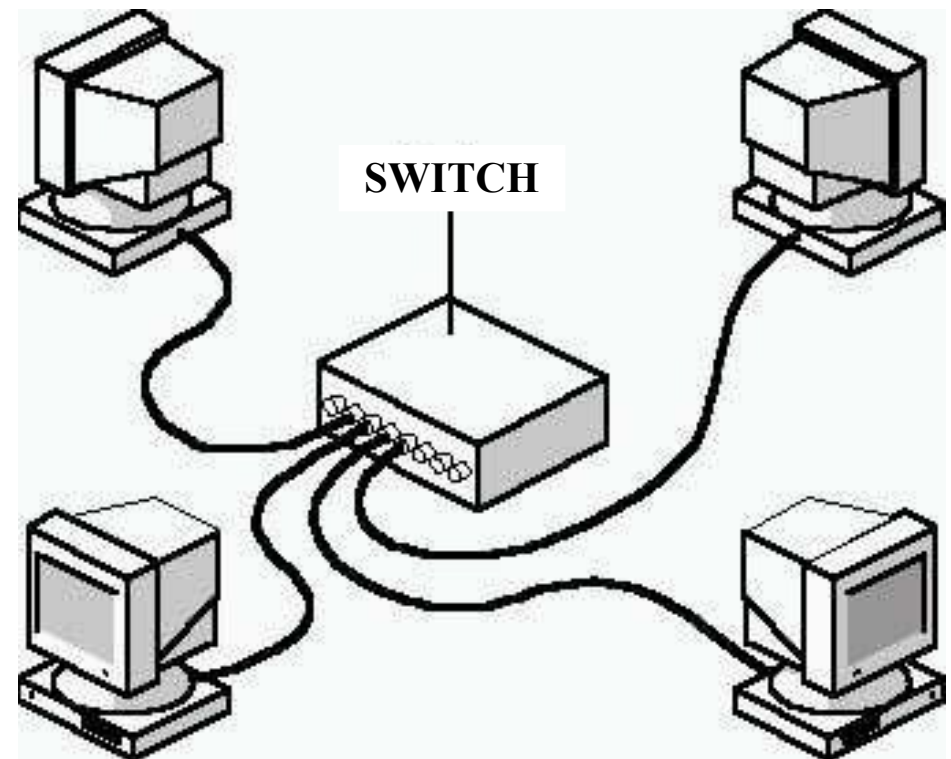
- A ponte ou *bridge* é um equipamento que segmenta a rede, evitando assim que o tráfego de um segmento seja enviado para outro(s) segmento(s). A ponte destina os quadros para o segmento correto por meio do endereço destino contido em cada quadro transmitido por uma máquina. A ponte opera na camada 2 do modelo de referência OSI.





Comutador (*switch*)

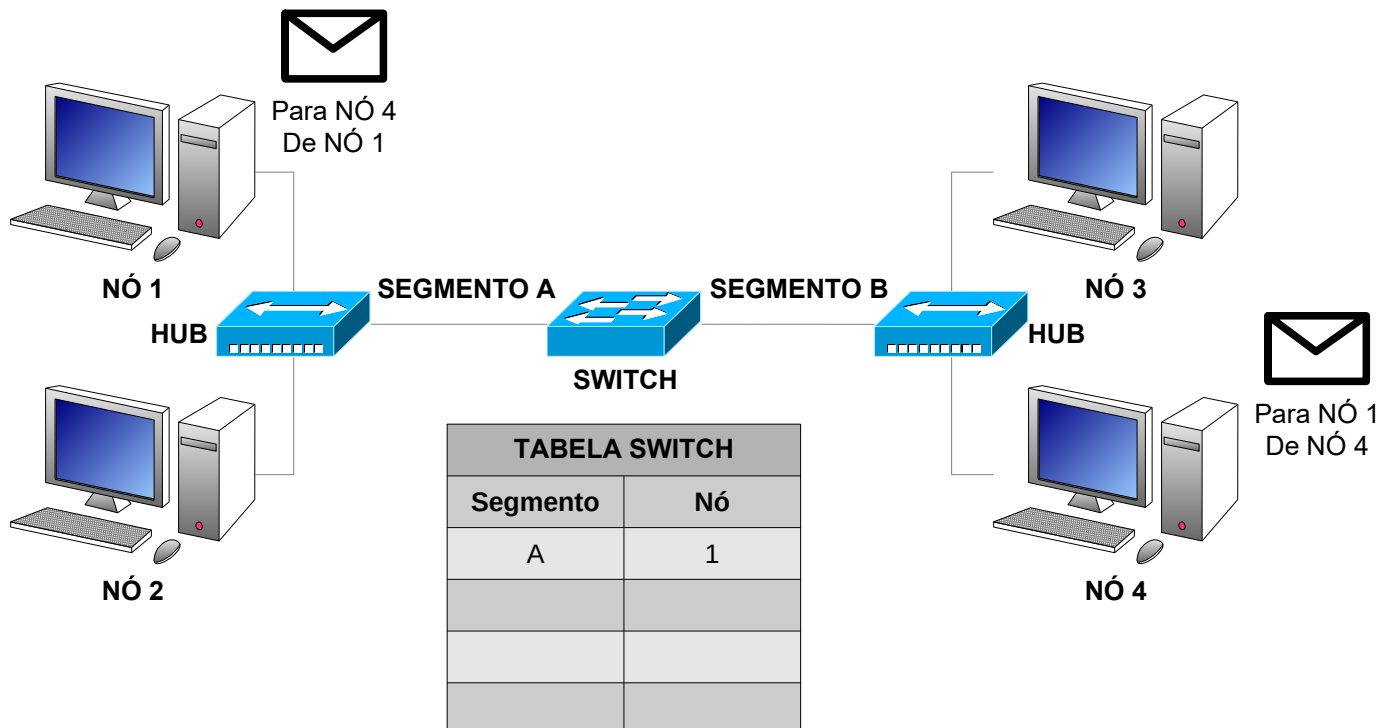
- O *switch* nada mais é que uma ponte com várias portas, pois o sinal que chega a uma porta é reenviado, na medida do possível, apenas à porta destino, por meio do endereço MAC (*Media Access Control*). O *switch* opera na camada 2 do modelo de referência OSI.





Switch

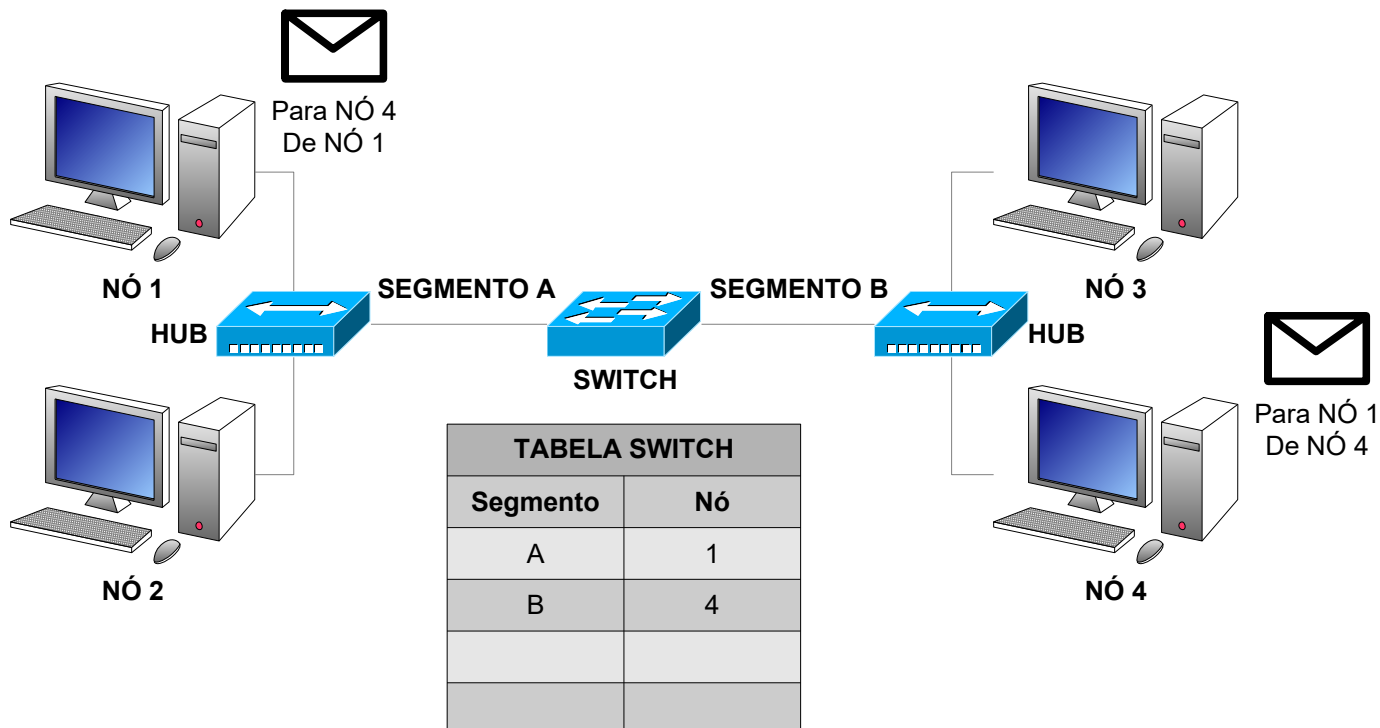
- Na figura abaixo, se o Nó 1 quiser transmitir uma mensagem para o Nó 4, ele enviará um quadro pelo Segmento A. Este quadro será recebido pelo Nó 2 e pela porta do *switch*. Quando o quadro chega no *switch*, este verifica o endereço de origem e o segmento de origem, e preenche a primeira linha da tabela. Como o *switch* ainda não sabe em qual segmento se encontra o Nó 4, ele encaminha o quadro para o Segmento B.





Switch

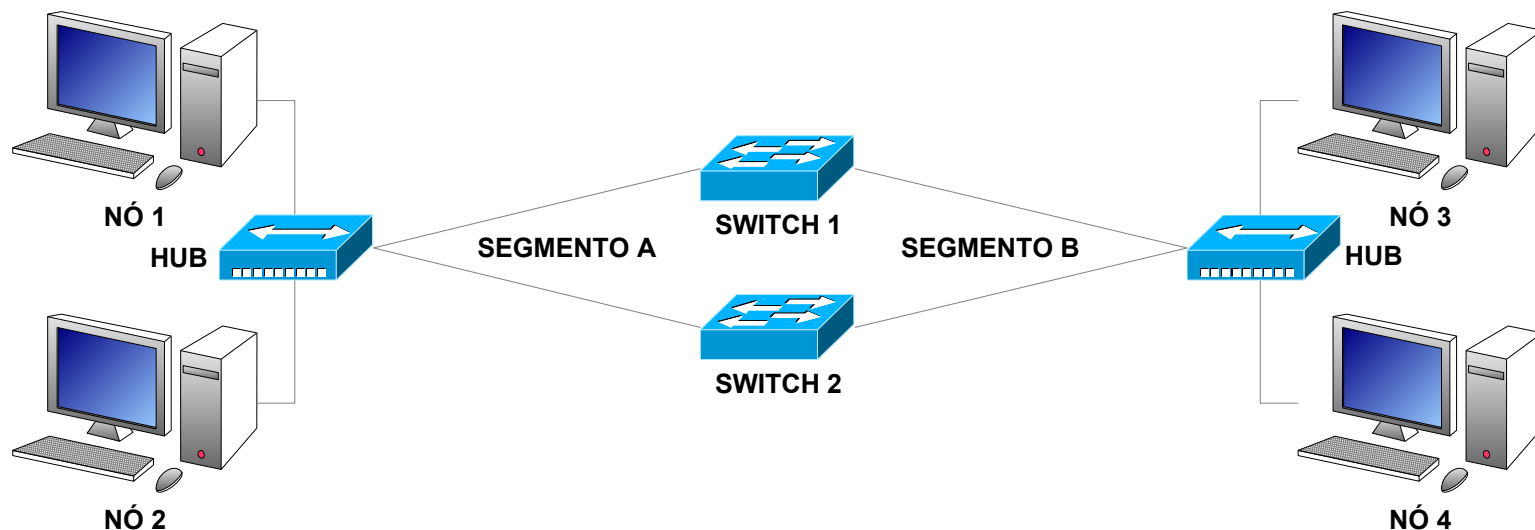
- Quando o Nó 4 responde a mensagem do Nó 1, o quadro chega até o *switch* pelo Segmento B, onde ocorre o mesmo processo de aprendizagem do *switch* e a segunda linha da tabela é preenchida.





Spanning Tree Protocol (STP)

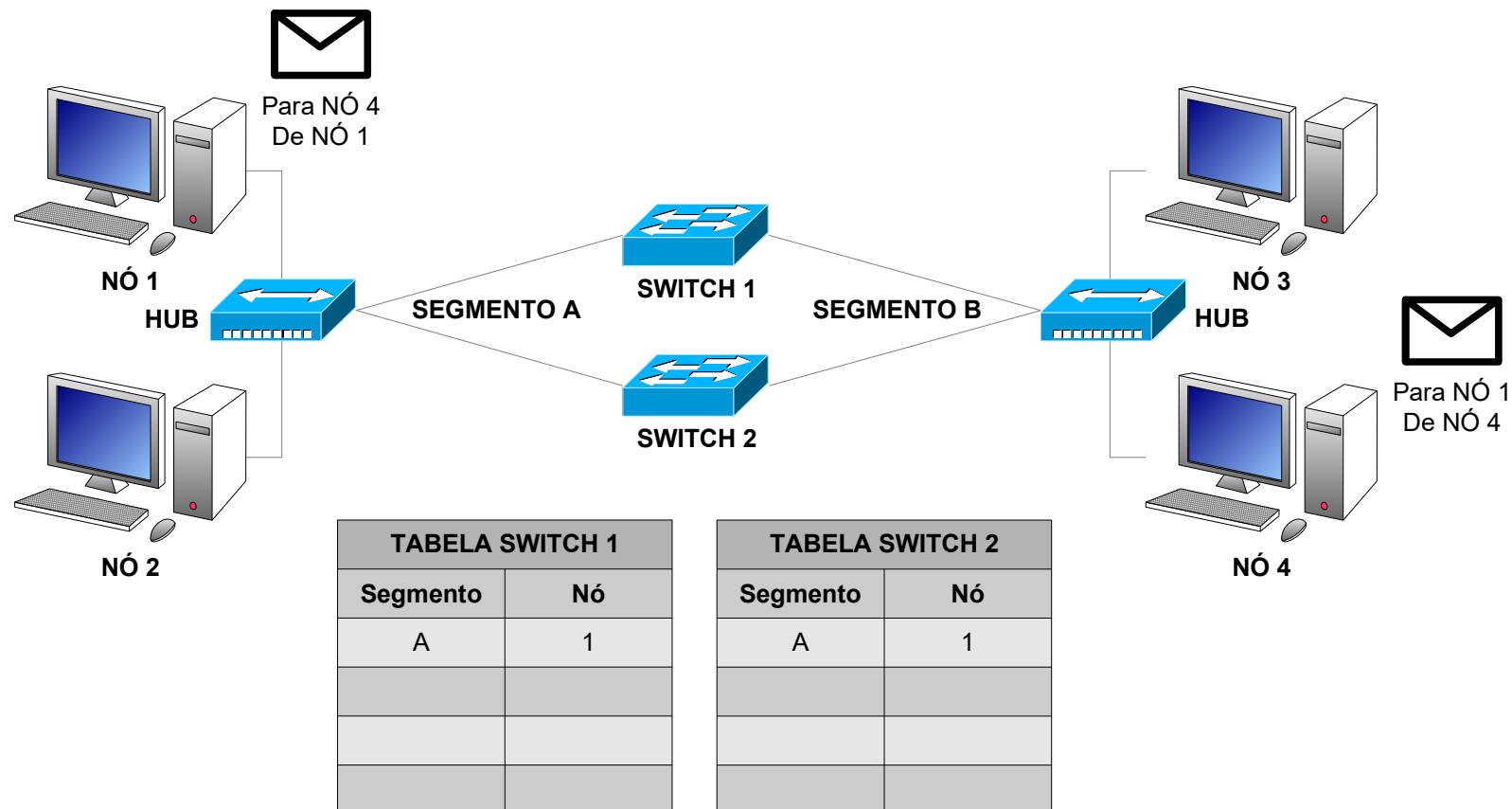
- O protocolo STP é usado para resolver os problemas de *loop* em redes onde são acrescentados mais de uma ponte (*bridge*) ou *switch* com a intenção de oferecer caminhos redundantes.
- O algoritmo de *Spanning Tree* determina qual é o caminho mais eficiente entre cada segmento separado por *bridges* ou *switches*.





Spanning Tree Protocol (STP)

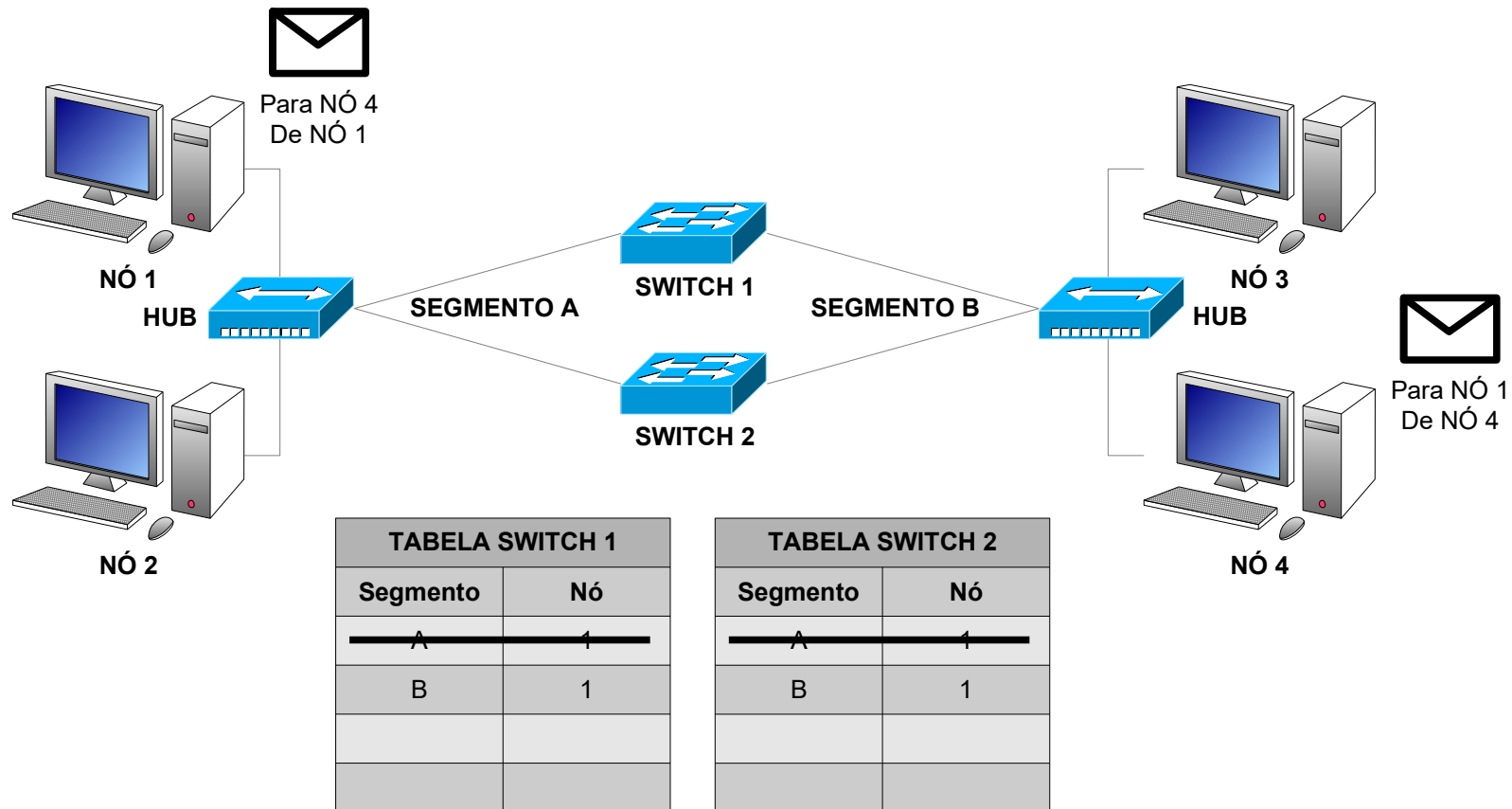
- Na figura abaixo, o Nó 1 pretende enviar uma mensagem para o Nó 4. Tanto o *Switch 1* quanto o *Switch 2* receberão os quadros vindos do Segmento A, e preencherão a primeira linha em suas tabelas.





Spanning Tree Protocol (STP)

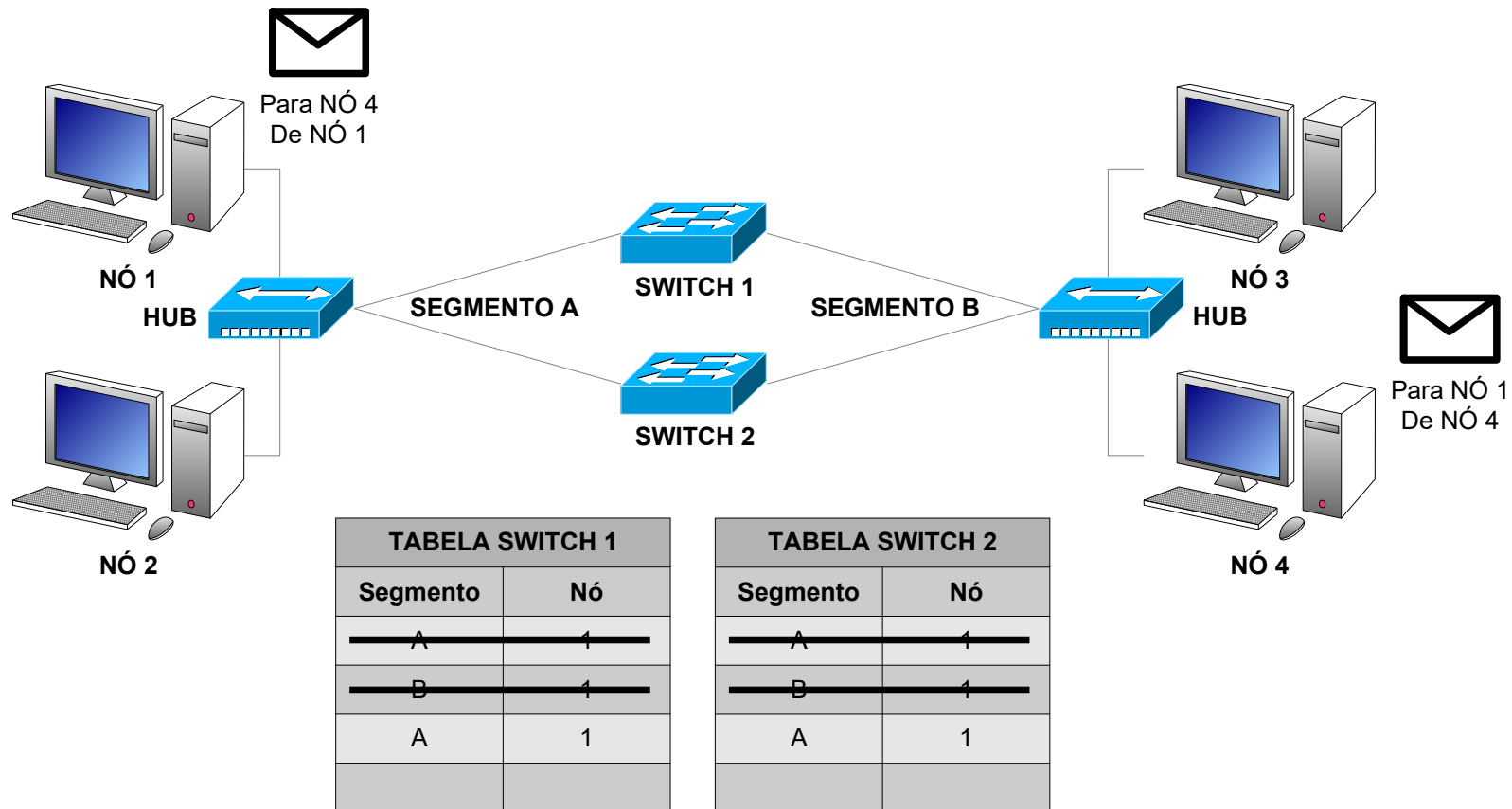
- Se os *switches* não forem compatíveis com o protocolo STP, o quadro enviado pelo Nó 1 ao Segmento B sairá pelos dois *switches*, e então o *Switch 1* receberá o quadro vindo do *Switch 2* e vice-versa, e cada um pensará que o Nó 1 está no Segmento B ao invés do Segmento A, e irão preencher a segunda linha da tabela.





Spanning Tree Protocol (STP)

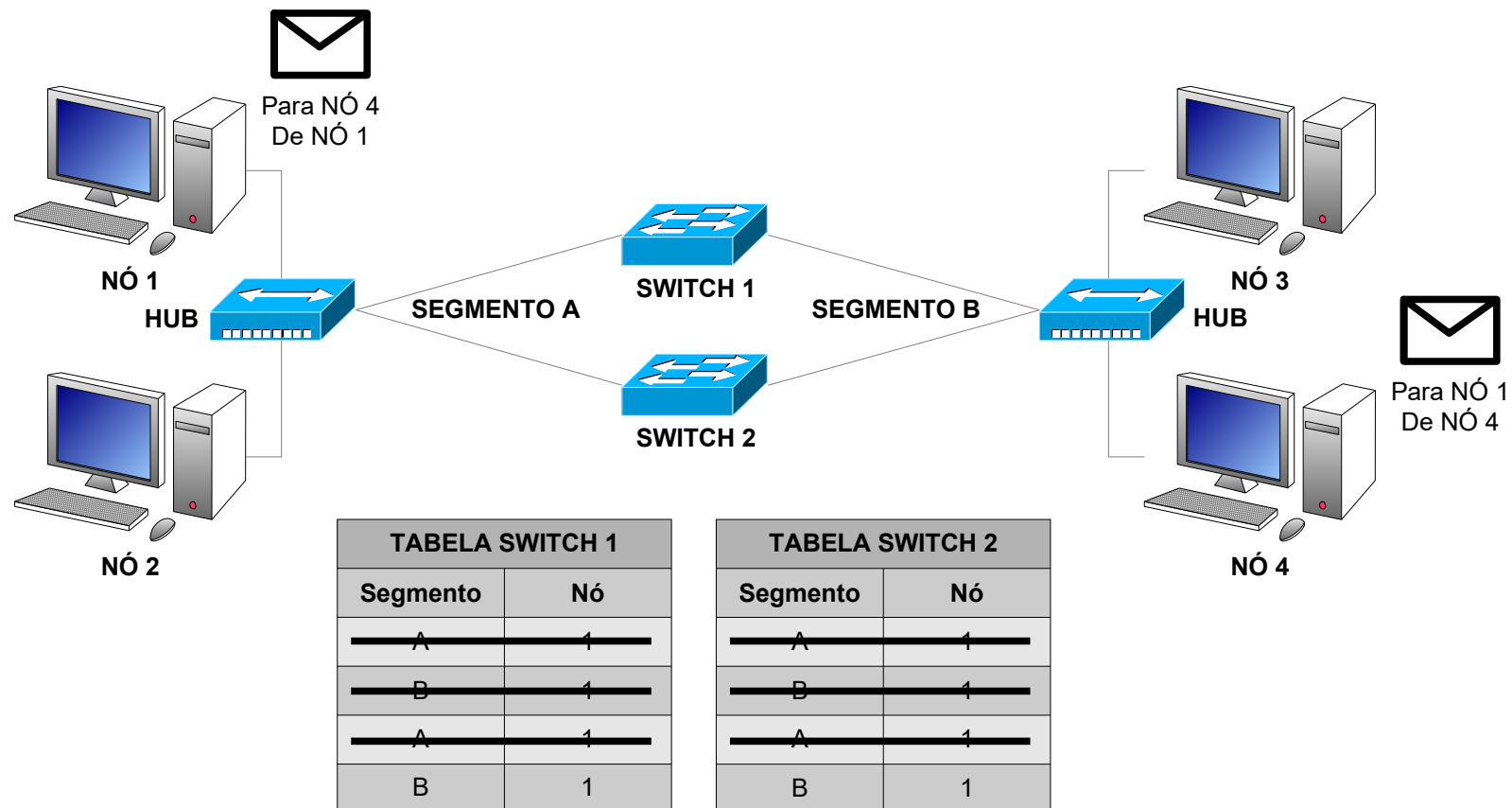
- Como os *switches* ainda não sabem onde se encontra o Nó 4, eles encaminharão o quadro para o Segmento A, e então o *Switch 1* receberá o quadro vindo do *Switch 2* e vice-versa, e cada um pensará que o Nó 1 está no Segmento A ao invés do Segmento B, e irão preencher a terceira linha da tabela.





Spanning Tree Protocol (STP)

- O ciclo se repete e a rede entra em estado de *loop*.





Switch - modos de operação

Os *switchs* podem ser de três tipos:

- Store-and-forward – antes de começar a retransmitir o quadro Ethernet para o próximo nó, o *switch* armazena o quadro inteiro em memória e checa sua integridade usando o campo de FCS;
- Cut-through – assim que o *switch* lê a informação de endereço destino do quadro Ethernet, ou seja, os 12 primeiros bytes após o preâmbulo e o SOF, o *switch* começa a enviar o fluxo de bits para ganhar tempo;
- Fragment-free – trabalha de forma semelhante ao *cut-through*, porém lê os primeiros 64 bytes após os preâmbulo e o SOF, ao invés de ler somente os 12 primeiros bytes, já que a maioria das colisões ocorrem nesta faixa.



Switch - capacidade de conexão

Os *switches* podem ser encontrados em diversas configurações de portas. As mais comuns são as de 4, 8, 16, 24 e 48 portas. Quando há a necessidade de se usar mais portas, deve-se combinar dois ou mais *switches* por meio de cascadeamento ou empilhamento.



Switch com 8 portas



Switch com 24 portas



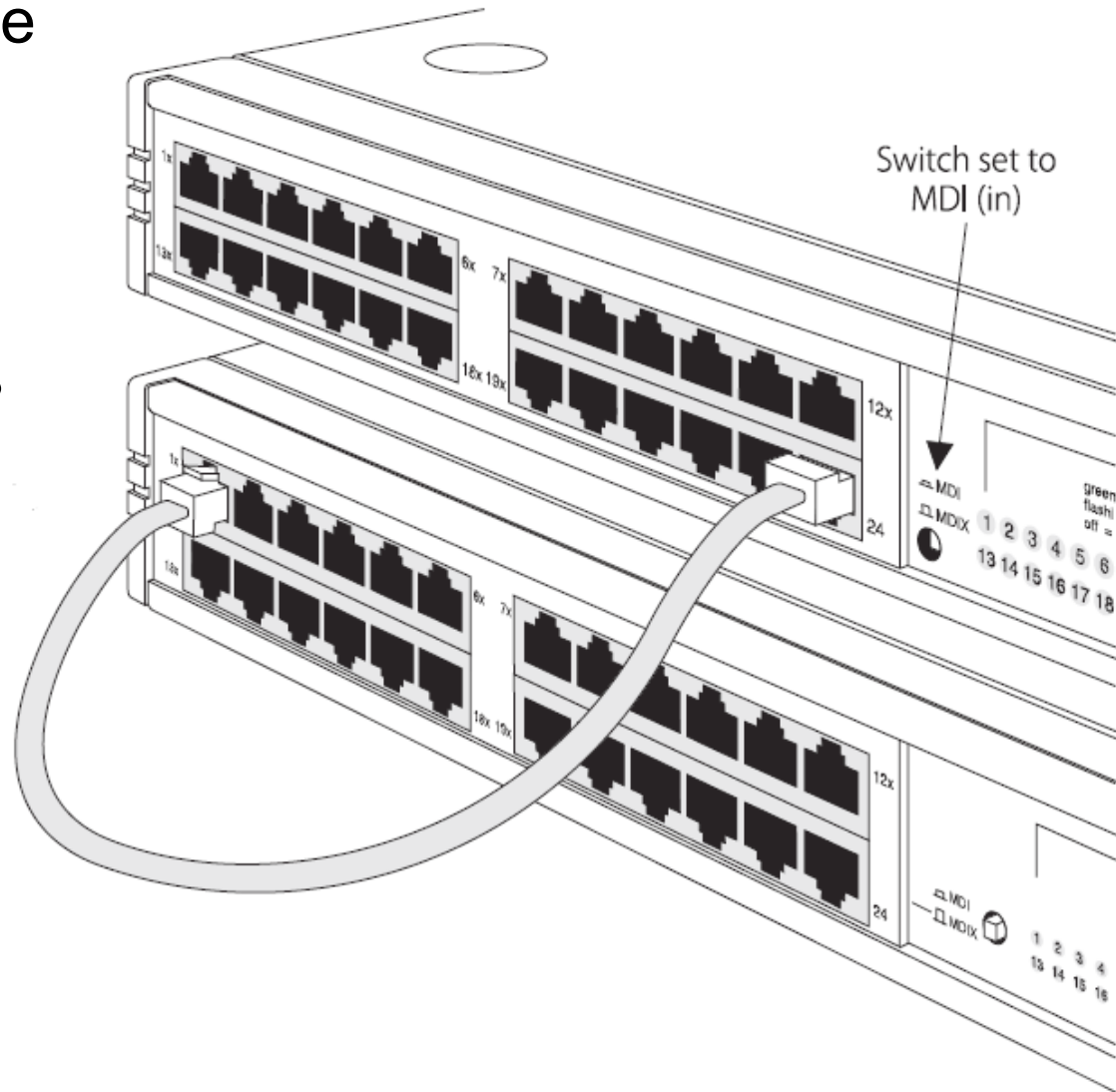
Switch com 48 portas



Switch - cascadeamento

Para aumentar a capacidade de conexão de um *switch* usando cascadeamento (*cascading*), deve-se interligar dois ou mais *switches* por meio de cabos de par trançado.

Em *switches* mais antigos, deve-se usar um cabo par trançado *crossover* ou um cabo direto conectado na porta MDI-X.

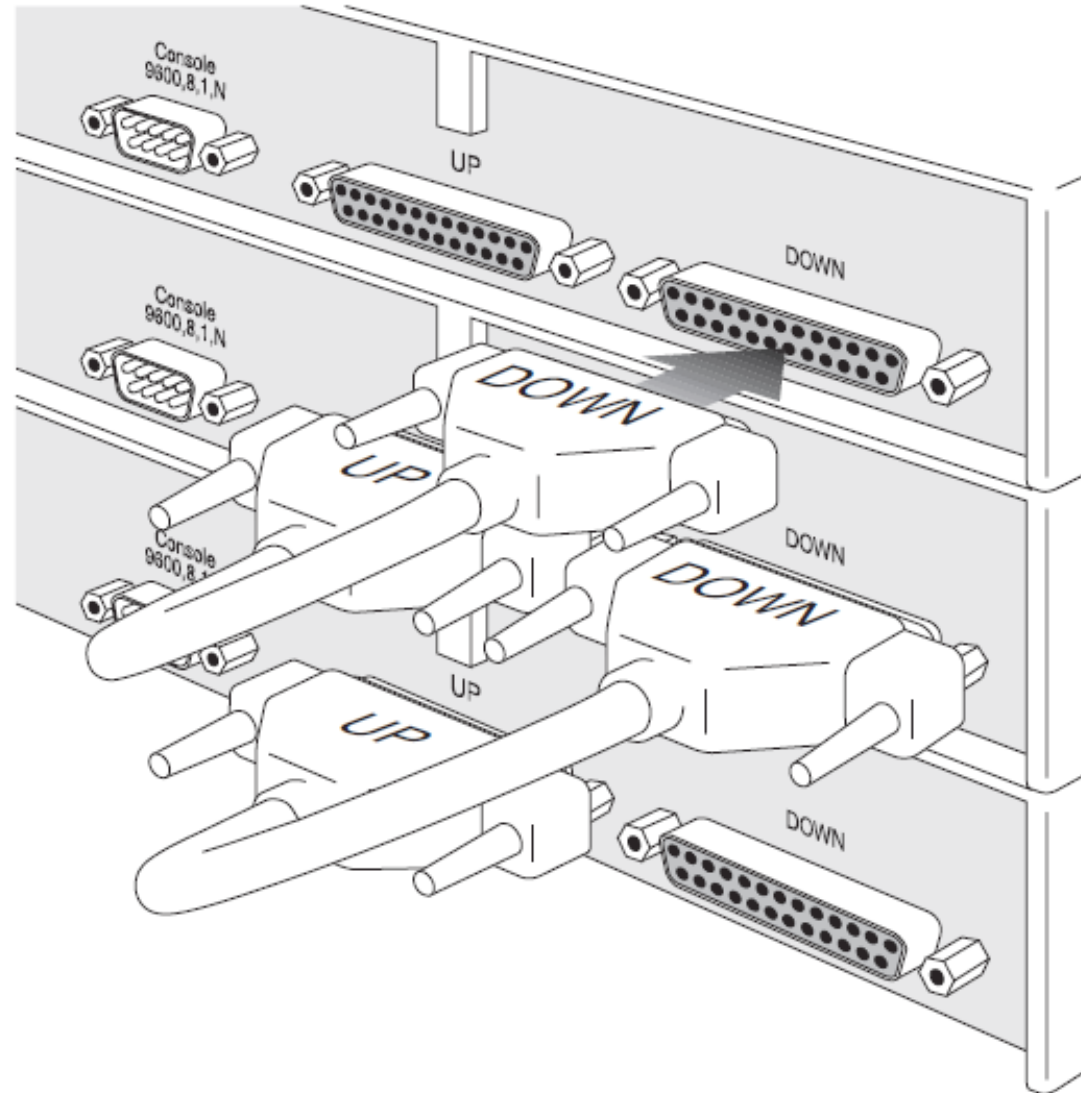




Switch - empilhamento

Para aumentar a capacidade de conexão de um *switch* usando empilhamento (*stack*), o mesmo deve conter portas específicas para este fim.

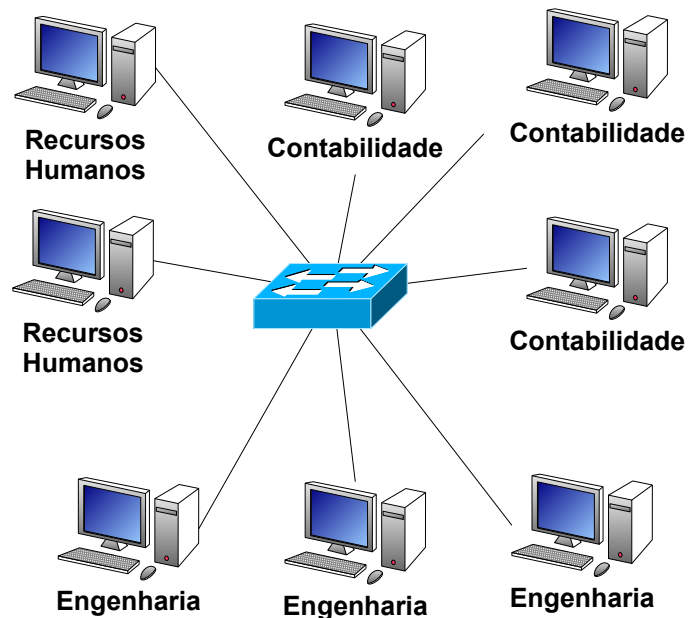
A vantagem do empilhamento sobre o cascadeamento é que o primeiro usa portas com altas taxas de transferência, e do ponto de vista do gerenciamento, os *switches* funcionam como se fossem um só.



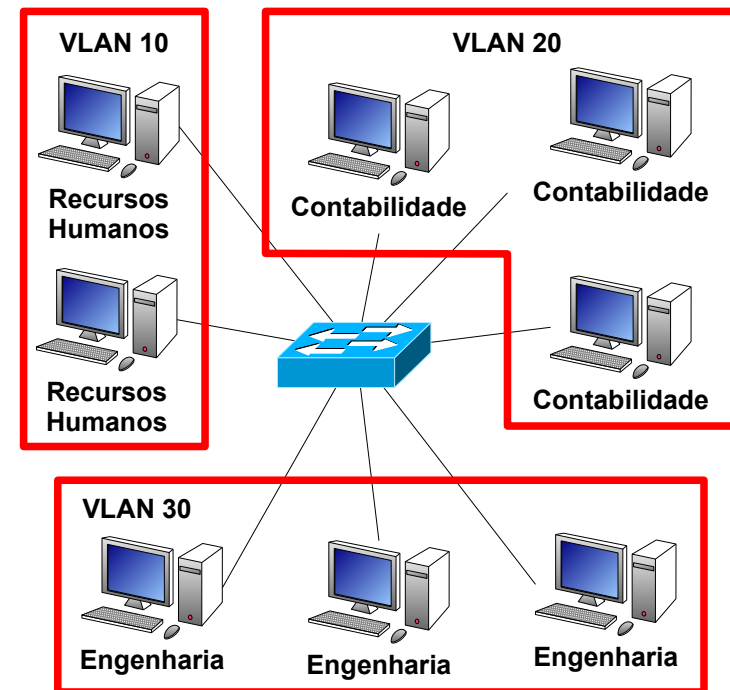


Virtual Local Area Network - VLAN

Uma VLAN ou área de rede local virtual é uma característica que permite a um *switch* criar segmentos de rede independentes dentro do mesmo equipamento. No exemplo da figura à esquerda, temos uma rede onde todas as máquinas são capazes de comunicar-se uma com as outras. Já no exemplo da figura à direita, foram criados segmentos independentes de modo que a máquina que faz parte de um grupo não consiga se comunicar com outra máquina que esteja em outro grupo, ainda que estejam conectados fisicamente ao mesmo *switch*. Este tipo de configuração só é possível em *switches* gerenciáveis.



Rede sem VLAN configurada.

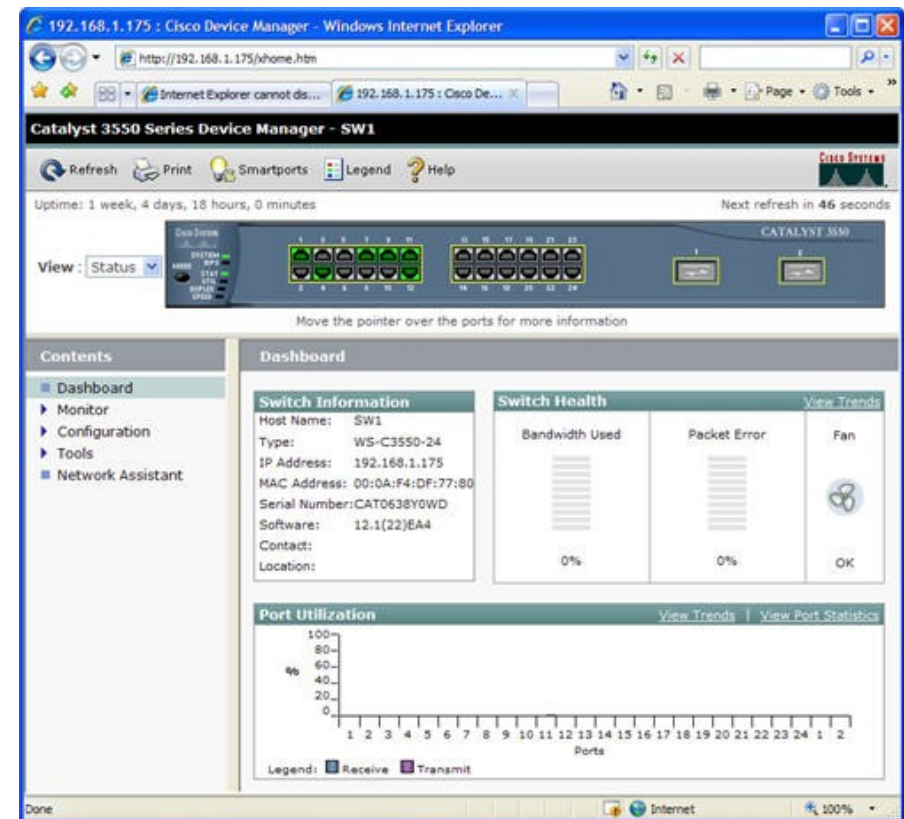
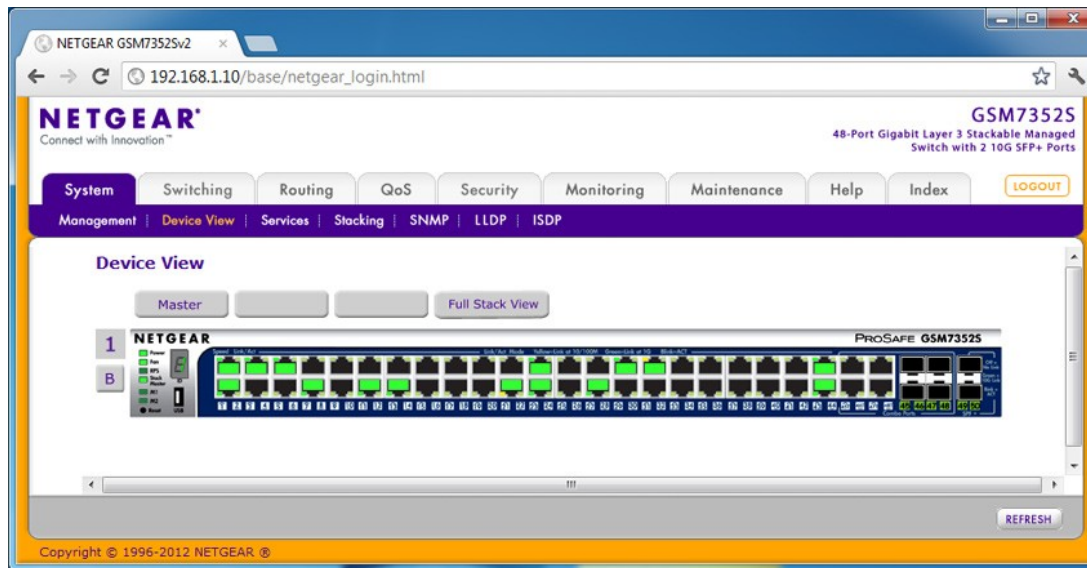


Rede com VLAN configurada.



Switch - gerenciamento

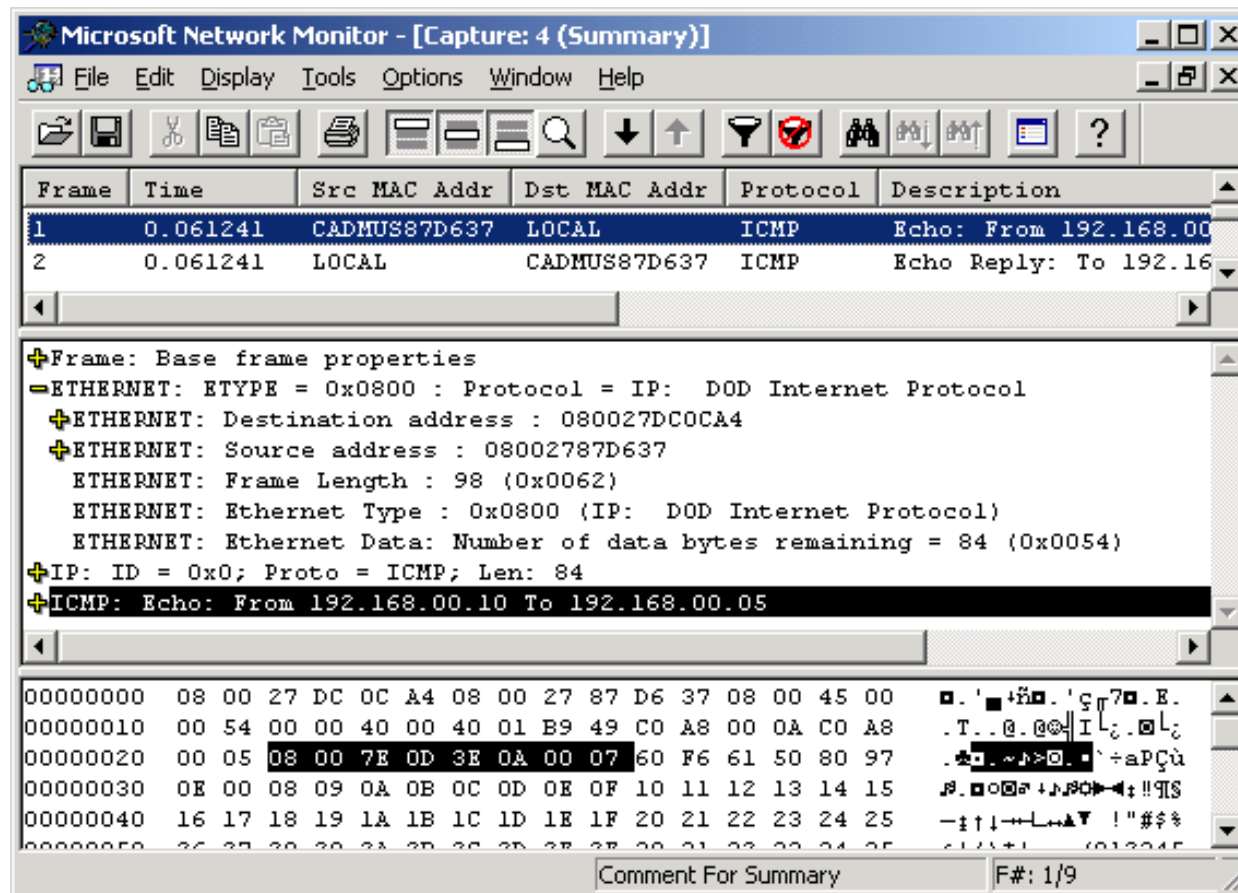
Switches gerenciáveis são aqueles que permitem administrar e configurar as suas portas. Pode-se, por exemplo, determinar quais portas ficarão ativas ou inativas, monitorar quais estão transmitindo ou não no momento, bem como configurar em qual velocidade irão transmitir. É possível ainda configurar VLAN's e monitorar estatísticas de transmissão e erros.





Analizador de quadros ou pacotes

O Analisador de Quadros ou Pacotes, ou simplesmente *sniffer*, é um *software* que permite a um administrador de redes capturar e analisar os quadros Ethernet que chegam à placa de rede. Os analisadores de quadros ou pacotes mais conhecidos são o Wireshark para Linux e Windows e o Microsoft Network Monitor para Windows.





Para saber mais...

- ... acesse o material online do curso Introduction to Computer Networks, do Prof. Cheng-Yuan Hsieh, da Knowledge Systems Institute, Estados Unidos.
- ... acesse a animação online do funcionamento de um switch, da Cisco.
- ... acesse a animação online do funcionamento do Spanning Tree Protocol (STP), da Cisco.
- ... acesse o Trabalho de Conclusão de Curso sobre Spanning Tree Protocol, de Alessandro Goulart de Souza, Faculdade de Ciências Aplicadas de Minas, Brasil.
- ...acesse o material online Como funciona a Ethernet?, do HowStuffWorks.

Módulo 4

Camada de enlace



Introdução

A camada de enlace é responsável por transmitir, de modo confiável, dados entre duas ou mais entidades conectadas a um meio físico comum.

Para realizar esta tarefa, a camada de enlace divide os dados em quadros que são delimitados e transmitidos sequencialmente pela linha de transmissão.



Camada de enlace - serviços

Entre outras tarefas, a camada de enlace oferece os seguintes serviços:

- Delimitação de quadros;
- Controle de fluxo;
- Detecção de erros;
- Controle de acesso ao meio;
- Etc.



Padrão Ethernet

O padrão de redes Ethernet foi desenvolvido por Robert Metcalfe e outros colaboradores que trabalhavam nos laboratórios da Palo Alto Research Center (PARC), de propriedade da Xerox Corporation. O primeiro padrão Ethernet foi publicado em 1980 por um consórcio formado pela Digital Equipment Corporation, pela Intel e pela Xerox, que ficou conhecido pela sigla DIX.





Padrão Ethernet

Em 1985 o IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) criou um comitê que iria discutir os novos padrões para redes locais. Como se desejava que o padrão Ethernet seguisse as especificações do modelo OSI, o mesmo foi adaptado de modo a ocupar as camadas física e de enlace de dados. O conjunto de padrões IEEE para redes Ethernet ficou conhecido pelo número de comitê 802.

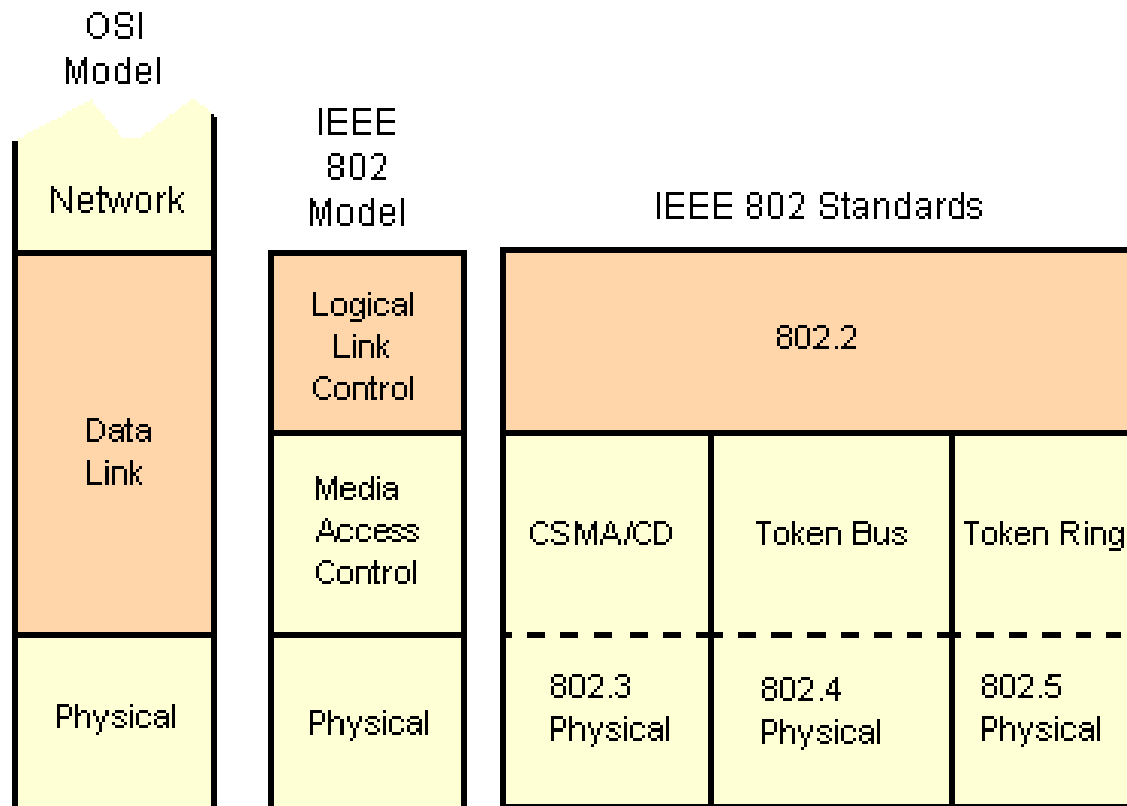
IEEE 802 Standards

802.1	Bridging & Management
802.2	Logical Link Control
802.3	Ethernet - CSMA/CD Access Method
802.4	Token Passing Bus Access Method
802.5	Token Ring Access Method
802.6	Distributed Queue Dual Bus Access Method
802.7	Broadband LAN
802.8	Fiber Optic
802.9	Integrated Services LAN
802.10	Security
802.11	Wireless LAN
802.12	Demand Priority Access
802.14	Medium Access Control
802.15	Wireless Personal Area Networks
802.16	Broadband Wireless Metro Area Networks
802.17	Resilient Packet Ring



Ethernet vs. Modelo OSI

The OSI Model and IEEE 802.2





Ethernet - camada física

Os padrões Ethernet para a camada física seguem as mesmas especificações de cabos, conectores e equipamentos já estudados.

Na camada física são definidos os padrões para redes que usam cabo coaxial, par trançado ou fibra ótica, em topologias barramento, anel ou estrela, de modo a atender os requisitos de transmissão e recepção de dados especificados no padrão Ethernet.



Ethernet - camada de enlace

Para comportar as especificações do padrão Ethernet no modelo OSI, a camada de enlace foi dividida em duas camadas, a subcamada LLC e a subcamada MAC.

A subcamada LLC (*Logical Link Control*) é responsável, entre outras coisas, por receber os dados da camada superior e fazer o enquadramento, que consiste em alocar os dados da camada de rede em um quadro (*frame*) com as informações do cabeçalho da camada de enlace. Esta subcamada também é responsável por permitir o uso de diferentes protocolos de rede sobre uma mesma interface física.

A subcamada MAC (*Media Access Control*) é responsável por realizar o controle de acesso ao meio, por meio do protocolo CSMA/CD.



Ethernet - subcamada LLC

Existem basicamente duas implementações da subcamada LLC, a NDIS e a ODI.

A NDIS (*Network Driver Interface Specification*) é uma interface de programação de aplicativos (API) para interfaces de rede desenvolvida pela Microsoft e pela 3Com Corporation.

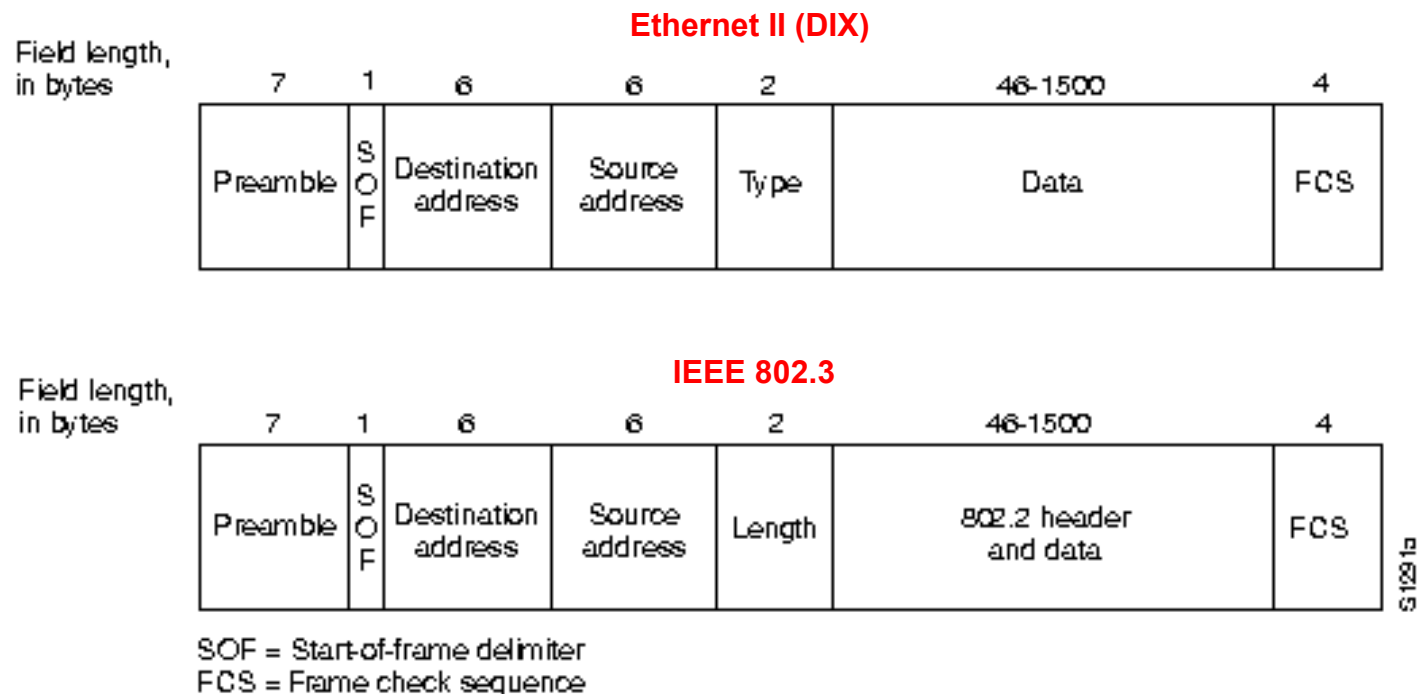
A ODI (*Open Data-Link Interface*) é uma API desenvolvida pela Novell e pela Apple.



Quadro Ethernet

O quadro (*frame*) Ethernet é formado por 7 campos: preâmbulo, delimitador do início de quadro (SOF), endereço destino, endereço origem, tipo ou tamanho, dados e sequência de checagem de quadro (FCS).

A figura abaixo mostra os dois padrões de quadros. O primeiro refere-se à especificação de quadro original, conhecida simplesmente como Ethernet, Ethernet II ou DIX, enquanto que o segunda refere-se à especificação proposta pelo IEEE, conhecida como IEEE 802.3. Ambas as especificações de quadro podem ser usadas.

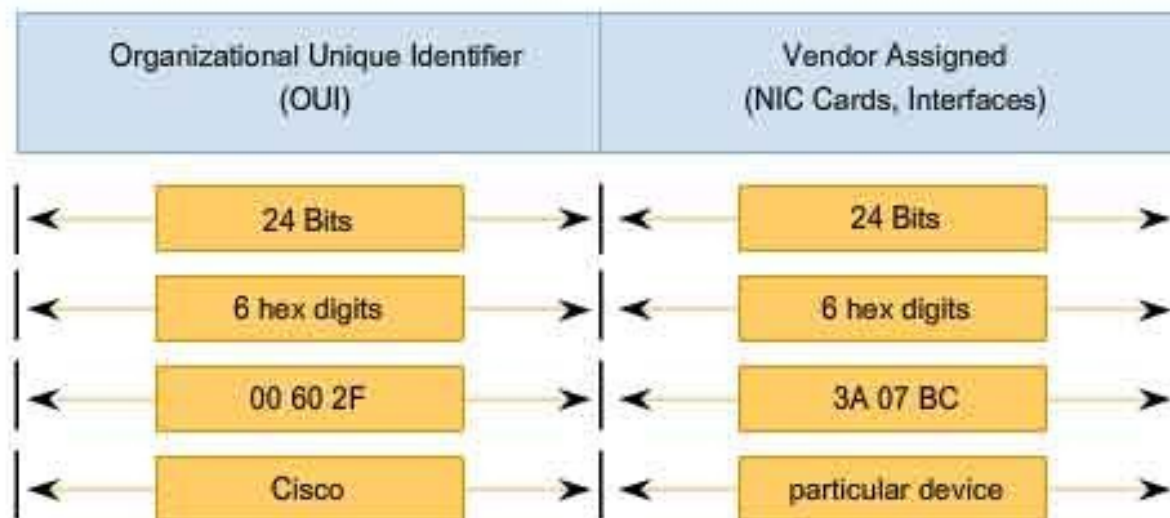




Quadro Ethernet - Endereço MAC

Os endereços destino e origem são também conhecidos por endereços MAC ou *MAC address*, e servem para identificar unicamente uma placa de rede. São compostos por 6 bytes escritos em notação hexadecimal. Os primeiros 3 bytes identificam o fabricante e os últimos 3 bytes representam um número sequencial.

The Ethernet MAC Address Structure



Different representations of MAC Addresses

00-60-2F-3A-07-BC
00:60:2F:3A:07:BC
0060.2F3A.07BC



Endereço MAC - Exemplos

Windows Console

```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe

C:\>ipconfig /all

Windows IP Configuration

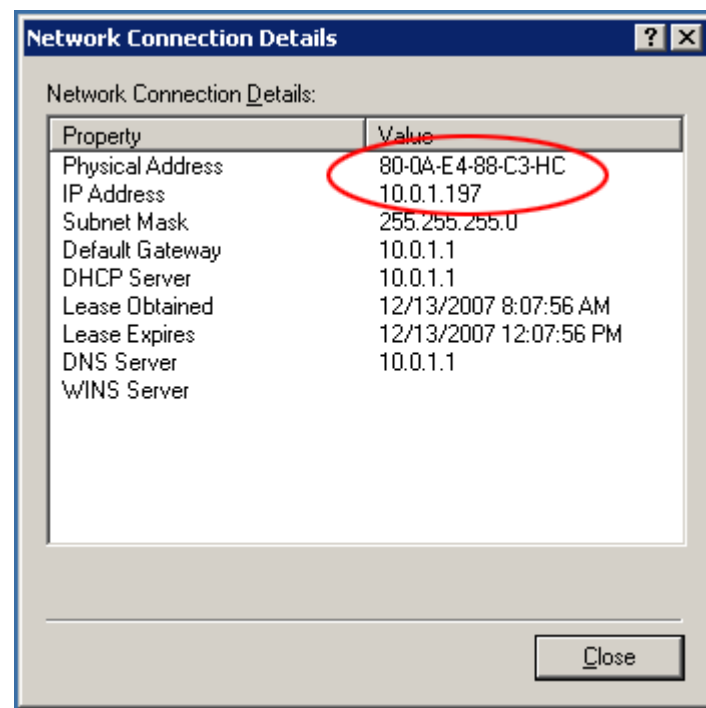
    Host Name . . . . . : computer
    Primary Dns Suffix . . . . . :
    Node Type . . . . . : Unknown
    IP Routing Enabled. . . . . : No
    WINS Proxy Enabled. . . . . : No

Ethernet adapter Local Area Connection:

    Connection-specific DNS Suffix  : 
    Description . . . . . : Broadcom 440x 10/100 Integrated Cont
    Physical Address. . . . . : 00-C0-9F-A1-9D-4A
    DHCP Enabled. . . . . : No
    IP Address. . . . . : 192.168.1.8
    Subnet Mask . . . . . : 255.255.255.0
    Default Gateway . . . . . : 192.168.1.1
    DNS Servers . . . . . : 208.67.222.222
                           208.67.220.220

C:\>
```

Windows GUI



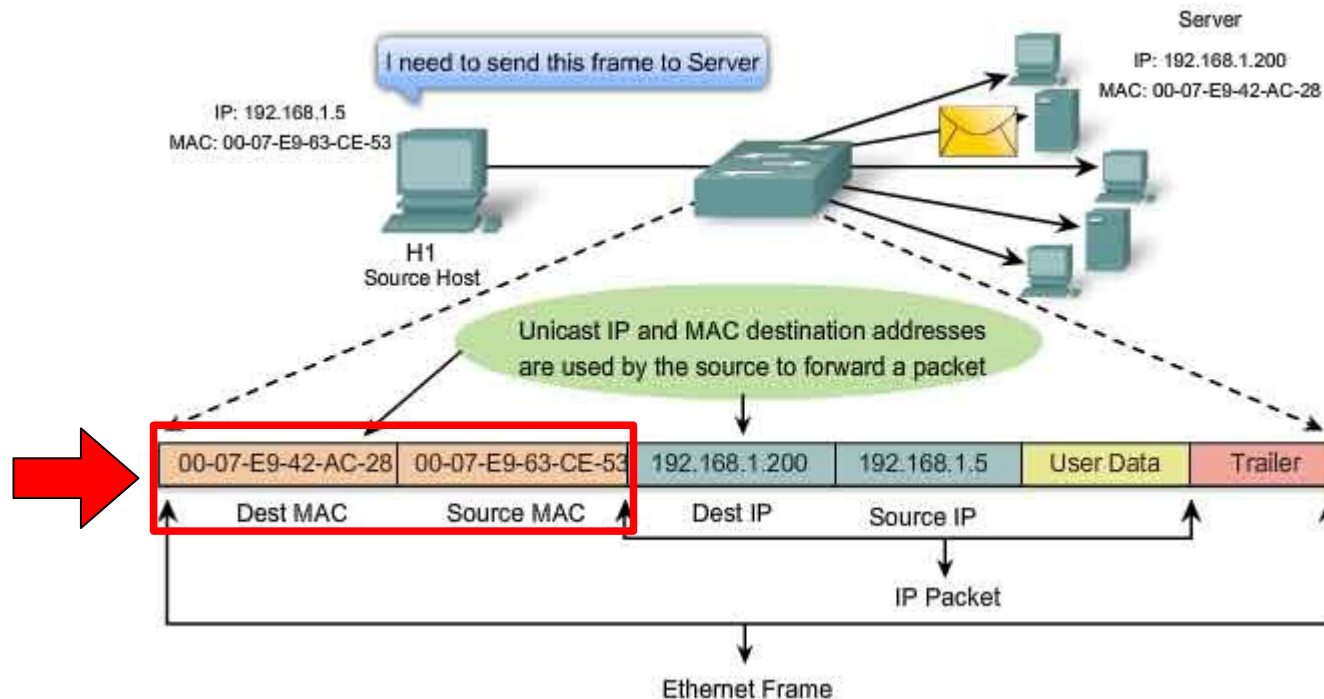
Linux Console

```
root@p2278216 [/sbin]# /sbin/ifconfig
eth0      Link encap:Ethernet HWaddr 00:25:90:10:21:C2
          inet addr:64.34.185.79 Bcast:64.34.185.95 Mask:255.255.255.224
          inet6 addr: fe80::225:90ff:fe10:21c2/64 Scope:Link
          UP BROADCAST RUNNING MULTICAST MTU:1500 Metric:1
          RX packets:8027833 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
          TX packets:8481416 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
          collisions:0 txqueuelen:10
          RX bytes:1625774702 (1.5 GiB) TX bytes:10515096207 (9.7 GiB)
          Memory:d0200000-d0220000
```



Endereço MAC - Unicast

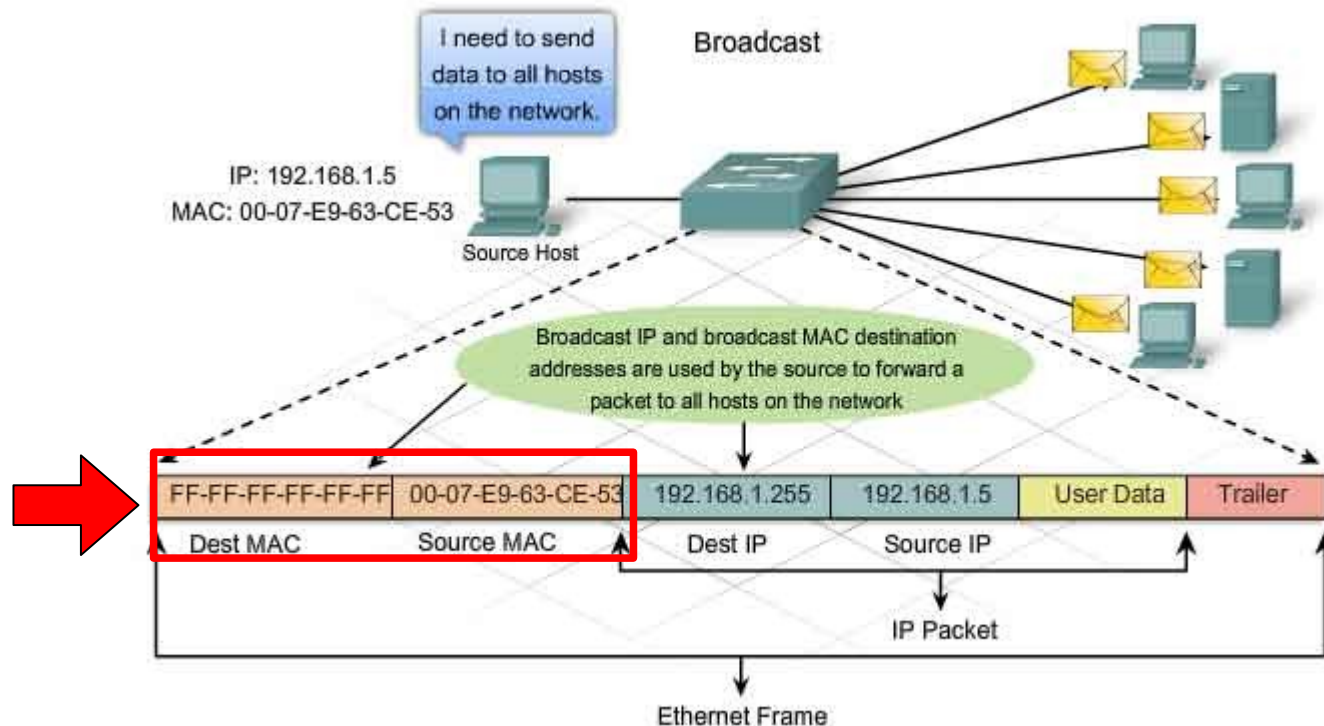
Quando se deseja que um nó de origem envie uma mensagem para um nó de destino (transmissão *unicast*), o campo endereço origem do quadro Ethernet deve conter o endereço MAC do computador de origem e o campo endereço destino deste mesmo quadro deve conter o endereço MAC do computador de destino.





Endereço MAC - Broadcast

Quando se deseja que um nó de origem envie uma mensagem para vários nós de destino (transmissão *broadcast*), o campo endereço origem do quadro Ethernet deve conter o endereço MAC do computador de origem e o campo endereço destino deste mesmo quadro deve conter o endereço MAC FF-FF-FF-FF-FF-FF, que fará com que o *switch* replique este quadro para todas as suas portas.





Quadro Ethernet - Tipo

Se o quadro Ethernet seguir o padrão IEEE 802.3, este campo irá indicar o tamanho do campo de dados. Mas se o quadro seguir o padrão Ethernet II (DIX), este campo irá indicar o tipo de protocolo da camada superior contido no campo dados.

TIPO DE QUADRO	PROTOCOLO
0x0800	Internet Protocol, Version 4 (IPv4)
0x0806	Address Resolution Protocol (ARP)
0x0842	Wake-on-LAN
0x809B	AppleTalk (Ethertalk)
0x8137	Novell IPX
0x814C	Simple Network Management Protocol (SNMP)
0x86DD	Internet Protocol, Version 6 (IPv6)

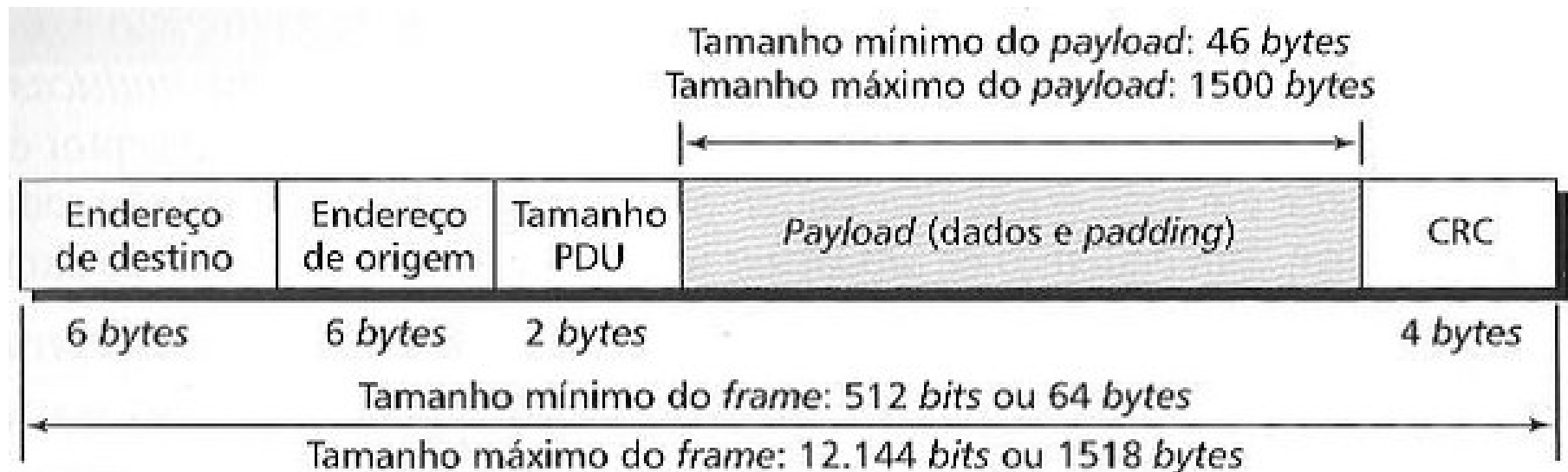
Uma lista completa está disponível em
<http://standards.ieee.org/develop/regauth/ethertype/eth.txt>



Quadro Ethernet - Dados

O campo de dados contém as informações passadas pelas camadas superiores, e deve ocupar no mínimo 46 bytes e no máximo 1500 bytes. Essa ocupação máxima também é conhecida por MTU (*Maximum Transfer Unit*), que é a quantidade máxima de informação que um quadro Ethernet pode transportar.

O MTU pode ser referir tanto à carga útil (*payload*) quanto ao tamanho total do quadro, descontando-se os dados do preâmbulo e do SOF, e opcionalmente, os dados do FCS ou CRC.

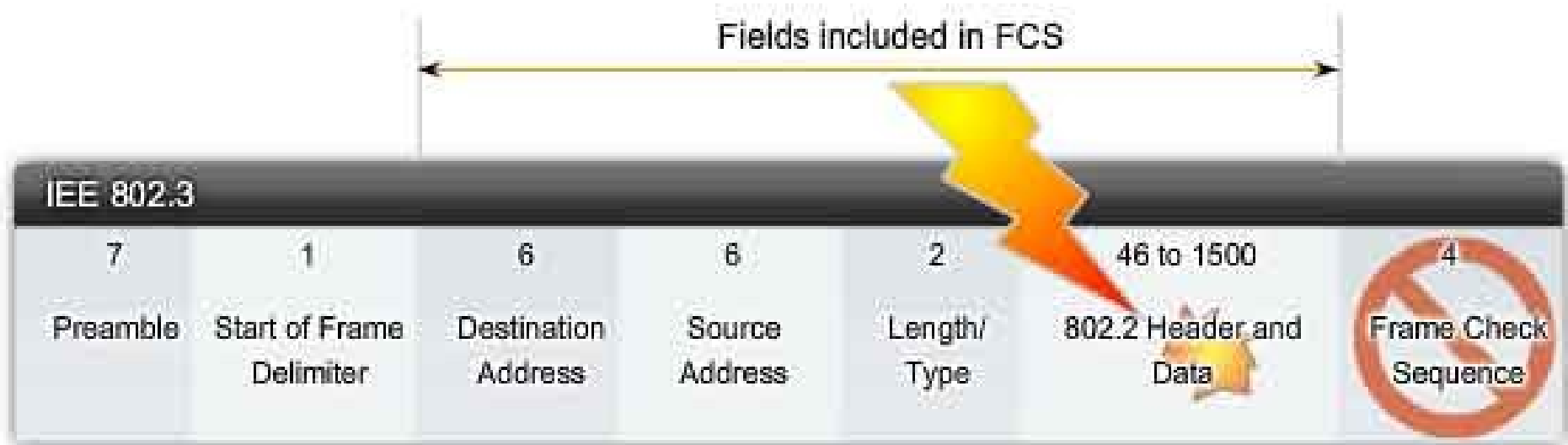




Quadro Ethernet - FCS

A Sequência de Checagem de Quadro, ou FCS (*Frame Check Sequence*), usa um algoritmo baseado em CRC (*Cyclic Redundancy Check*) que gera um número a partir de um conjunto de dados. Assim, o transmissor usa o algoritmo de CRC para efetuar um cálculo a partir da sequência de bits dos campos endereço destino, endereço origem, tipo e dados, e este resultado é então armazenado no campo FCS.

Quando o receptor recebe o quadro, este usa o mesmo algoritmo de CRC para efetuar o cálculo a partir da sequência de bits recebidos, e se o FCS calculado não for igual ao FCS contido no quadro, o mesmo será descartado.





Quadro Ethernet - Delimitação

Como o *switch* ou placa de rede identifica o início do quadro ethernet?

- Por meio dos campos preâmbulo ou start-of-stream delimiter (SSD), cujo padrão é 10101010 10101010 10101010 10101010 10101010 10101010 10101010 10101010 e;
- Start of frame (SOF), também conhecido como start-of-frame delimiter (SFD), cujo padrão é 10101011.

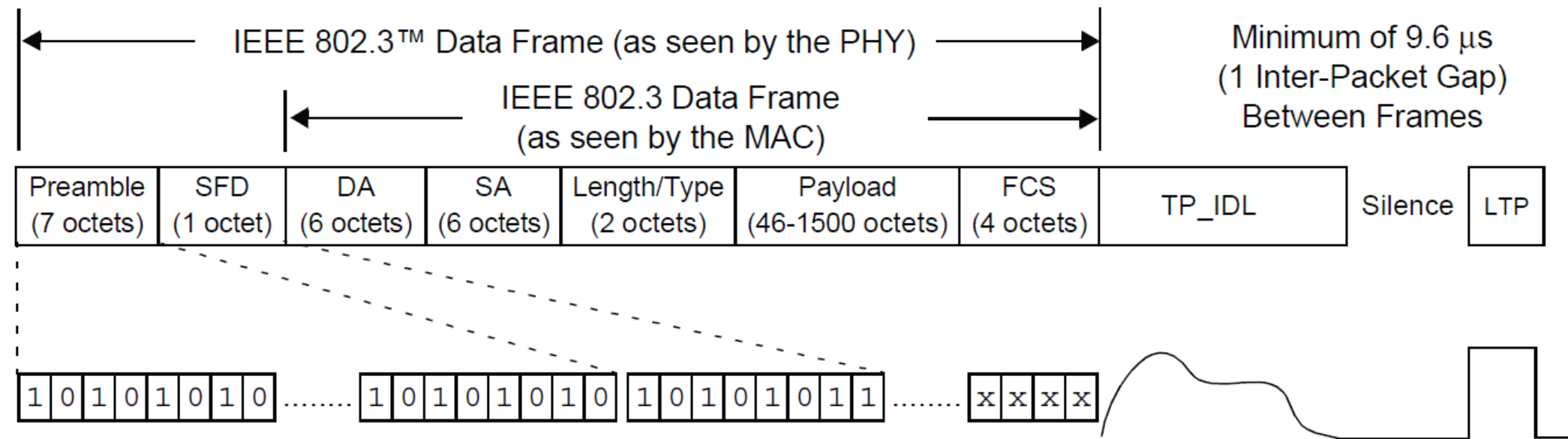
Como o *switch* ou placa de rede identifica o final do quadro ethernet?

- Em redes 10 Mbps, por meio de um sinal especial após o campo FCS, conhecido como TP_IDL mais um breve espaço de “silêncio” na rede. Este sinal não é considerado parte do quadro ethernet;
- Em redes 100 Mbps, por meio de um par de símbolos /T/R/ após o campo FCS (00111 01101).



Quadro Ethernet - Delimitação

A figura abaixo mostra o sinal TP_IDL.





Outros tipos de quadros

O quadro Ethernet 802.2 é usado apenas para redes locais que usam mídia do tipo cabo par trançado. Para outras mídias, faz-se necessário o uso de outros tipo de quadros mais adequados às características de transmissão.

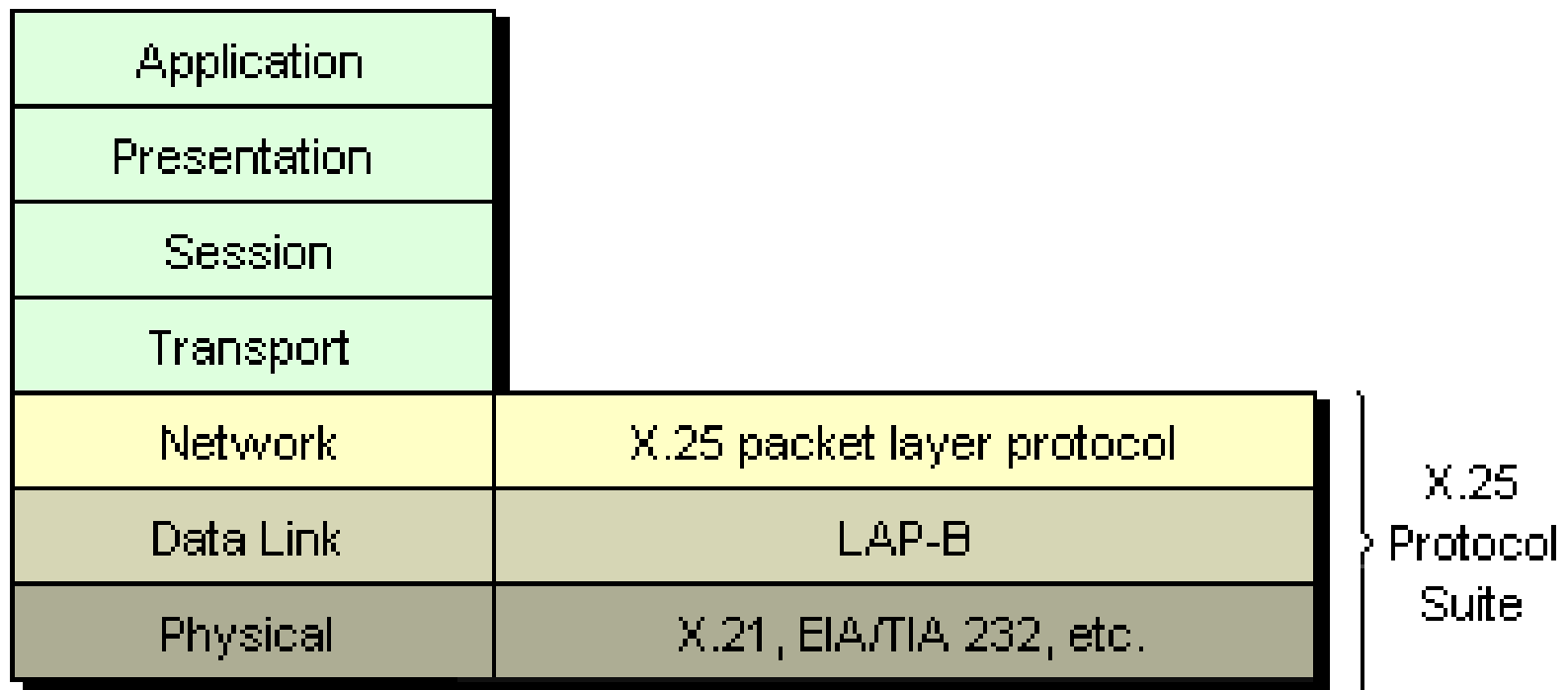
Como exemplos temos o HDLC (*High-Level Data Link Control*) e o PPP (*Point-to-Point protocol*), usados originalmente em conexões telefônicas discadas.



HDLC

O HDLC (*High-Level Data Link Control*) trabalha em conjunto com a pilha de protocolos do modelo de referência X.25, e é usado principalmente para transmitir dados de transações bancárias.

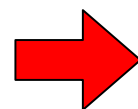
OSI Reference Model

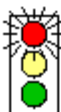




PPP

O PPP (*Point-to-Point protocol*) é um protocolo da camada de enlace do modelo de referência TCP/IP e é usado para conexões discadas.

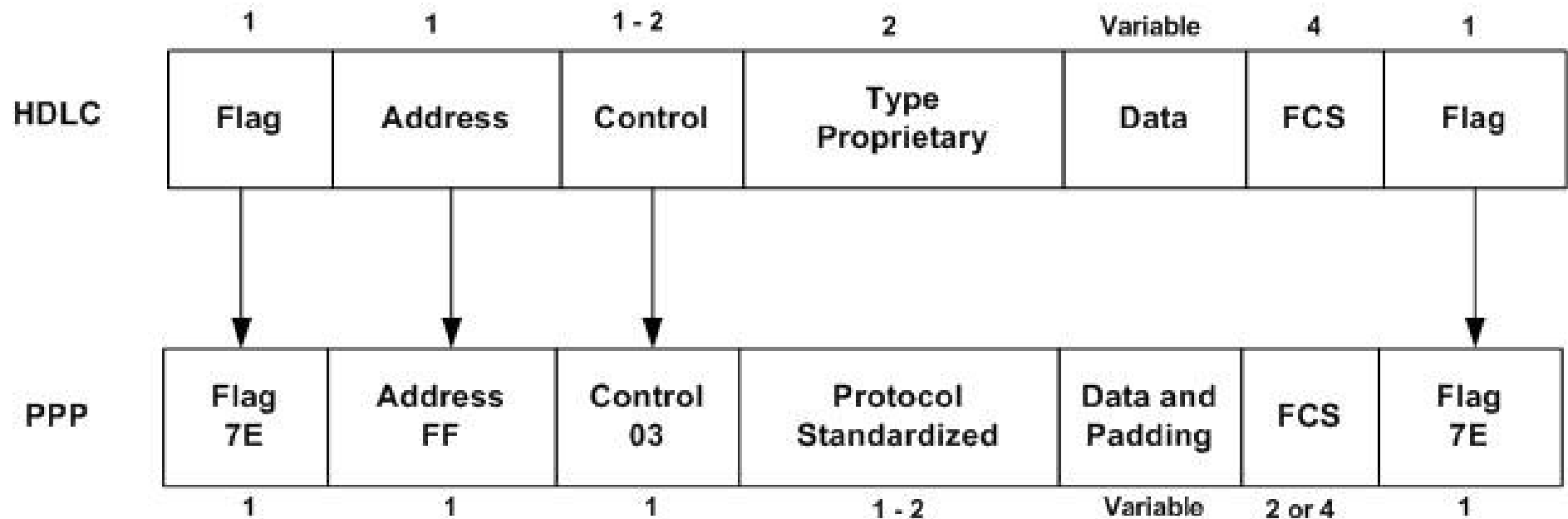


OSI MODEL			PPP
7	 Application Layer Type of communication: E-mail, file transfer, client/server.		
6	 Presentation Layer Encryption, data conversion: ASCII to EBCDIC, BCD to binary, etc.		
5	 Session Layer Starts, stops session. Maintains order.		
4	 Transport Layer Ensures delivery of entire file or message.		TCP
3	 Network Layer Routes data to different LANs and WANs based on network address.		IP
2	 Data Link (MAC) Layer Transmits packets from node to node based on station address.		PPP (LCP)
1	 Physical Layer Electrical signals and cabling.		RS-232, ISDN, T1



Quadros HDLC e PPP

Tanto o quadro HDLC quanto o PPP usam um flag delimitador cuja sequencia é 01111110. Como são usados para conexões ponto a ponto, sua estrutura é mais simples que o quadro Ethernet 802.2



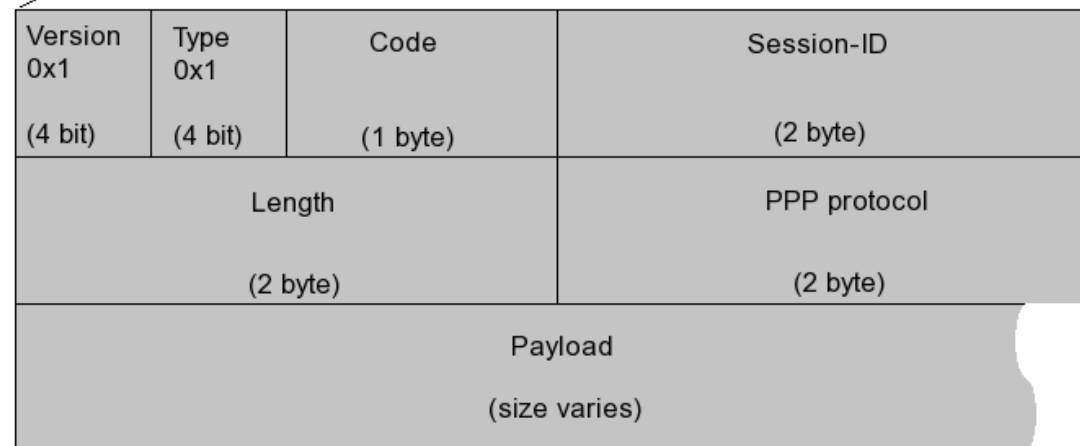
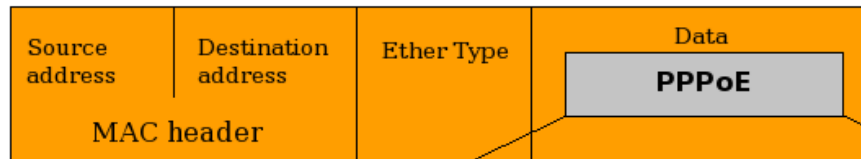


Protocolo PPPoE

O protocolo PPPoE, ou PPP sobre Ethernet, foi criado para permitir que quadros PPP originalmente desenvolvidos para trafegar sobre conexões discadas pudessem ser transmitidos em redes Ethernet.

O que o protocolo PPPoE faz é encapsular o quadro PPP e transmiti-lo de forma transparente sobre uma rede Ethernet.

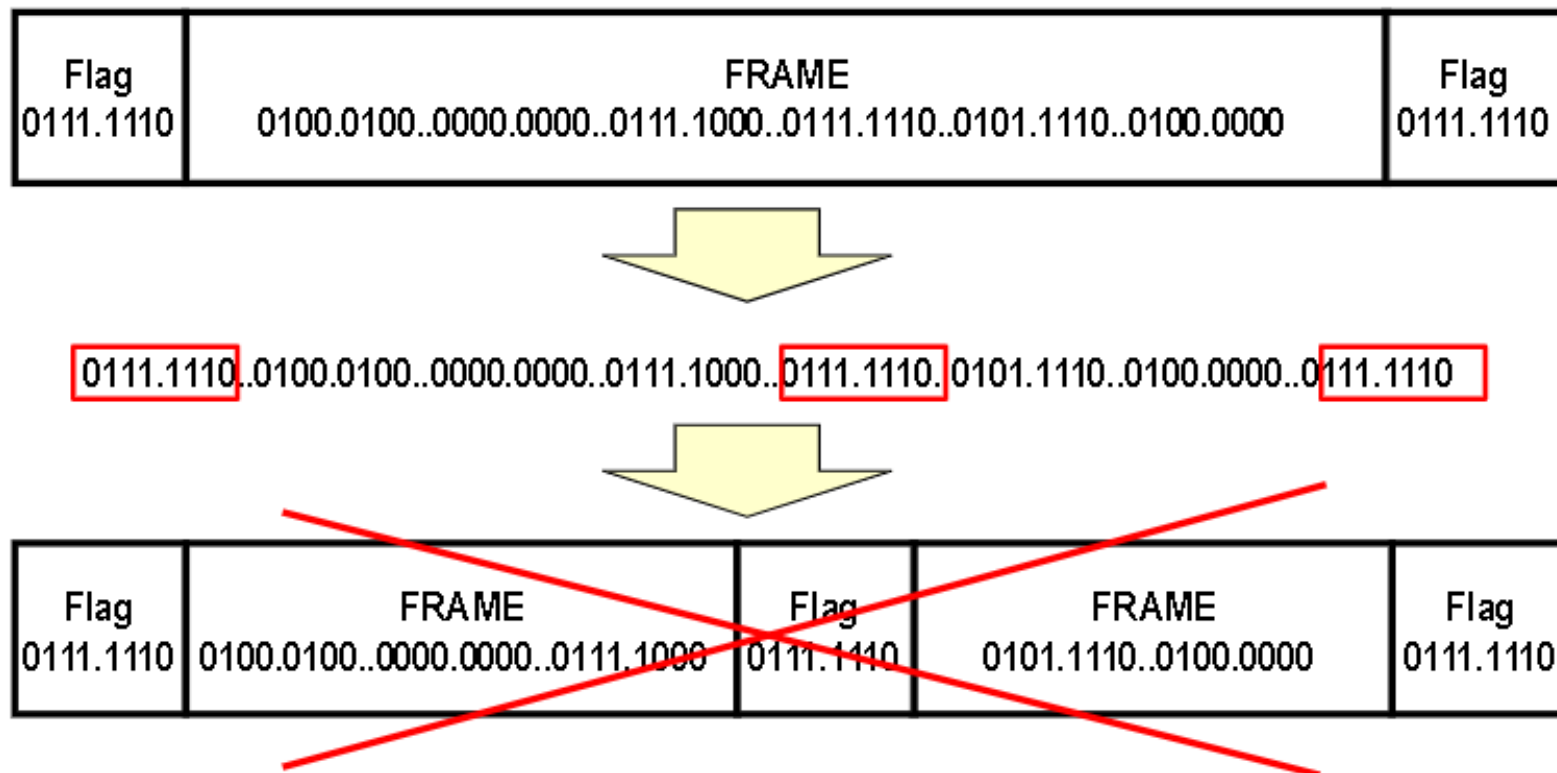
Ethernet-Frame





Preenchimento de bits

O preenchimento de bits ou Bit Stuffing é uma técnica usada para impedir que as sequências de bits usadas para delimitar os quadros HDLC ou PPP possam ser interpretados erroneamente caso estejam inseridos nos campos de dados (payload).





Preenchimento de bits

Para isso, a técnica consiste em inserir bits “0” após uma ocorrência consecutiva de cinco “1” no momento da transmissão.

No momento da recepção, após receber cinco bits “1” consecutivos, podem ocorrer as seguintes situações:

- se o próximo bit é um “0”, este é removido;
- se os próximos dois bits são “10”, então o delimitador (flag) foi detectado;
- se os próximos dois bits são “11”, então o quadro possui erros.



Preenchimento de bits - Exemplo

(a) Data to be sent

011011111111100

After stuffing and framing

0111111001101111101111100001111110

(b) Data received

01111110000111011111011111011001111110

After destuffing and deframing

000111011111-11111-110

Referência Bibliográfica:

LEON-GARCIA, Alberto; WIDJAJA, Indra. *Communication Networks: Fundamental Concepts and Key Architectures*. McGraw-Hill, 2001



MTU

Maximum Transmission Unit ou Unidade Máxima de Transmissão é a quantidade máxima de bytes que um quadro pode transportar por vez. Em redes Ethernet este número é de 1500 bytes. Em linhas discadas seriais usando PPP este número é de 576 bytes, enquanto que em redes de banda larga usando PPPoE este número é de 1492 bytes.

Como no modelo TCP/IP os dados de uma camada são encapsulados na camada seguinte, para saber a quantidade de dados úteis que um quadro transporta, ou seja, para conhecer o MSS (Maximum Segment Size ou Tamanho Máximo do Segmento), que é a quantidade máxima de bytes que a camada de transporte pode conter, efetua-se o seguinte cálculo:

$$MSS = MTU - \text{Cabeçalho TCP} - \text{Cabeçalho IP}$$

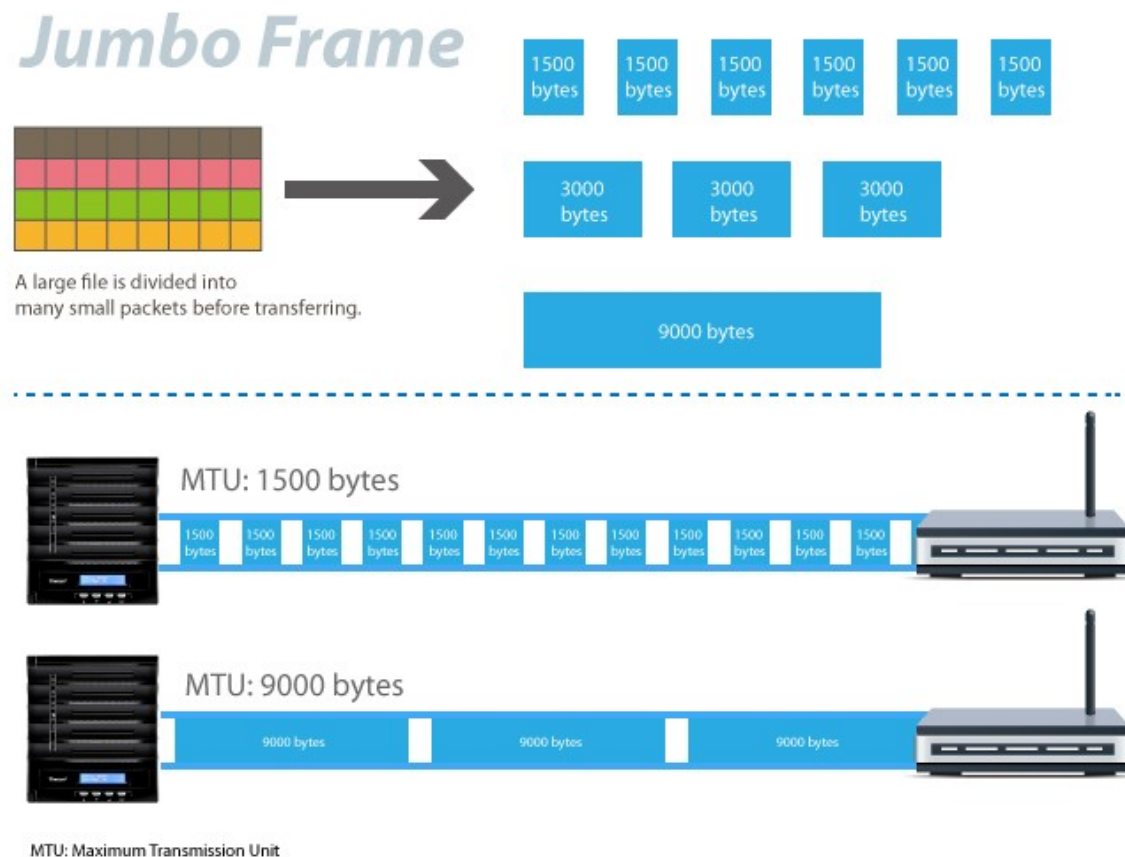
$$MSS = 1500 - 20 - 20$$

$$MSS = 1460$$



MTU – Jumbo Frame

O tamanho do MTU varia de acordo com a tecnologia, e tem por objetivo oferecer a melhor relação custo benefício possível na transferência de dados. Redes Ethernet otimizadas podem ainda usar quadros de 9000 bytes, conhecidos como Jumbo Frame.





MTU *versus* Latência

Latência é a quantidade de tempo necessária para um bit percorrer dois pontos de uma rede. Para calcular a influência do MTU sobre a latência de rede, consideremos o seguinte exemplo:

Suponha que se deseja transportar um quadro de um ponto a outro usando dois tipos de conexão a velocidade de 1Mbps. Qual será a mais rápida?

$$Latência[Eth] = \frac{(MSS + TCP + IP) \times 8 \text{ bits/byte}}{1000000 \text{ bits/s}}$$

$$Latência[Eth] = \frac{(1460 + 20 + 20) \times 8}{1000000}$$

$$Latência[Eth] = 0,012s \text{ ou } 12ms$$

$$Latência[PPP] = \frac{(MSS + TCP + IP) \times 8 \text{ bits/byte}}{1000000 \text{ bits/s}}$$

$$Latência[PPP] = \frac{(536 + 20 + 20) \times 8}{1000000}$$

$$Latência[PPP] = 0,0046s \text{ ou } \boxed{4,6ms}$$



MTU *versus* Taxa de transferência

Taxa de transferência é a quantidade de dados transmitida por unidade de tempo. Para calcular a influência do MTU sobre a taxa de transferência, consideremos o seguinte exemplo:

Suponha que se deseja transportar um arquivo de 1 MB de tamanho de um ponto a outro usando dois tipos de conexão a velocidade de 1 Mbps. Qual levará menos tempo?

$$Pacotes[Eth] = \frac{1 \text{ MB}}{MSS} = \frac{1048576}{1460} = 719 \text{ pacotes}$$

$$Tempo \text{ Transf. } [Eth] = Pacotes \times Latência$$

$$Tempo \text{ Transf. } [Eth] = 719 \times 0,012$$

$$Tempo \text{ Transf. } [Eth] = 8,628 \text{ s}$$

$$Pacotes[PPP] = \frac{1 \text{ MB}}{MSS} = \frac{1048576}{536} = 1957 \text{ pacotes}$$

$$Tempo \text{ Transf. } [PPP] = Pacotes \times Latência$$

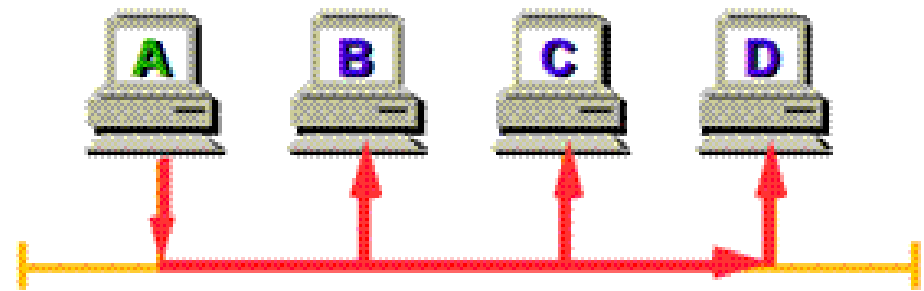
$$Tempo \text{ Transf. } [PPP] = 1957 \times 0,0046$$

$$Tempo \text{ Transf. } [PPP] = 9,018 \text{ s}$$



Acesso ao meio

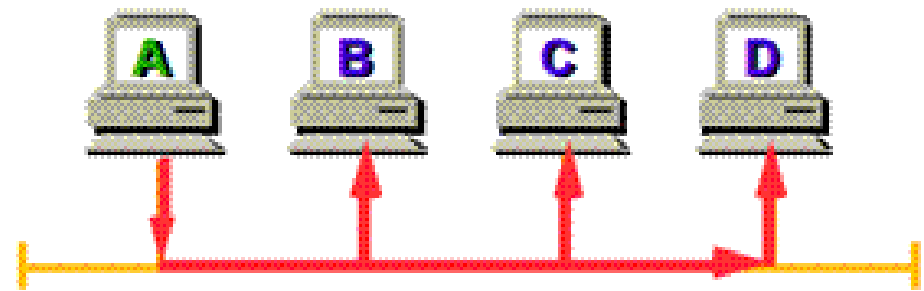
- Quando uma máquina quer enviar uma mensagem para outra máquina, ela cria um quadro contendo os endereços de destino e origem e os dados a serem enviados, e então transmite este quadro pelo meio físico da rede.
- Todas as máquinas receberão o quadro, mas somente a máquina destinatária irá processá-lo. As demais máquinas o descartarão.





Acesso ao meio

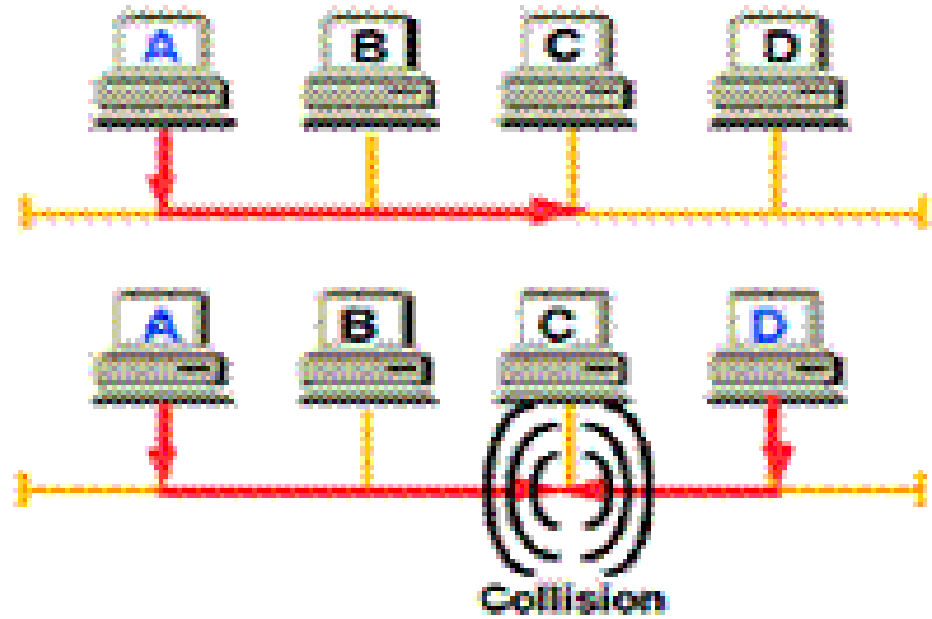
- Antes que a máquina possa transmitir, ela fica “ouvindo” a rede para ver se não há outra máquina enviando dados. Se o meio físico estiver livre, então a máquina transmite.
- Se o meio físico estiver ocupado, a máquina então aguarda até que o mesmo seja liberado.





Acesso ao meio - colisão

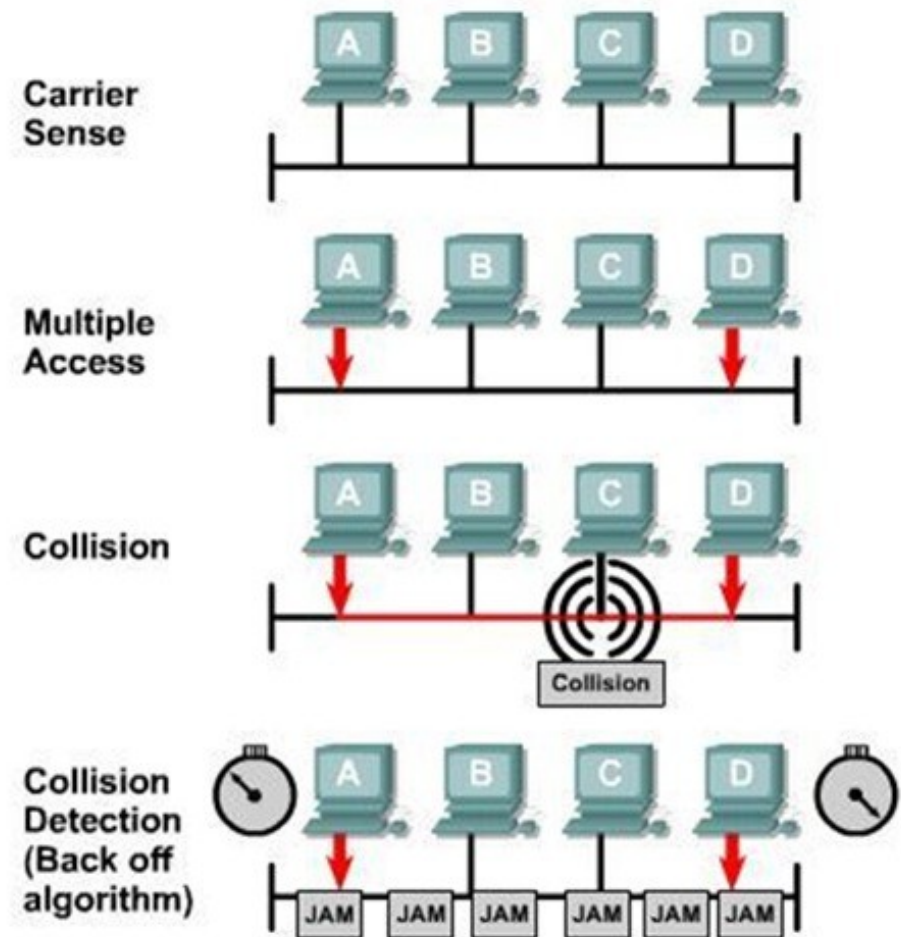
- Quando duas ou mais máquinas enviarem uma mensagem ao mesmo tempo, acontece o que chamamos de colisão. Quando ocorre uma colisão, a transmissão de dados é interrompida.





Acesso ao meio - CSMA/CD

- Para garantir que todas as máquinas possam ocupar o meio físico para transmitir mensagens, foi criado o protocolo CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*).
- Neste protocolo, quando uma colisão é detectada, as máquinas abortam a transmissão e esperam um tempo aleatório para tentar retransmitir.





Para saber mais...

- ... acesse o material online do curso Introduction to Computer Networks, do Prof. Cheng-Yuan Hsieh, da Knowledge Systems Institute, Estados Unidos.
- ... acesse o material online Como funciona a Ethernet?, do HowStuffWorks.

Módulo 5

Camada física



Introdução

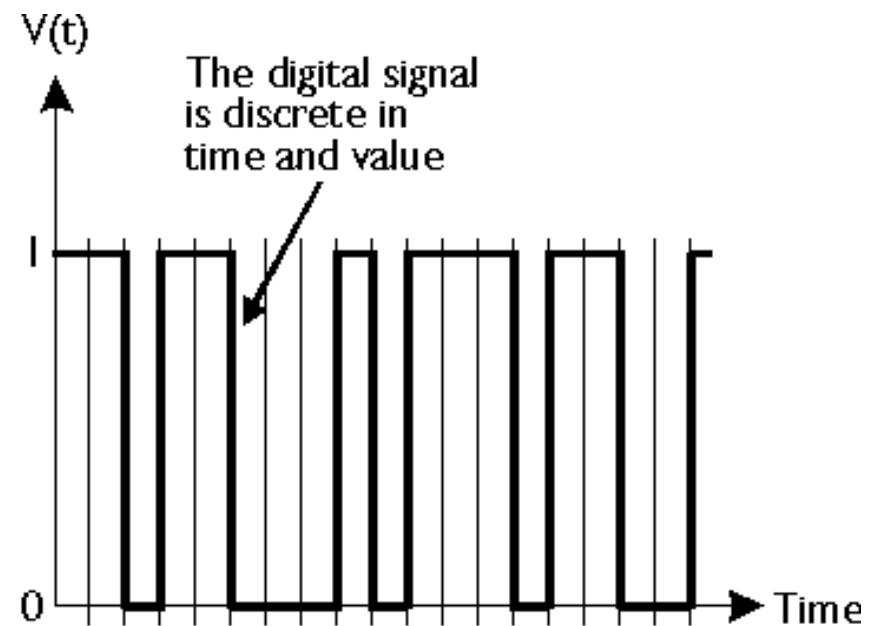
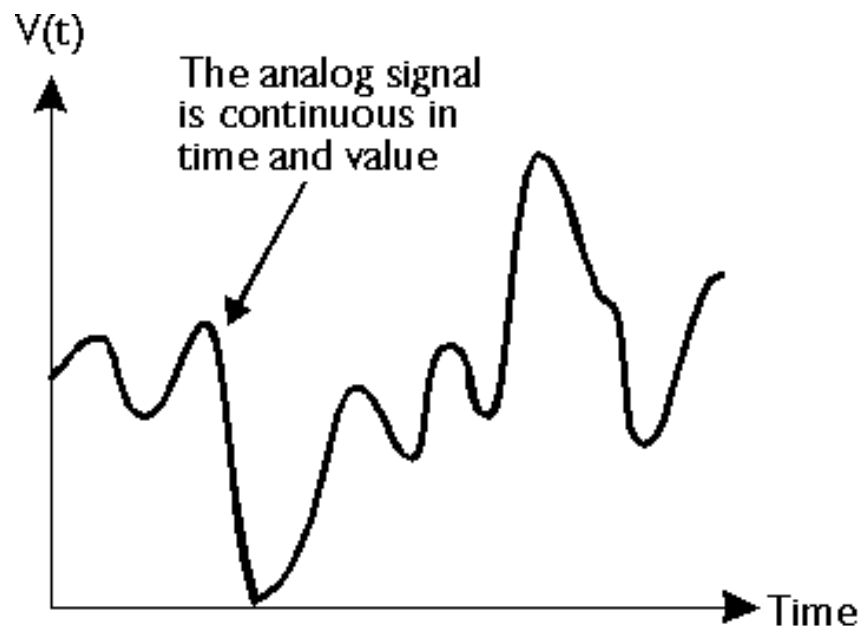
A camada física lida com a transmissão pura e simples de um fluxo bruto de bits sobre um meio físico guiado ou não guiado. Como meio físico guiado temos os cabos elétricos e as fibras óticas, e como meio físico não guiado temos a comunicação via sinais de radiofrequência.

Além disso, a camada física define as características físicas, elétricas e mecânicas de fios, cabos, conectores e equipamentos de transmissão e recepção em geral.



Tipos de sinais

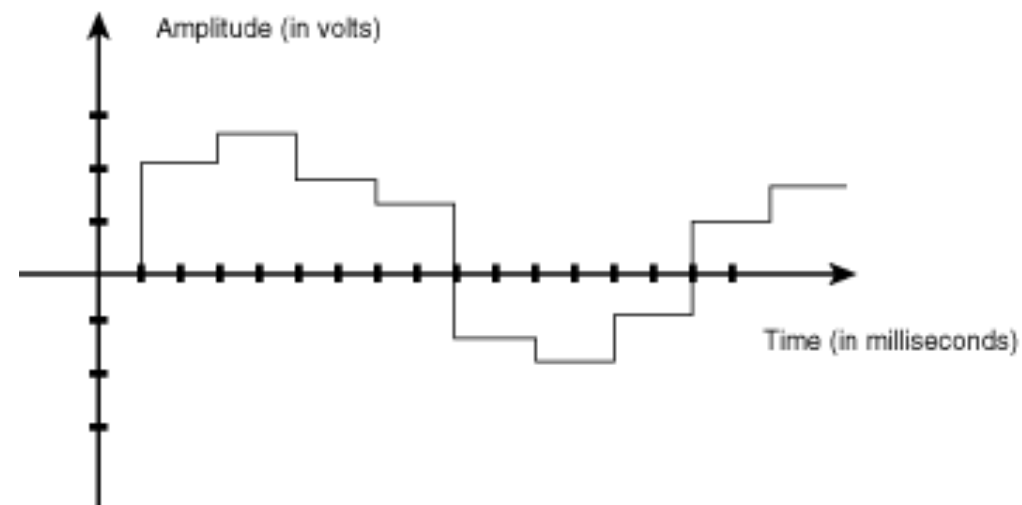
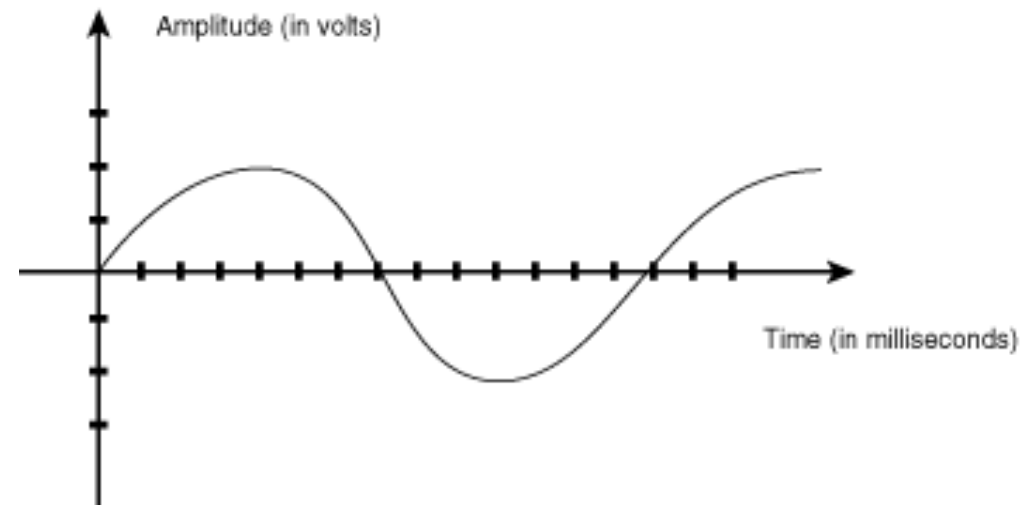
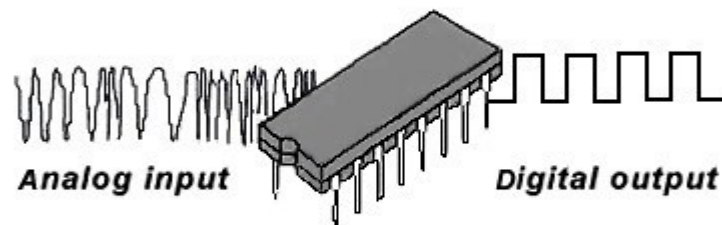
Os sinais elétricos usados para representar as informações de voz ou dados podem ser do tipo analógico ou digital. No sistema analógico existe uma variação contínua de frequência e amplitude, enquanto que no sistema digital a frequência e a amplitude são fixas. O sistema de telefonia tradicional usa sinalização analógica, enquanto as redes de computadores modernas usam sinalização digital.





Sinal analógico vs. digital

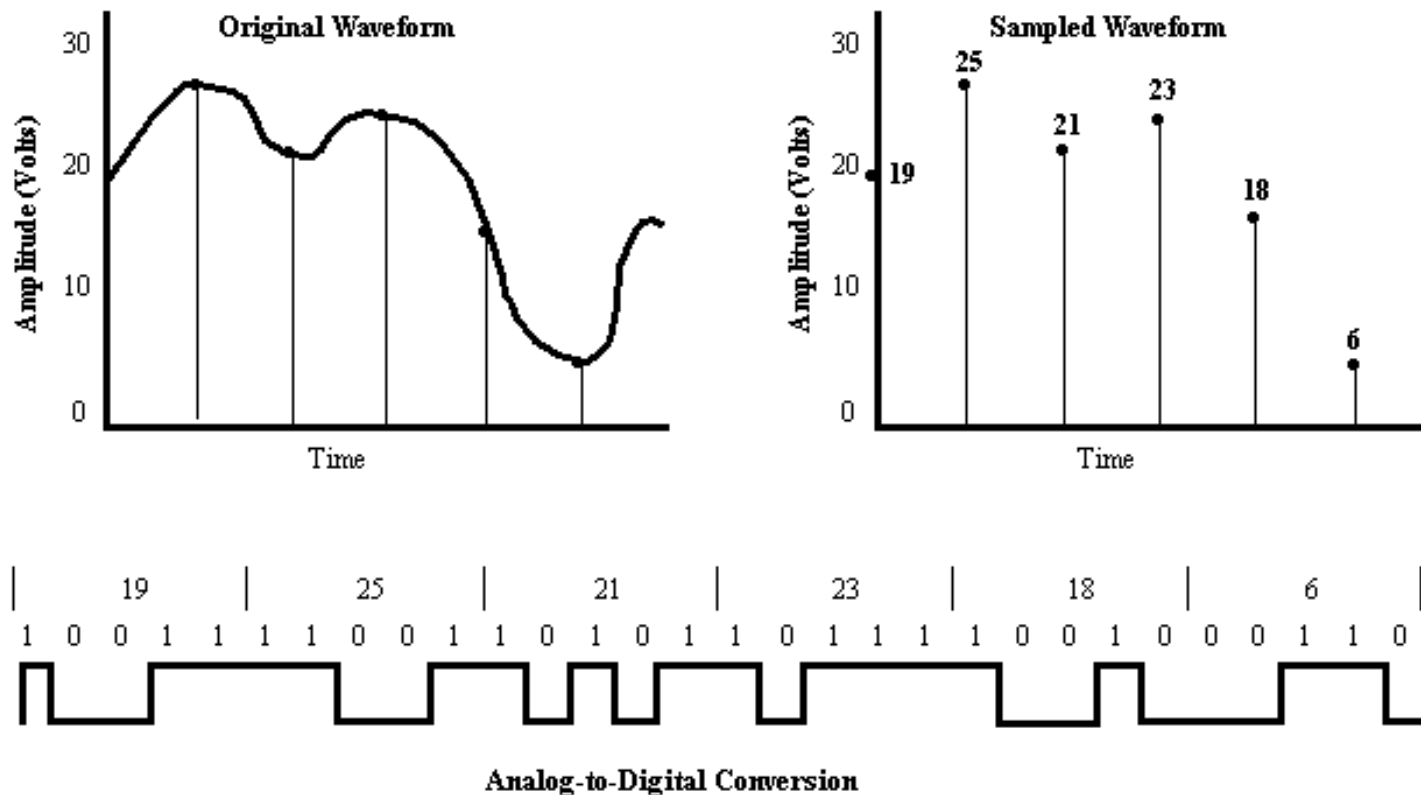
Todo sinal analógico pode ser convertido em sinal digital. Mas isso não ocorre sem que alguma fração da informação contida no sinal original seja perdida na conversão.





Conversão analógico digital

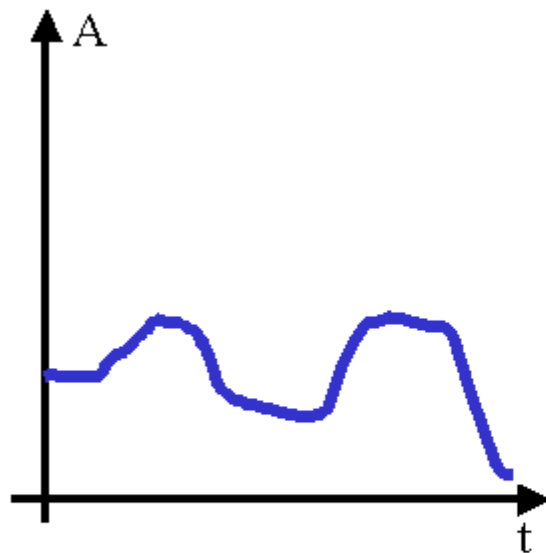
Para se fazer a conversão de um sinal analógico para o sinal digital, tomam-se amostras em intervalos de tempo regulares, que são então convertidas em uma escala numérica que pode ser representada tanto no sistema decimal quanto no sistema binário.



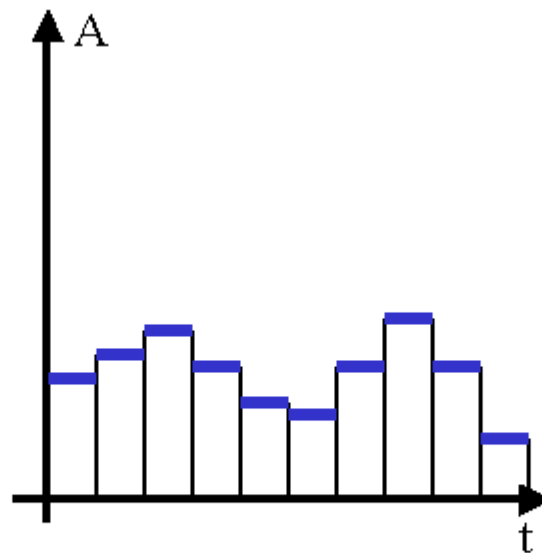


Conversão analógico digital

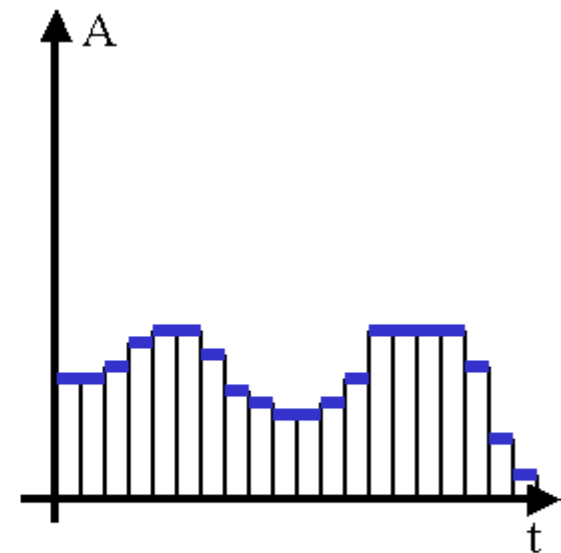
Uma forma de preservar com a maior precisão possível o sinal analógico original durante a conversão é aumentando o número de amostras do sinal digital convertido.



Analog signal –
continuously varying



Digital signal – large
time divisions



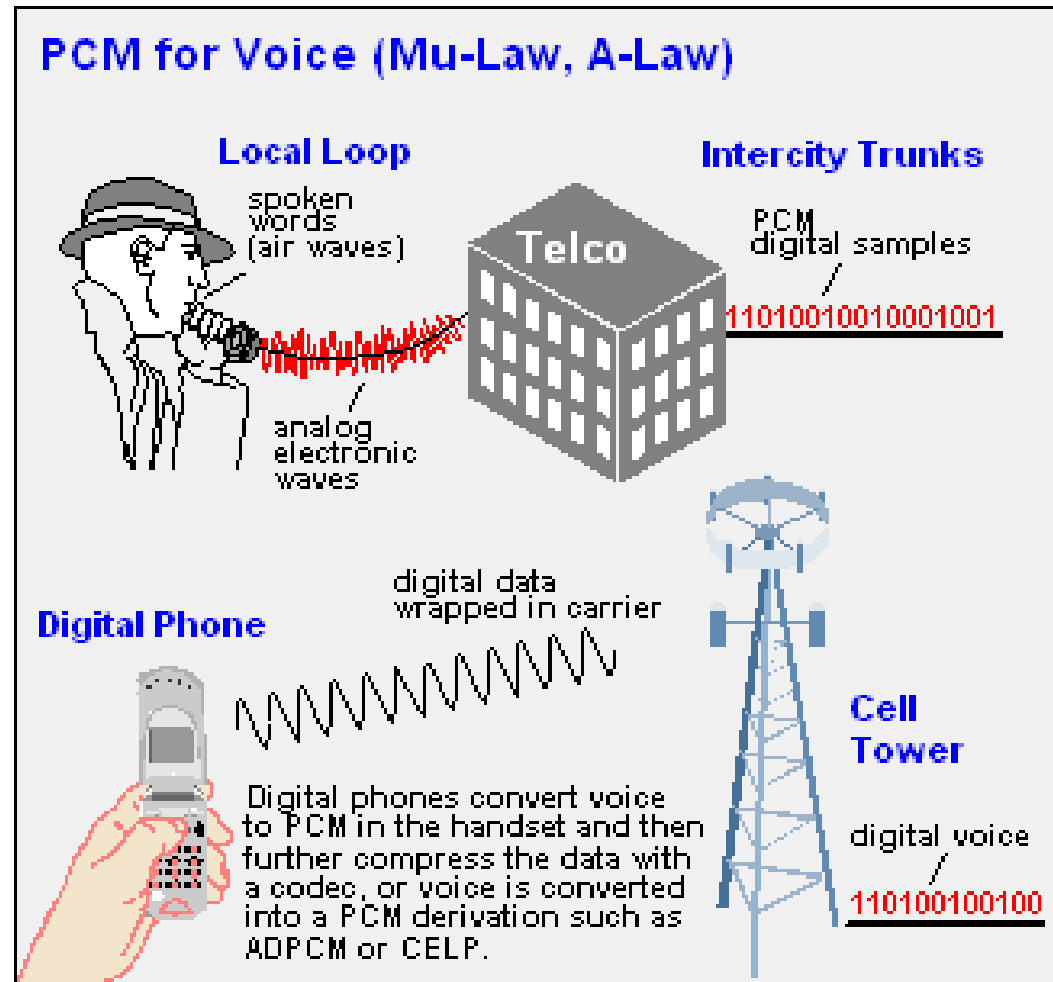
Digital signal – small
time divisions



Sinais - aplicação

Na telefonia fixa, de modo geral, a comunicação entre o aparelho telefônico do usuário e a central de comutação usa sinalização analógica, enquanto que a comunicação entre as centrais de comutação usam sinalização digital.

Na telefonia móvel, o aparelho celular converte a voz (analógica) em sinal digital que é transmitido para a antena por meio de modulação de sinais de radiofrequência.

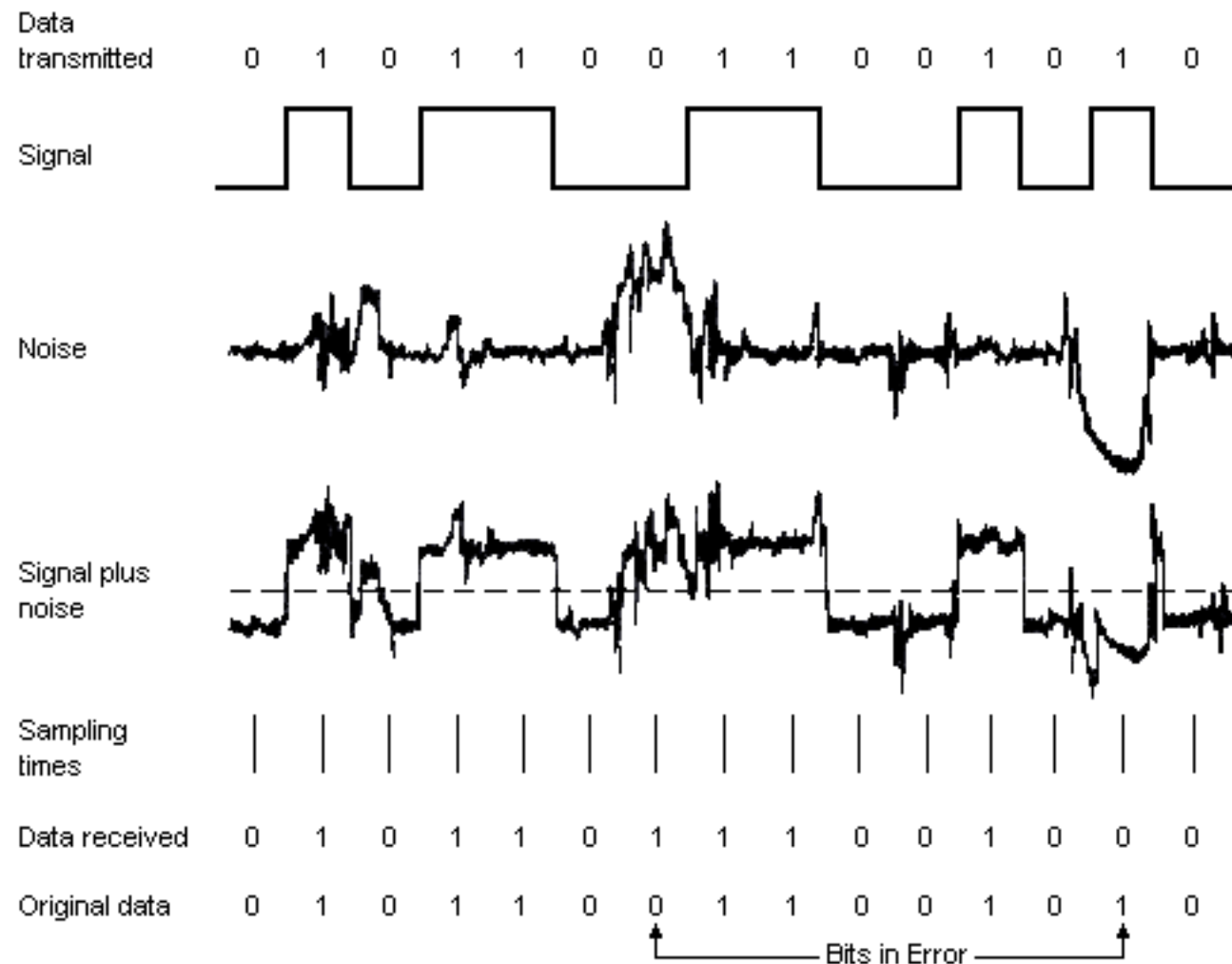


From Computer Desktop Encyclopedia
© 2005 The Computer Language Co. Inc.



Distorção de sinal

Quando um sinal digital é transmitido sobre um meio físico, este está sujeito a interferências, que podem alterar o sinal original de modo que ele chegue corrompido ao destinatário.





Distorção de sinal

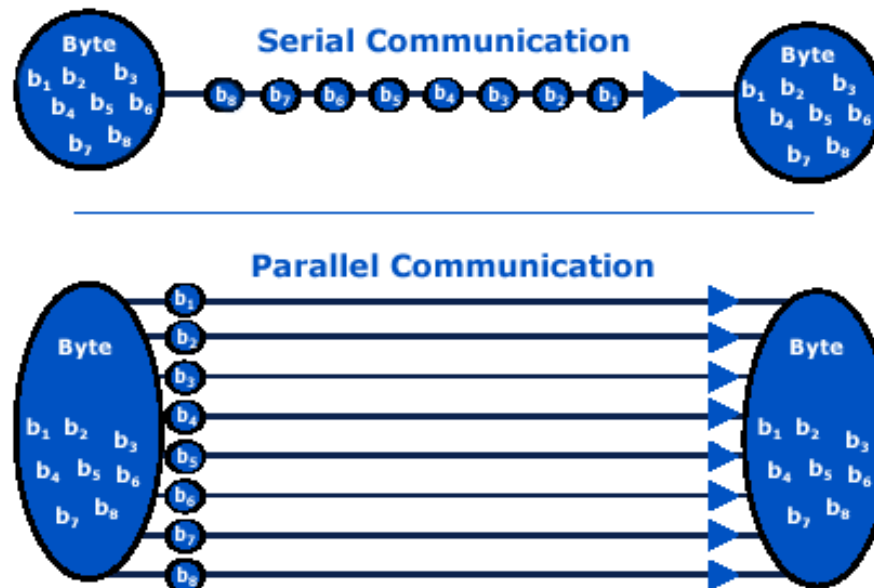
As interferências podem ocorrer devido aos seguintes motivos:

- Ruído térmico – quando cargas elétricas em movimento ao longo de uma linha de transmissão geram calor;
- Intermodulação – interferência causada por sinais de frequências diferentes em sistemas não lineares;
- Linha cruzada ou *crosstalk* – quando sinais de circuitos ou canais diferentes se misturam ou interferem entre si;
- Atenuação – quando um sinal vai perdendo potência ao longo de uma linha de transmissão;
- Eco – reflexão do sinal em uma linha de transmissão.



Modos de transmissão

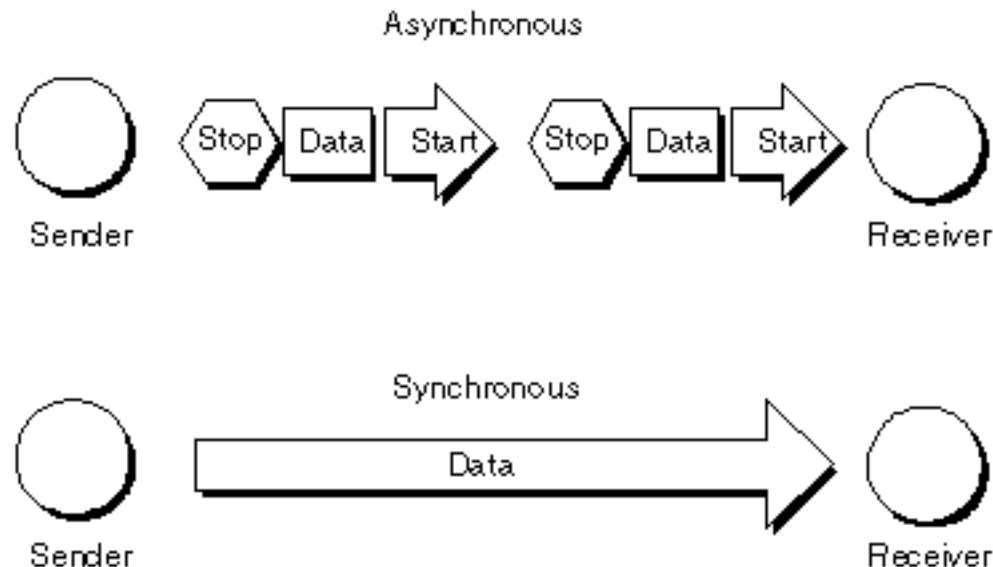
- Serial: nos canais de transmissão serial, os bits que compõem um símbolo são transmitidos um a um sequencialmente. É mais comum em canais de transmissão de longa distância. Exemplos: RS-232, USB, Fibre Channel, SATA, SAS, entre outros.
- Paralela: nos canais de transmissão paralela, os bits que compõem um símbolo são transmitidos simultaneamente de uma só vez. É mais comum em canais de transmissão de curta distância. Exemplos: ISA, IDE/ATA, SCSI, PCI, entre outros.





Ritmos de transmissão

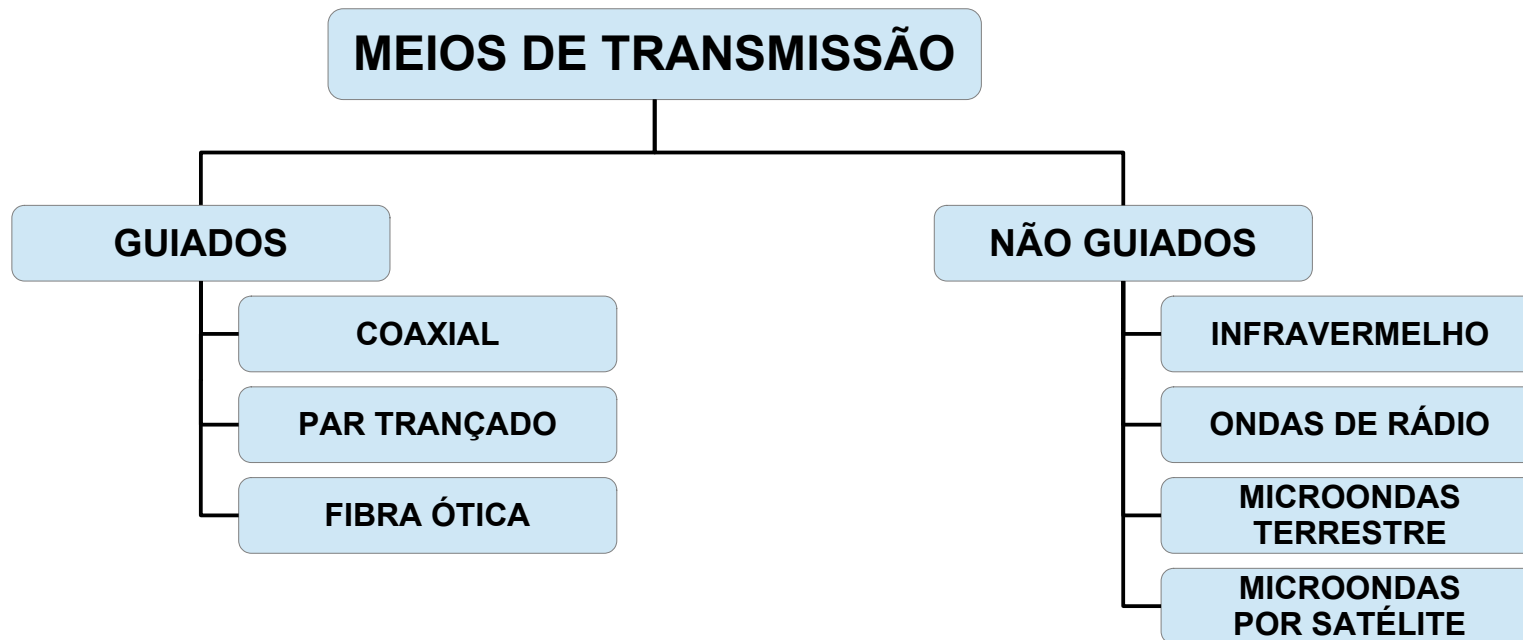
- Assíncrono: na comunicação assíncrona, tanto o emissor quanto o receptor não usam um sinal de sincronismo comum. Neste ritmo de transmissão, cada bloco de dados é delimitado por um conjunto de bits que indicam o início e o final do bloco. Isso faz com que a taxa de transferência possa ser variável.
- Síncrono: na comunicação síncrona, tanto o emissor quanto o receptor usam um sinal de sincronismo comum. Neste ritmo de transmissão, o início da transmissão de dados é sincronizada e o restante da transmissão segue um fluxo contínuo e constante.





Meios de transmissão

Os meios de transmissão podem ser de dois tipos: guiados e não guiados. O meios de transmissão guiados sempre usarão um meio físico que confina o sinal em seu interior. Já os meios de transmissão não guiados usam a atmosfera para propagar o sinal.





Cabo coaxial

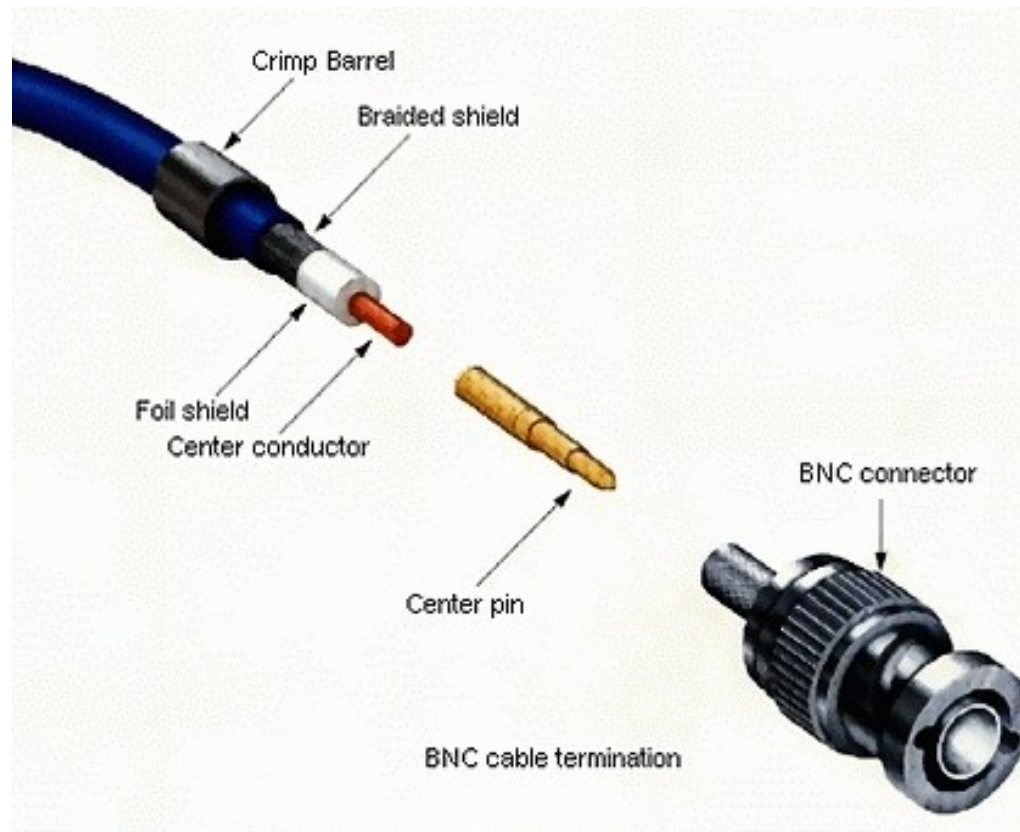
O cabo coaxial é um tipo de cabo condutor revestido por material isolante e envolto em uma blindagem, com o objetivo de transmitir sinais analógicos ou digitais. A velocidade máxima suportada é de 20 Mbps. Dependendo do tipo de cabo, cada segmento pode ter de 185 a 500 metros. Usado em redes Ethernet 10BASE-2 e 10BASE-5.





Cabo coaxial - conectores

As pontas de um cabo coaxial são conectadas a um conector do tipo BNC, também conhecido como conector *Bayonet Neill-Concelman*, que leva este nome devido a seus projetistas Paul Neill e Carl Concelman.

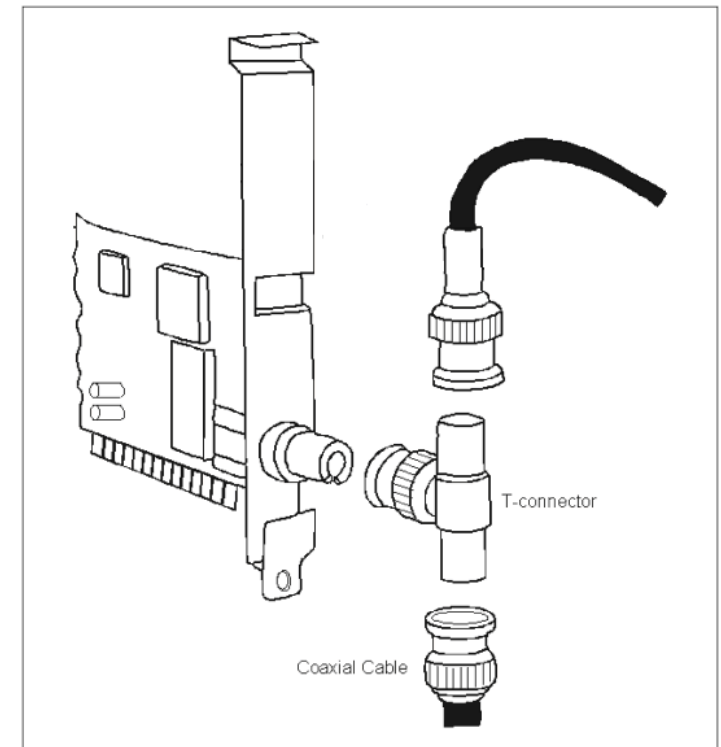




Cabo coaxial - placa de rede

Placas de rede compatíveis com cabos coaxiais possuem um conector BNC tipo fêmea, onde é encaixado um outro conector BNC do tipo “T”.

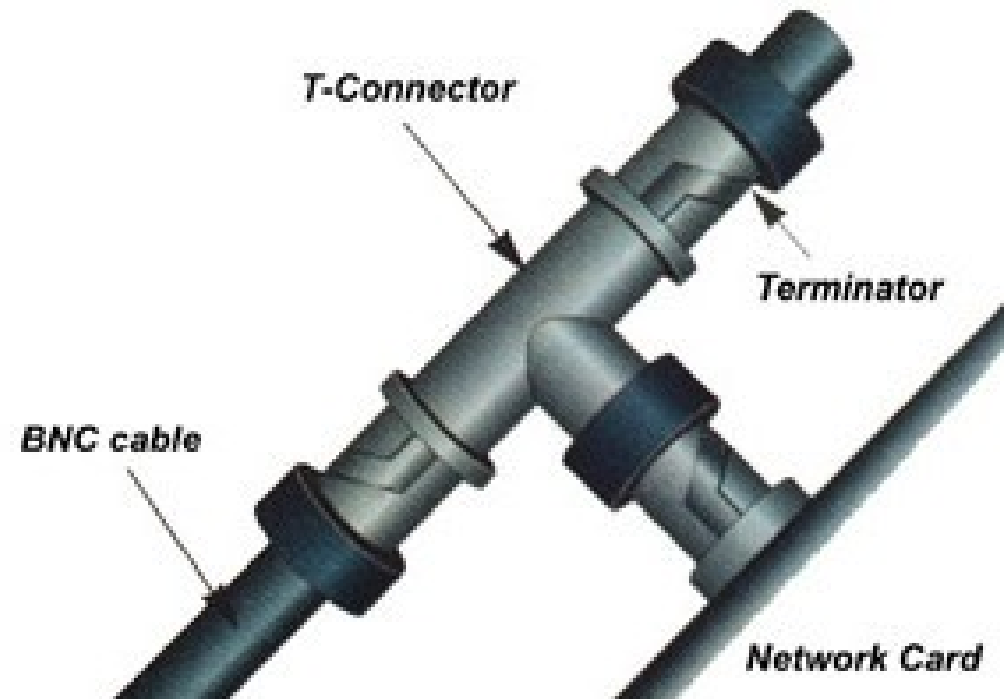
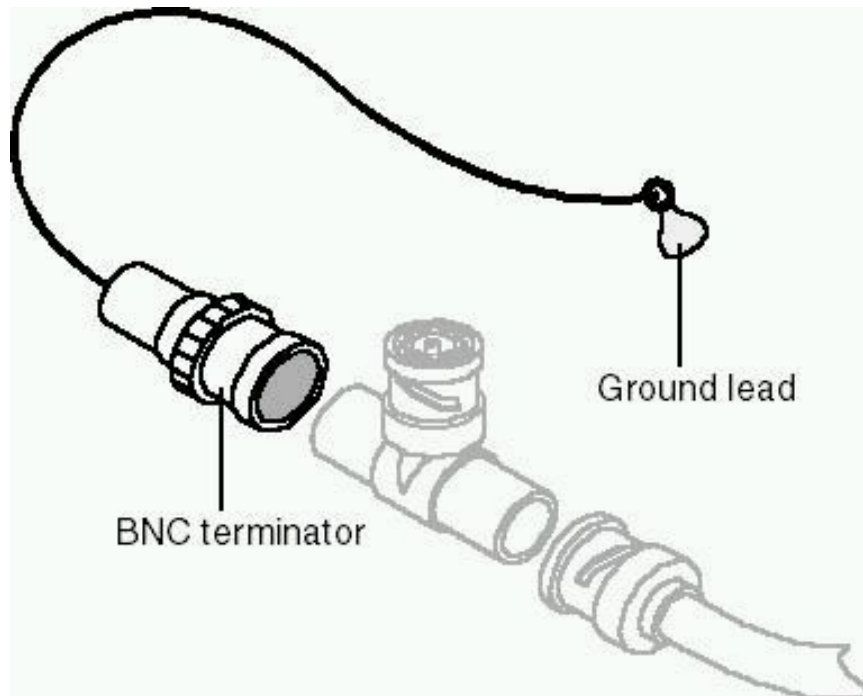
OBSERVAÇÃO: nunca se deve conectar um cabo coaxial diretamente à placa de rede. Deve-se sempre usar o conector “T”.





Cabo coaxial - terminador

No início e ao final de cada segmento de rede, deve-se sempre instalar um terminador junto ao conector “T”. Este terminador nada mais é que uma resistência de 50 ohms que serve para impedir a reflexão do sinal no canal de transmissão, também conhecimo como eco. Pelo menos uma das pontas deverá ser aterrada.





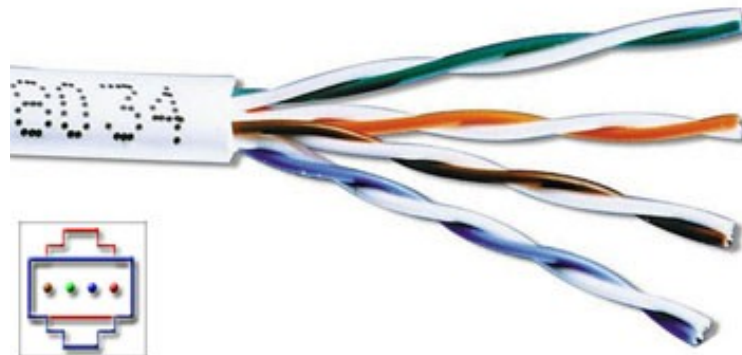
Cabo par trançado

O cabo par trançado possui quatro pares de fios metálicos enrolados entre si com o objetivo de cancelar as interferências eletromagnéticas e as linhas cruzadas (*crosstalk*). Pode ser do tipo blindado (STP) ou não blindado (UTP).

Shielded twisted pair (STP)



Unshielded twisted pair (UTP)





Cabo par trançado - categorias

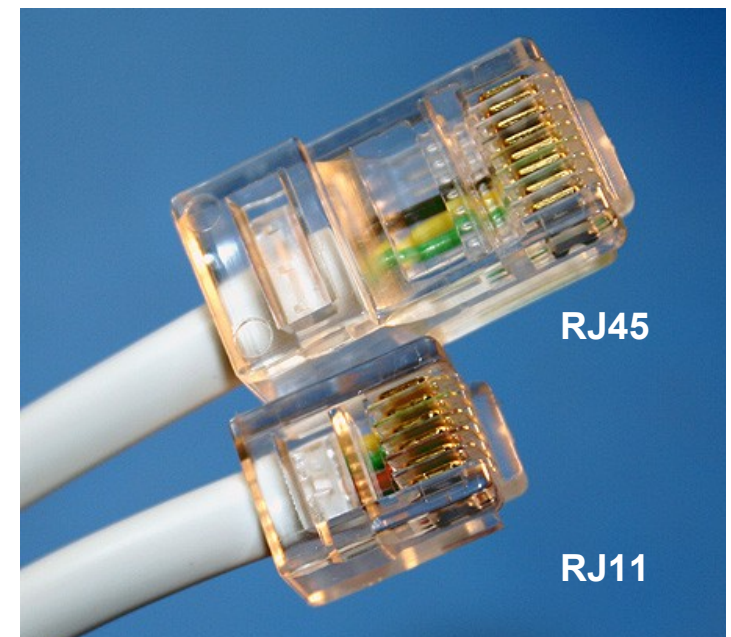
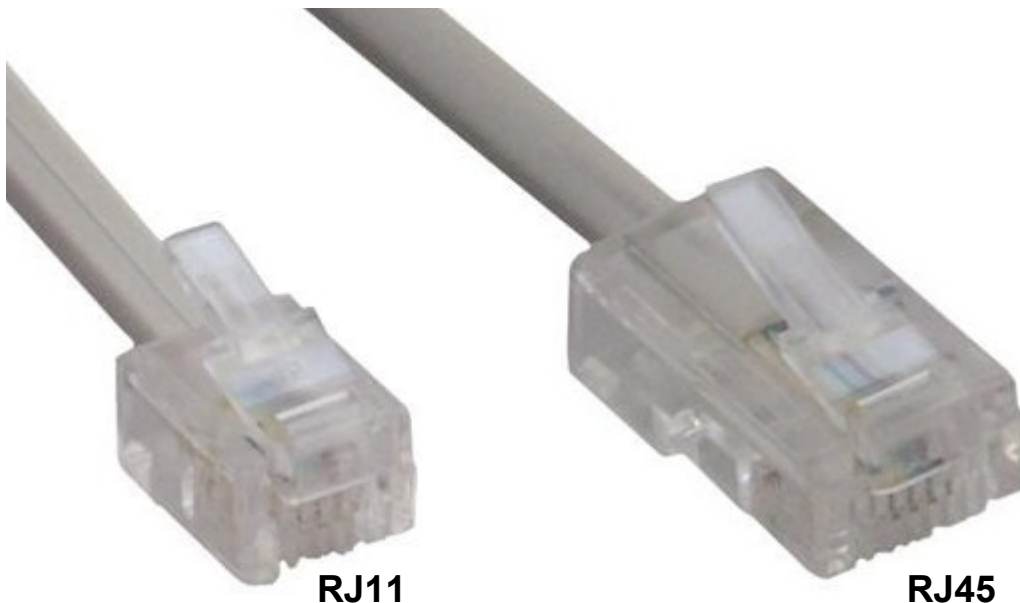
O cabo par trançado segue as especificações da norma ANSI/TIA/EIA-568-B, produzida em conjunto pela *American National Standards Institute* (ANSI), *Telecommunications Industry Association* (TIA) e pela *Electronic Industries Alliance* (EIA).

CATEGORIA	VELOCIDADE	APLICAÇÃO	STATUS
CAT1	1 Mbps	Telefonia e primeiras redes de comunicação.	Obsoleto
CAT2	4 Mbps	Usado nas primeiras redes da IBM.	Obsoleto
CAT3	16 Mbps	Voz e dados para redes Ethernet 10BASE-T	Recomendado
CAT4	20 Mbps	Usado nas redes Token Ring de 16 Mbps da IBM.	Obsoleto
CAT5	100 Mbps (2 pares)	Usado nas redes Ethernet 100BASE-T (Fast Ethernet)	Obsoleto
CAT5e	100 Mbps (2 pares) 1 Gbps (4 pares)	Usado nas redes Ethernet 100BASE-T (Fast Ethernet) e Ethernet 1000BASE-T (Gigabit Ethernet)	Recomendado
CAT6	1 Gbps (4 pares)	Usado nas redes Ethernet 1000BASE-T (Gigabit Ethernet)	Recomendado
CAT6a	10 Gbps	Voz e dados para redes Ethernet 10GBASE-T	Futuro
CAT7	40 Gbps	Voz e dados para redes Ethernet 40GBASE-T	Futuro



Cabo par trançado - conectores

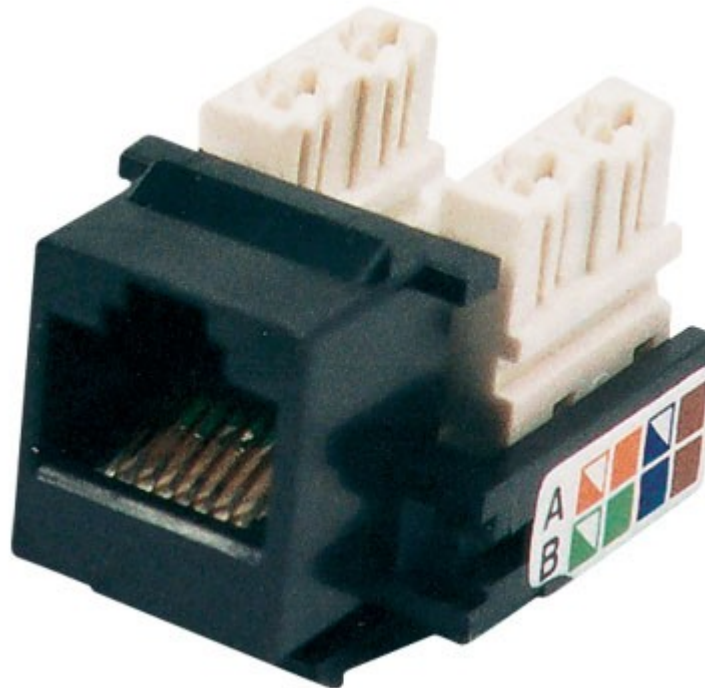
Os conectores mais comuns são conhecidos como RJ11 e RJ45. O primeiro é descrito como 6P4C (seis posições, quatro contatos), e o segundo é descrito como 8P8C (oito posições, oito contatos). O conector RJ11 é crimpado em cabos telefônicos planos e é usado em terminais telefônicos, enquanto que o conector RJ45 é crimpado em cabos de par trançado e é usado em conexões de rede.





Cabo par trançado – RJ45 socket

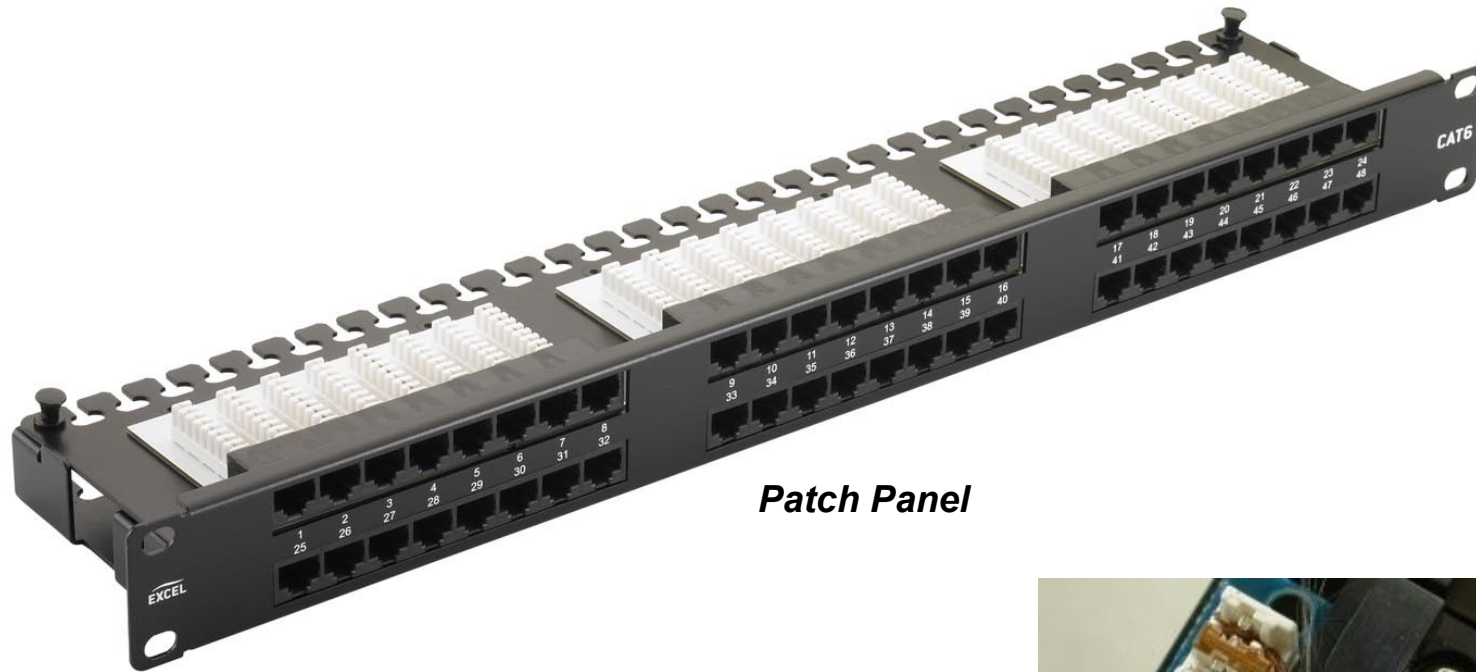
Os conectores do tipo fêmea para cabos par trançado podem ser do tipo individual ou em blocos, conhecidos por *patch panel*.



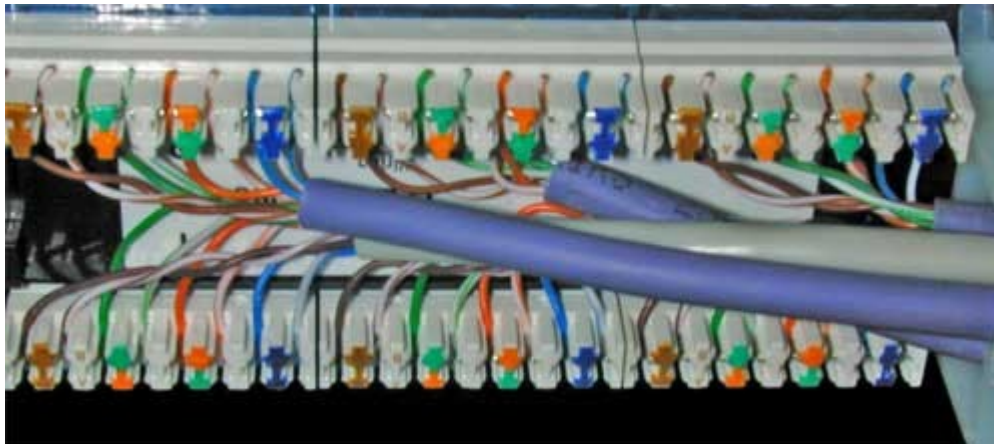
RJ45 socket



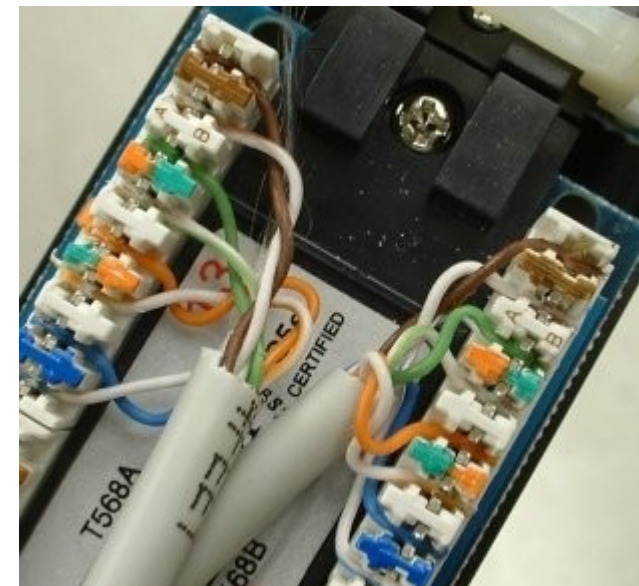
Cabo par trançado - *patch panel*



Patch Panel



Vista traseira

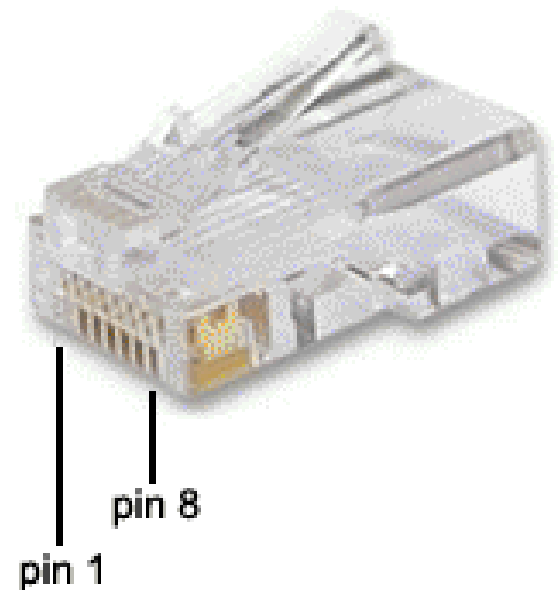
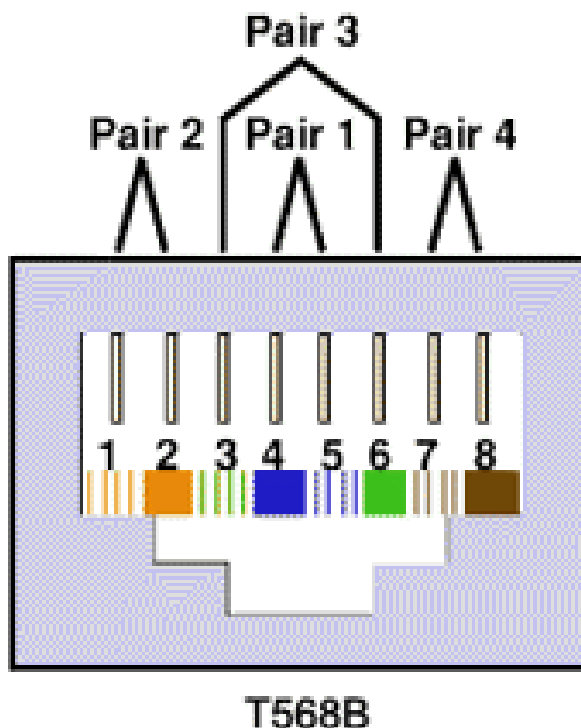
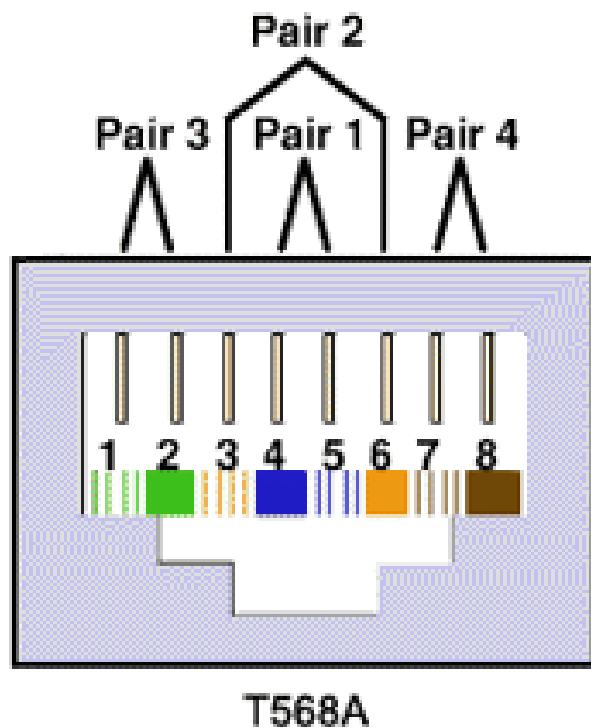


Detalhe



Cabo par trançado - crimpagem

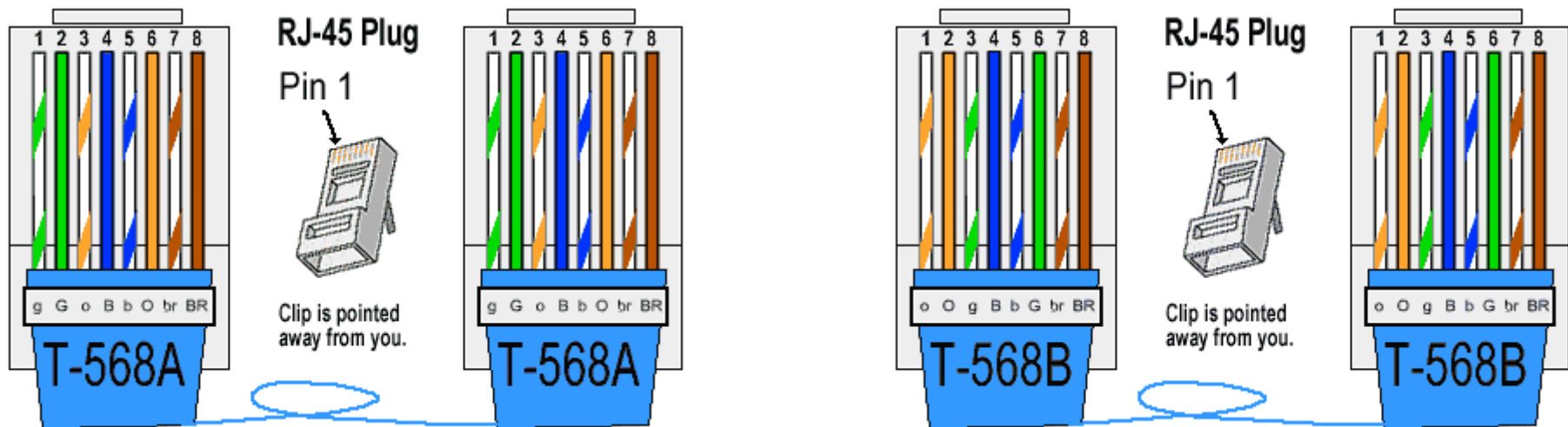
Para crimpar os conectores RJ45 nos cabos de par trançado, usam-se dois padrões de sequência de cores: o T568A e o T568B. Pode-se usar qualquer um dos padrões. O primeiro é mais antigo, e o segundo surgiu com a norma ANSI/TIA/EIA-568-B mais recente.





Cabo par trançado - cabo direto

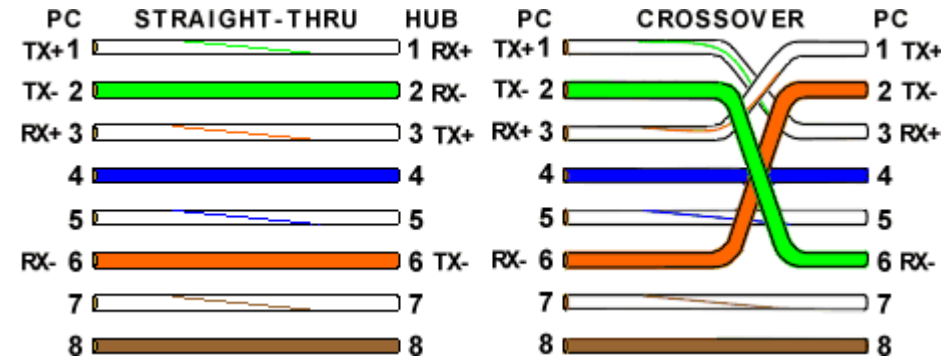
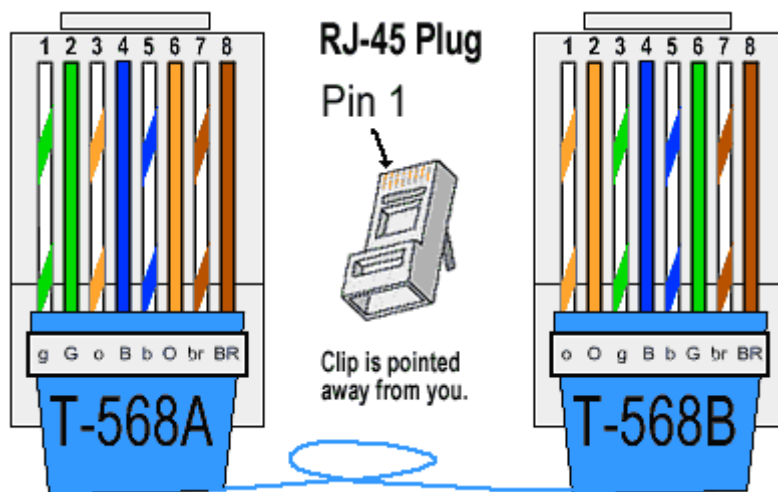
Quando se crimpa um cabo de par trançado com o mesmo padrão nas duas pontas, temos o que se chama de cabo direto. Um cabo direto deve ser usado quando se deseja conectar um computador a um *hub* ou *switch*. Para cascadear *hubs* e *switchs* usando-se um cabo direto, os mesmos devem possuir portas MDI-X (*Medium Dependent Interface*).





Cabo par trançado - cabo *crossover*

Quando se crimpa um cabo de par trançado com um padrão diferente em cada ponta, temos o que se chama de cabo *crossover*. Um cabo *crossover* deve ser usado quando se deseja conectar dois computadores diretamente sem o uso de um *hub* ou *switch*. Para cascatear *hubs* e *switchs* usando-se um cabo *crossover*, não é necessário que os mesmos possuam portas MDI-X (*Medium Dependent Interface*).

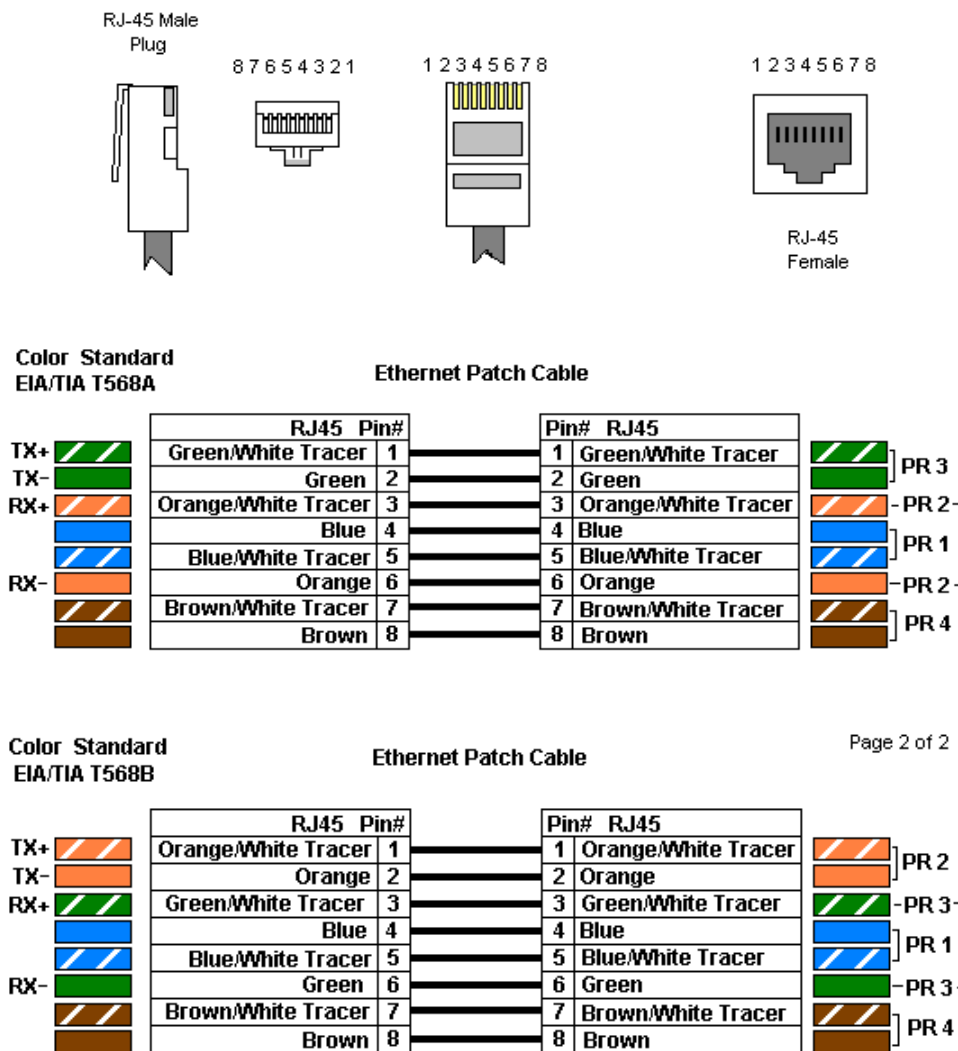




Cabo par trançado - 10/100 Mbps

Para criar um cabo par trançado direto que suporte a velocidade de 10 ou 100 Mbps, basta escolher um dos dois padrões, T568A ou T568B, e crimpar as duas pontas do cabo.

Para criar um cabo par trançado *crossover* que suporte a velocidade de 10 ou 100 Mbps, basta usar um padrão diferente em cada ponta do cabo, ou seja, usa-se o padrão T568A numa ponta e o padrão T568B na outra ponta.

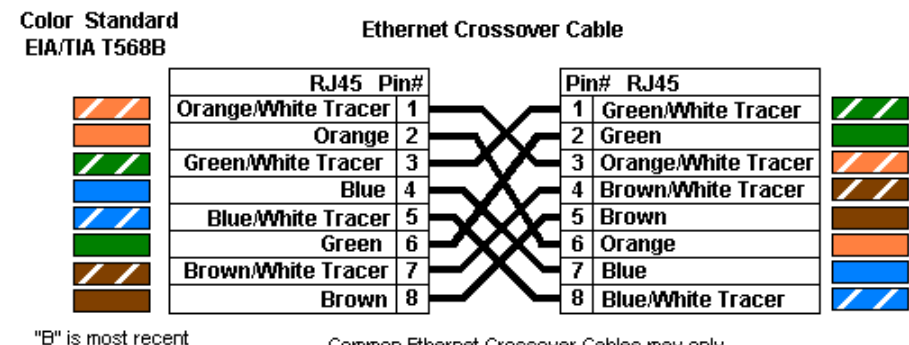
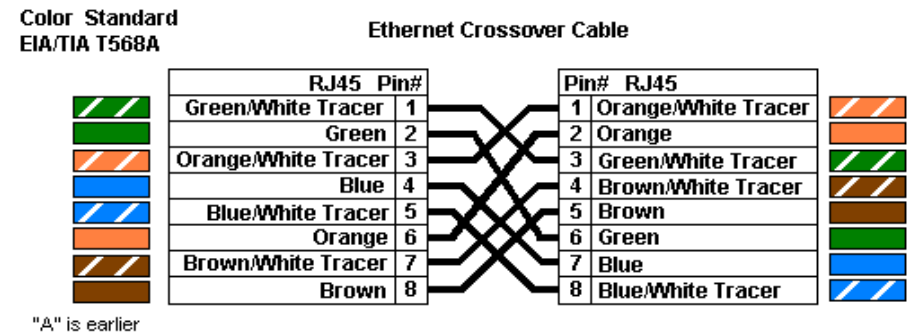
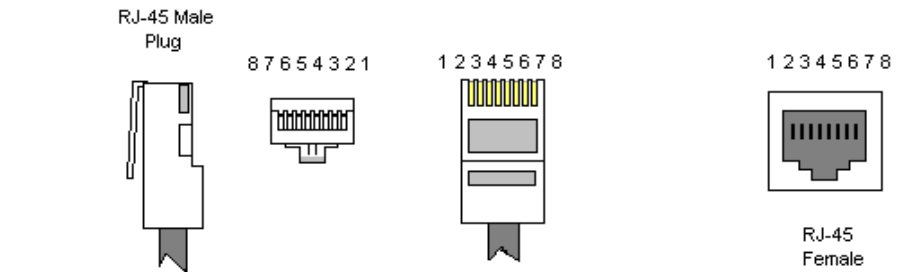




Cabo par trançado - 1 Gbps

Para criar um cabo par trançado direto que suporte a velocidade de 1 Gbps, basta escolher um dos dois padrões, T568A ou T568B, e crimpar as duas pontas do cabo.

Para criar um cabo par trançado *crossover* que suporte a velocidade de 1 Gbps, basta escolher um dos dois padrões, T568A ou T568B, e crimpar as duas pontas conforme o esquema de cores ao lado.



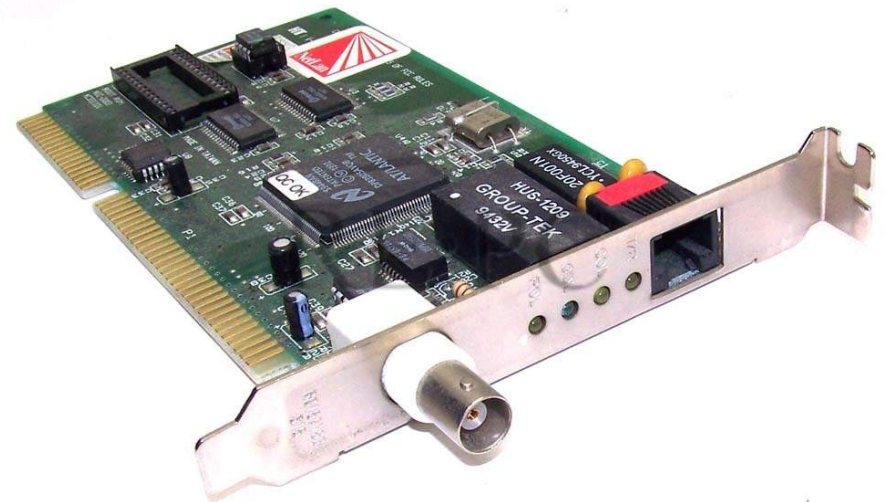
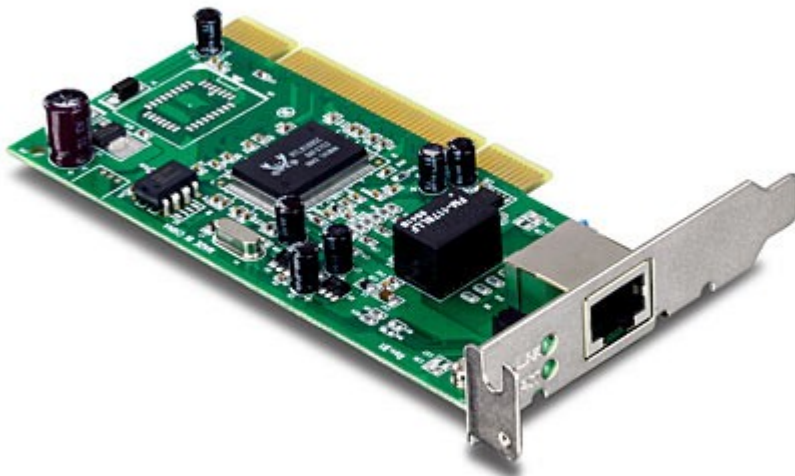
Common Ethernet Crossover Cables may only cross connect the Orange & Green pairs



Cabo par trançado - placa de rede

As placas de rede para cabos par trançado possuem um conector RJ45 fêmea e luzes que indicam a velocidade de transmissão e a conectividade.

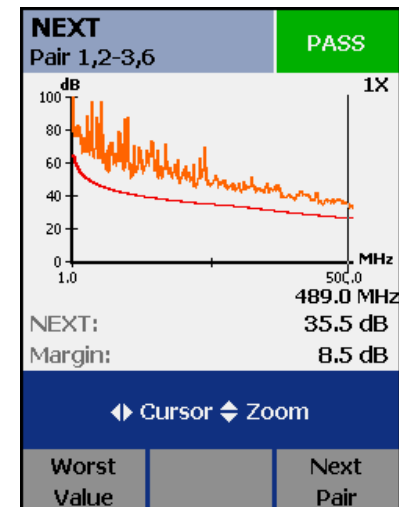
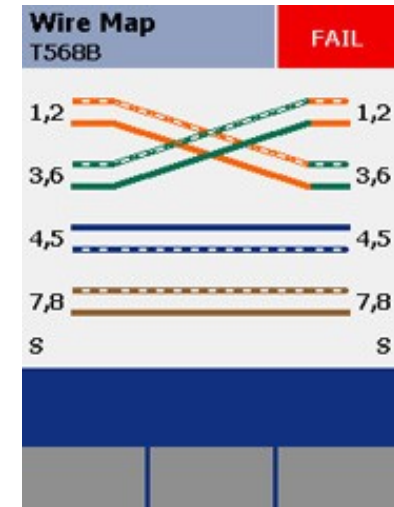
No período de transição entre as redes que usavam cabos coaxiais para as redes de par trançado, era comum encontrar placas de rede que suportavam os dois tipos de cabos.





Analizador de cabos

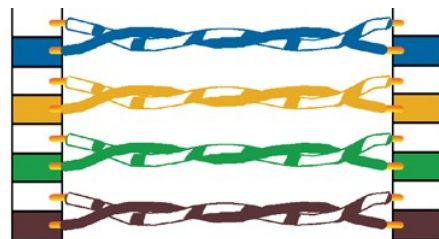
O Analisador de Cabo é um instrumento capaz de executar medições precisas em enlaces de rede com o objetivo de determinar, entre outras coisas, se a sequencia de cores em um cabo UTP está correta e se há perda e falha nos cabos.



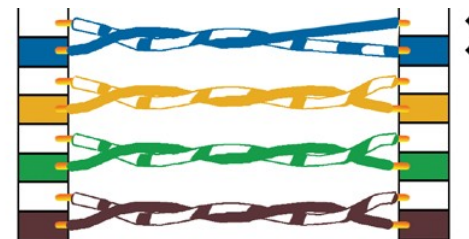


Analizador de cabos - medidas

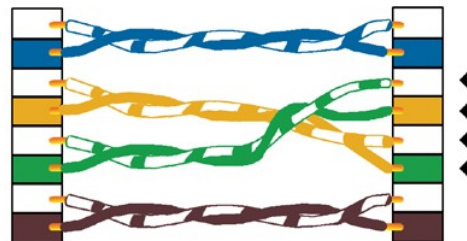
O **mapa de fios** (wiremap) é usado para identificar erros de terminação nos cabos UTP. Para cada um dos 8 condutores no cabo, o mapa do fio deve indicar: (1) terminação de pino adequada em cada extremidade; (2) continuidade até o fim remoto; (3) curto circuito entre dois ou mais condutores; (4) pares transpostos (cruzados ou invertidos); (5) pares em curto e quaisquer outros erros de conexão.



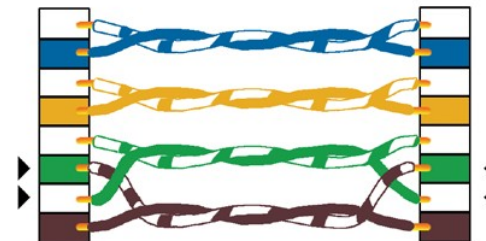
CORRECT



REVERSED



CROSSED



SPLIT

Fonte: www.megger.com

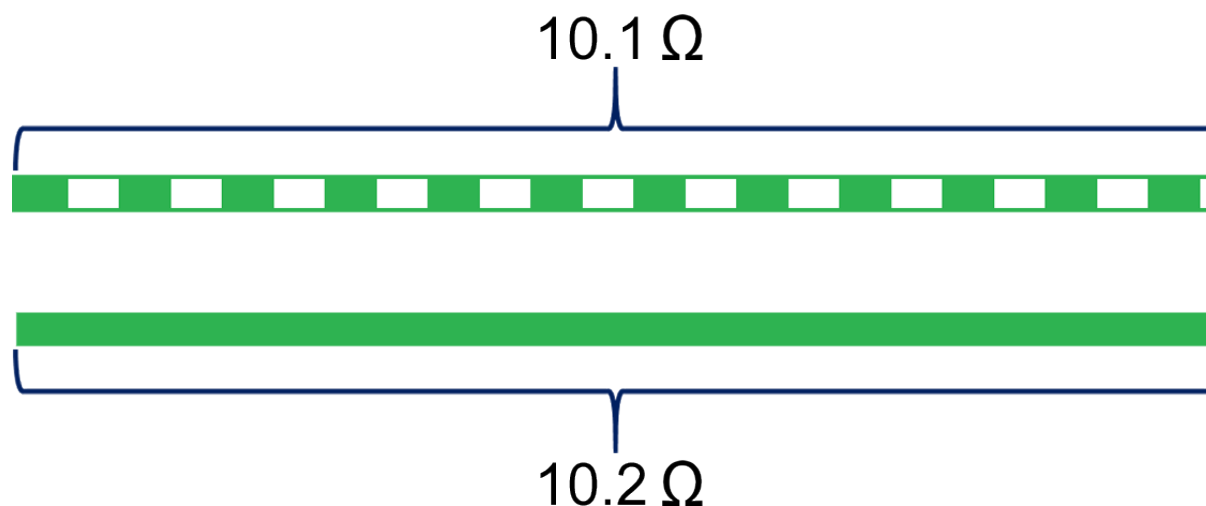


Analizador de cabos - medidas

O **loop resistance** é a resistência total medida através de dois condutores em *loop* em uma extremidade do enlace.

Isso geralmente ocorre uma função do diâmetro do condutor e varia apenas com a distância.

As vezes, essa medição é feita apenas para garantir que não haja conexões grosseiras que possam adicionar resistência significativa ao enlace.



Fonte: www.megger.com



Analizador de cabos - medidas

O **comprimento** é definido como a distância física do cabo, e deve corresponder ao comprimento derivado das marcações de distância comumente encontradas na capa externa do cabo.

O comprimento físico contrasta com o comprimento elétrico ou helicoidal, que é o comprimento dos condutores de cobre.

O comprimento físico sempre será um pouco menor que o comprimento elétrico, devido à torção dos condutores.



Fonte: www.megger.com

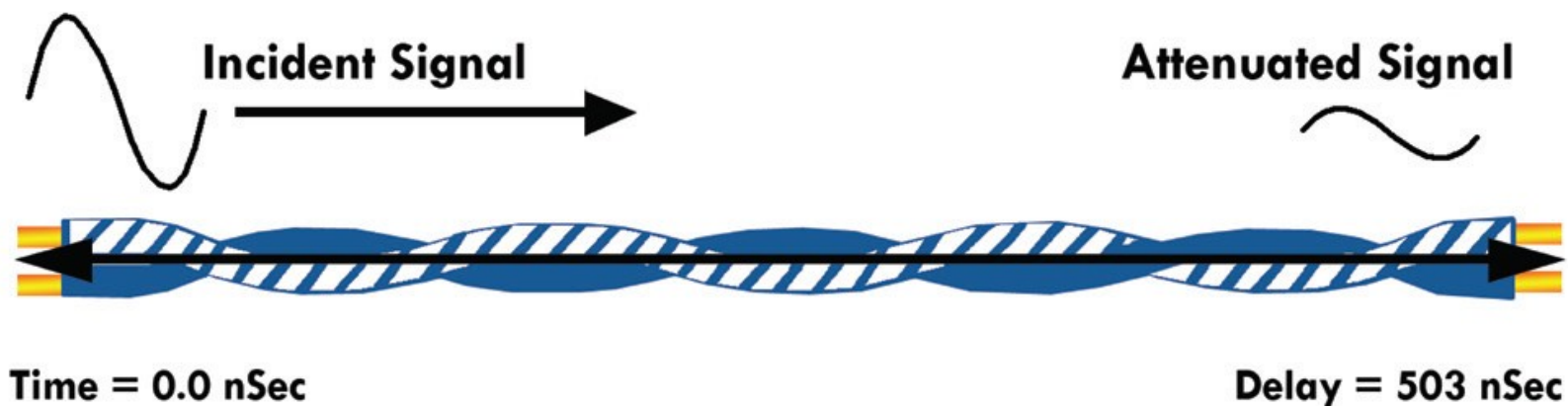


Analizador de cabos - medidas

O **atraso de propagação** (propagation delay) é uma medida do tempo necessário para que um sinal viaje de uma extremidade a outra do cabo.

O atraso típico de cabos UTP categoria 5e é um pouco menor que 5 ns (nanosegundos) por metro, sendo que o pior caso permitido é de 5,7 ns/m.

Um cabo de 100 metros pode ter um atraso como o da figura abaixo.



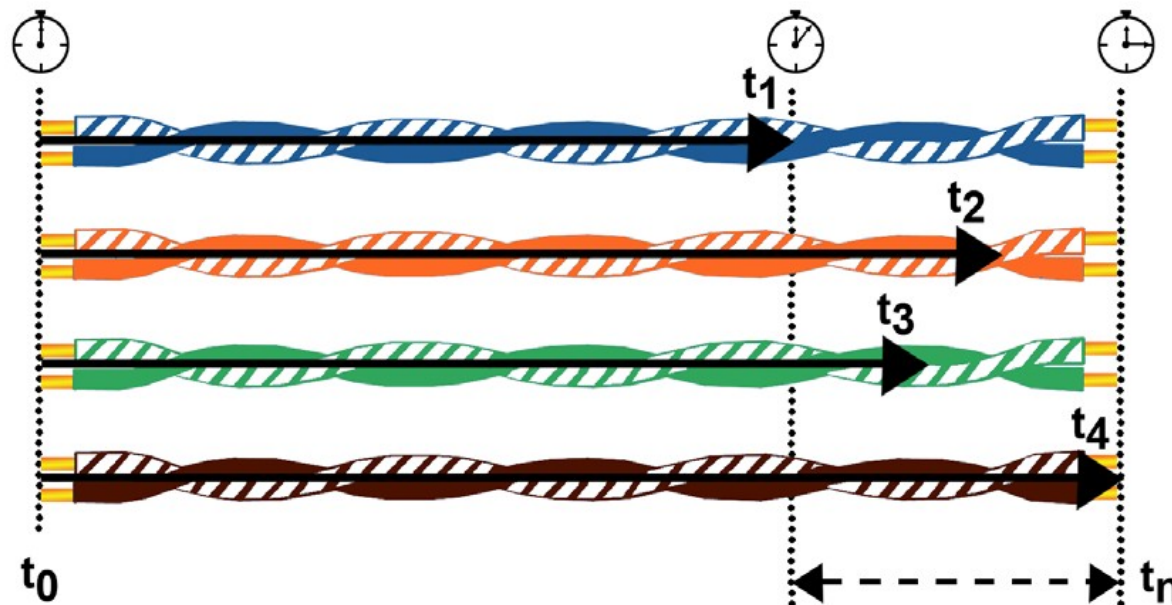
Fonte: www.megger.com



Analizador de cabos - medidas

A **inclinação do atraso de propagação** (delay skew) é a diferença entre o atraso de propagação nos pares mais rápidos e mais lentos de um cabo UTP.

Algumas construções de cabos empregam diferentes tipos de materiais de isolamento em diferentes pares. Esse efeito contribui para taxas de torção únicas por par.

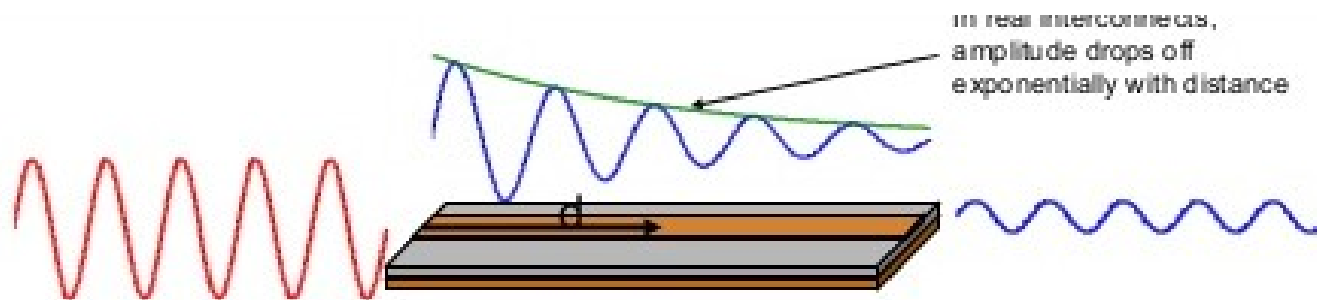


Fonte: www.megger.com



Analizador de cabos - medidas

A **perda de inserção** (insertion loss) ou atenuação* mede a quantidade de energia que é perdida à medida que o sinal chega na extremidade receptora do cabo, ou seja, ela quantifica o efeito da resistência que o enlace oferece à transmissão dos sinais elétricos.



$$V_{\text{out}}(d) = V_{\text{in}} e^{-\alpha_{\text{nepers/len}} d} = V_{\text{in}} 10^{-\frac{\alpha_{\text{dB/len}} d}{20}}$$

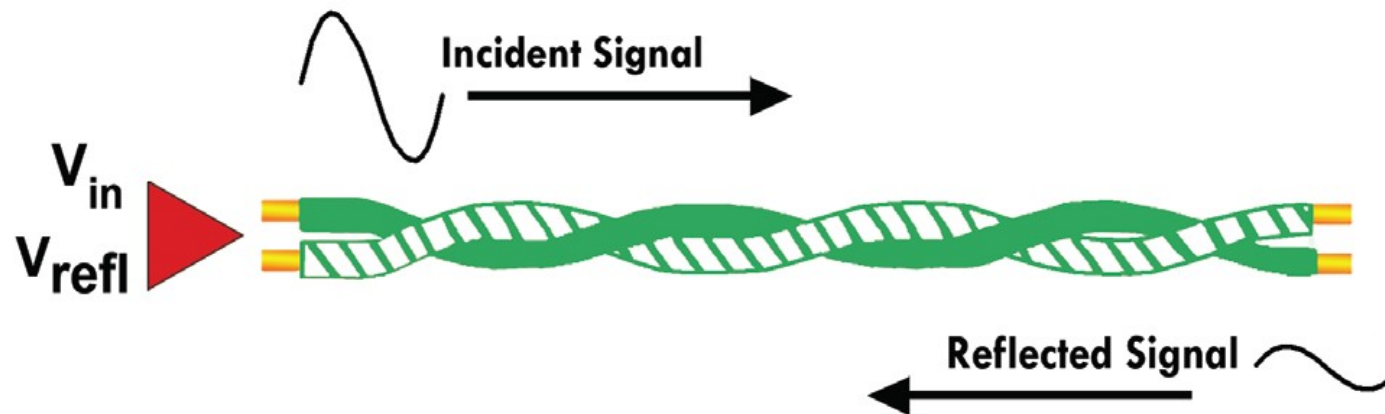


* Mudanças recentes nos padrões usam o termo “perda de inserção” ao invés de atenuação.



Analizador de cabos - medidas

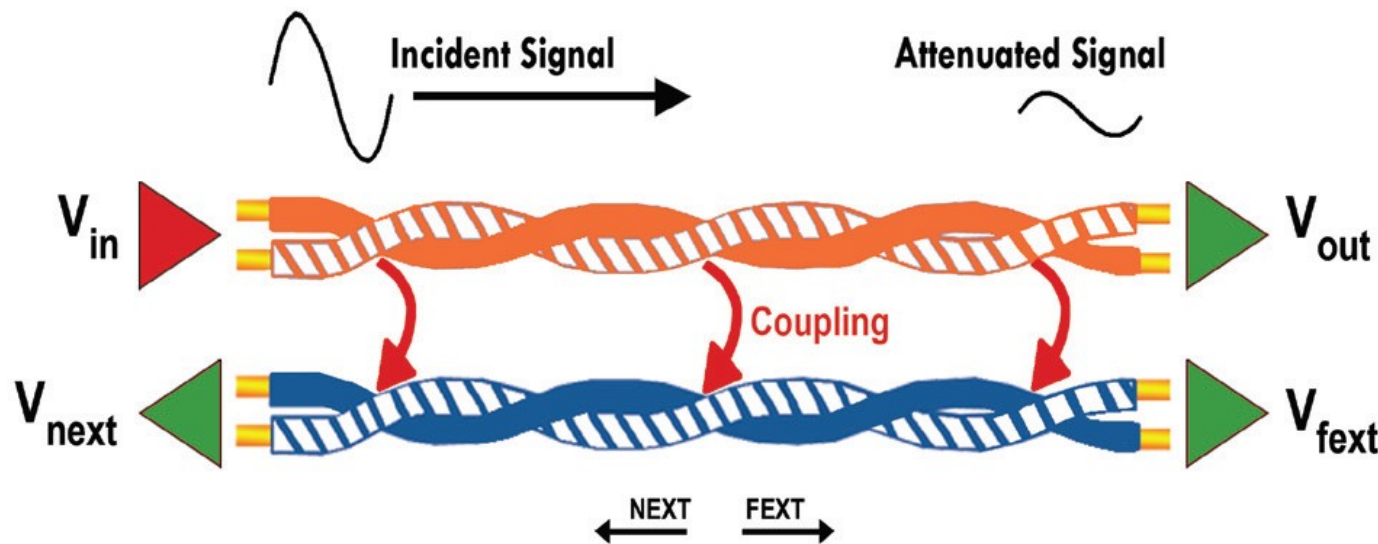
O **return loss** (perda de retorno) é uma medida de todas as reflexões causadas pelas incompatibilidades de impedância em todos os locais ao longo do enlace e é expressa em decibéis (dB).



Fonte: www.megger.com

Analizador de cabos - medidas

A atenuação do tipo **NEXT** (Near End Cross Talk) ocorre quando uma corrente que flui através de um fio cria um campo eletromagnético que pode interferir nos sinais dos fios adjacentes, e a medida que a frequência aumenta, esse efeito se torna mais forte.



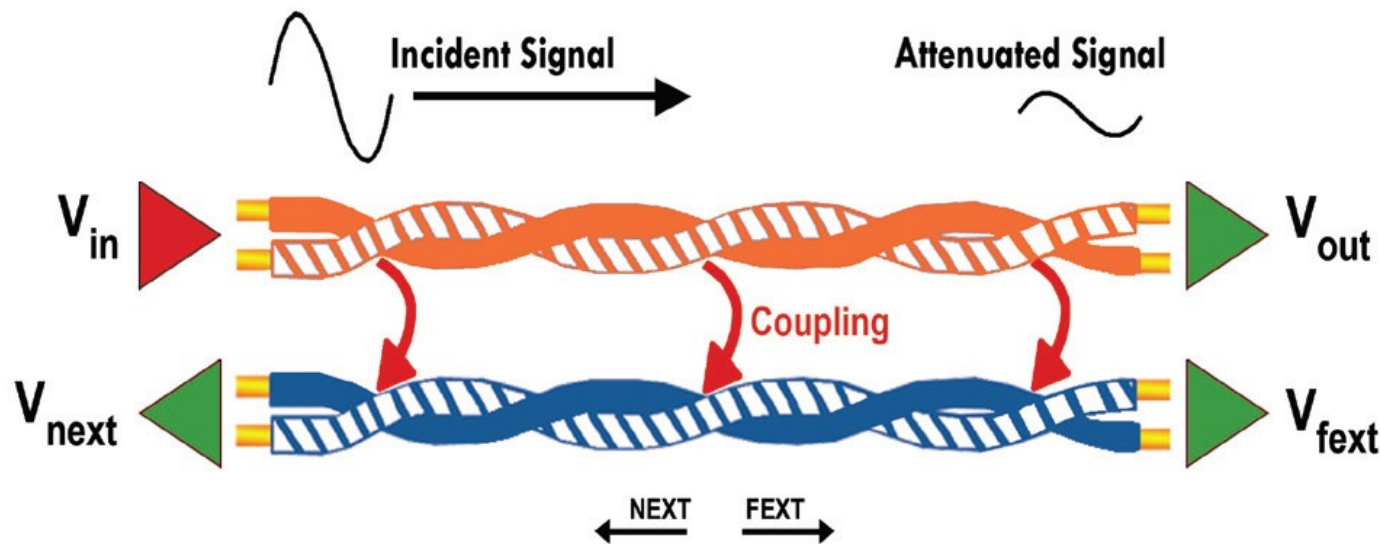
Cada par é torcido para que campos opostos no par de fios se cancelem. Quanto mais apertada a torção, mais eficaz é o cancelamento e maior a taxa de dados suportada pelo cabo.

Fonte: www.megger.com



Analizador de cabos - medidas

A atenuação do tipo **FEXT** (Far End Cross Talk) é semelhante ao NEXT, com a diferença de que o sinal é enviado a partir da extremidade local e a diafonia é medida na extremidade oposta.



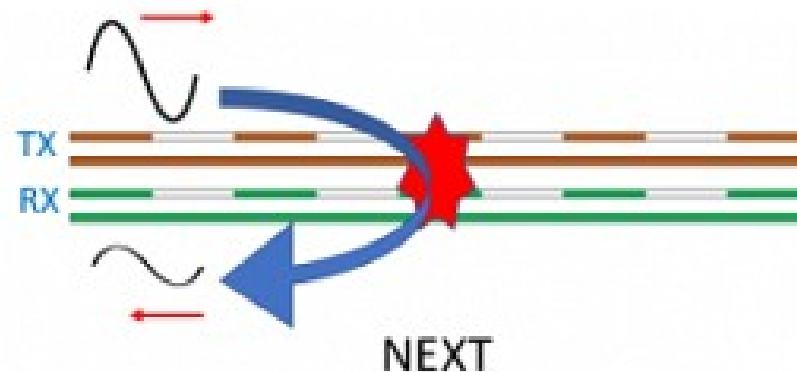


Analizador de cabos - medidas

NEXT vs FEXT

O NEXT mede a diafonia que afeta o RX que está localizado na mesma extremidade do cabo (“extremidade próxima” ou “near end”) em relação ao TX que causou essa diafonia.

Ou seja, o NEXT mede a interferência que um equipamento transmissor causa no cabo e acaba afetando a habilidade do próprio equipamento de entender sinais provenientes da outra extremidade do cabo.



Fonte: www.claritytreinamentos.com.br

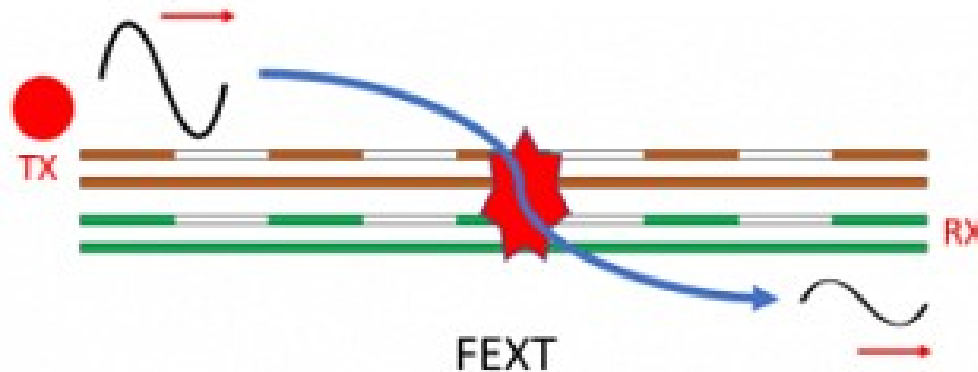


Analizador de cabos - medidas

NEXT vs FEXT

Já o FEXT mede a diafonia que afeta o RX que está localizado na extremidade oposta do cabo (“extremidade distante” ou “far end”) em relação ao TX que causou essa diafonia.

Ou seja, o FEXT mede a interferência que um equipamento transmissor causa no cabo e acaba afetando a habilidade do equipamento oposto de entender seus sinais.

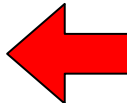




Analizador de cabos - exemplo 1

Neste exemplo, o instalador não está atingindo o nível de desempenho esperado ao certificar seus enlaces categoria 6.

Quando um resultado é marginal, o mesmo é marcado com um asterisco, que significa que as medições estão na faixa de incerteza de precisão do analisador de cabos.



Summary	
TIA Cat 6 Perm. Link	
✓ Wire Map	
i Resistance	
✓ Length	38.3 m
✓ Prop. Delay	
✓ Delay Skew	
✓ Insertion Loss	(17.6 dB)
✓ Return Loss	(3.3 dB)
* NEXT	(0.5 dB)
Highlight item, Press ENTER	
Page Up	Page Down



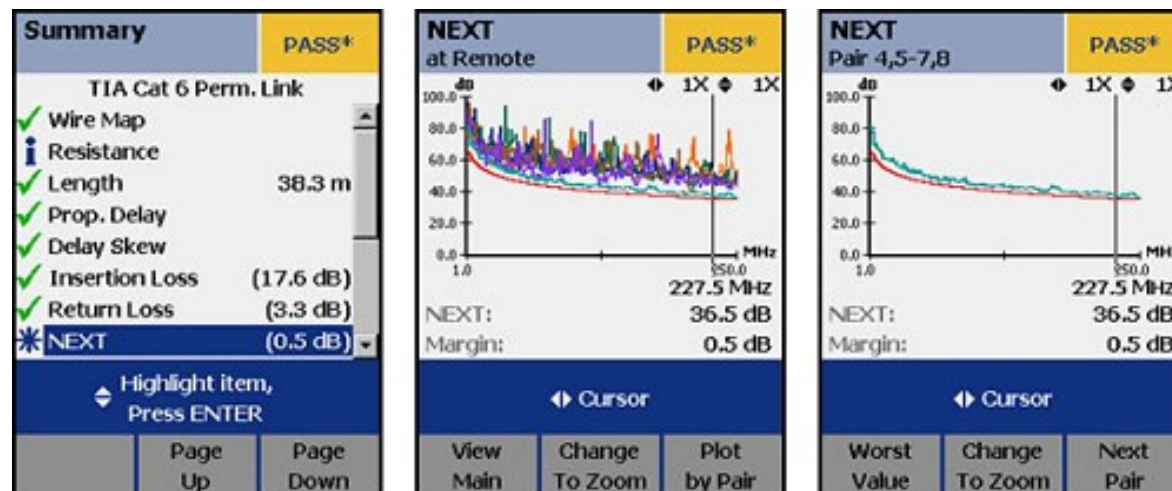
É importante observar que esse enlace é considerado como conforme (PASS) no que diz respeito aos padrões de cabeamento. No entanto, alguns especificadores de cabeamento podem não aceitar um resultado marginal.

Fonte: www.flukenetworks.com



Analizador de cabos - exemplo 1

Com o analisador é possível verificar que a combinação de pares 4,5-7,8 está causando a falha do tipo NEXT.



Fonte: www.flukenetworks.com

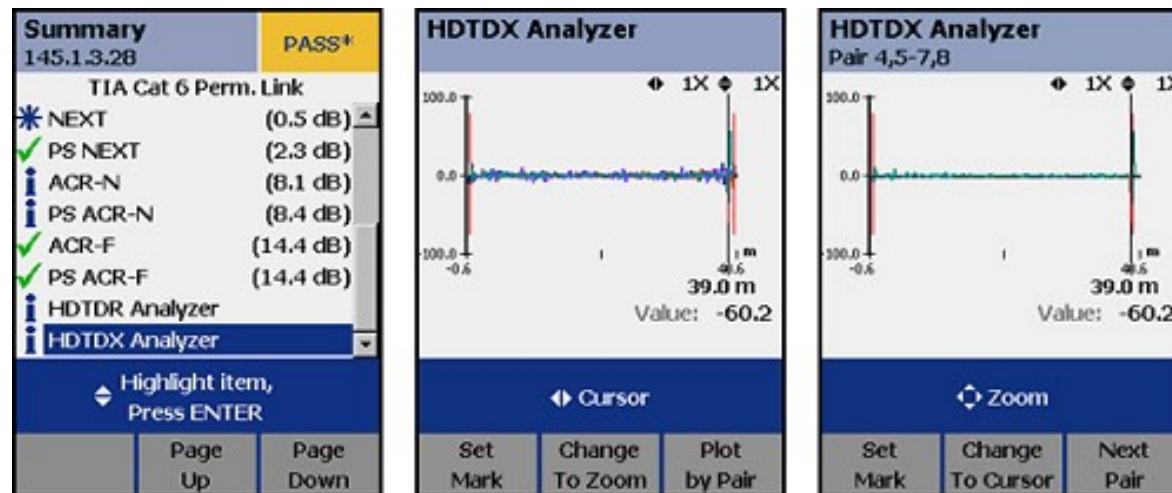


Analizador de cabos - exemplo 1

Usando o recurso HDTDX (High Definition Time Domain Xtalk), é possível verificar onde está ocorrendo a conversa cruzada no enlace.

O cursor vai automaticamente para a maior fonte de diafonia.

Nesse caso, a maior fonte de diafonia ocorreu a 39,0 m.



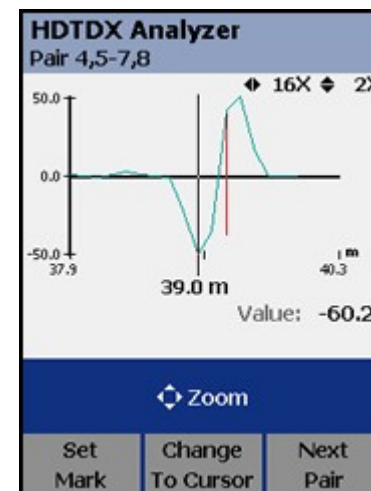
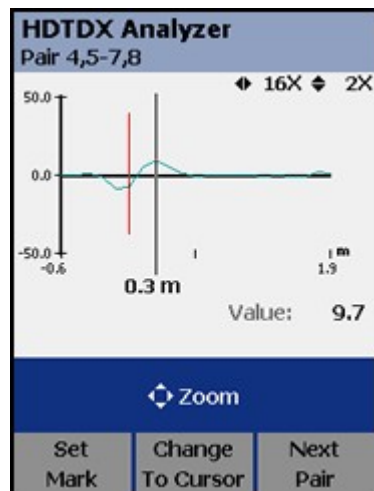
As duas linhas vermelhas representam as extremidades dos cabos, assim pode-se assumir que são o local da primeira e última conexão.



Analizador de cabos - exemplo 1

Usando o recurso HDTDX ainda é possível dar um zoom e ver mais detalhes sobre as medidas feitas no cabo ou em suas extremidades.

A figura à esquerda mostra a extremidade local do cabo com um valor de 9,7, quando o esperado é não exceder 17,5.



Já na figura à direita, que representa a extremidade remota, o valor medido foi de -60,2.

Fonte: www.flukenetworks.com



Analizador de cabos - exemplo 1

Conclusão:

O cabo parece bom, mas o conector da extremidade remota precisa ser refeito.

Esta conclusão assume que está sendo usada a categoria correta de conector e que o conector é realmente compatível com os componentes.

Se os conectores em cada extremidade do enlace forem do mesmo tipo, a resposta deverá ser semelhante.

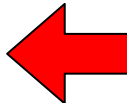
Se todos os enlaces apresentarem este tipo de comportamento e a resposta HDTDX for parecida, isso pode sugerir a necessidade de tentar uma marca diferente de conector.

Fonte: www.flukenetworks.com



Analizador de cabos - exemplo 2

Neste exemplo, o instalador verificou uma falha NEXT em um enlace categoria 6.



Summary		FAIL
TIA Cat 6 Perm. Link		
✓ Wire Map		
i Resistance		
✓ Length	38.4 m	
✓ Prop. Delay		
✓ Delay Skew		
✓ Insertion Loss	(15.2 dB)	
* Return Loss	(0.1 dB)	
* NEXT	(-0.9 dB)	
Highlight item, Press ENTER		
Fault Info	Page Up	Page Down



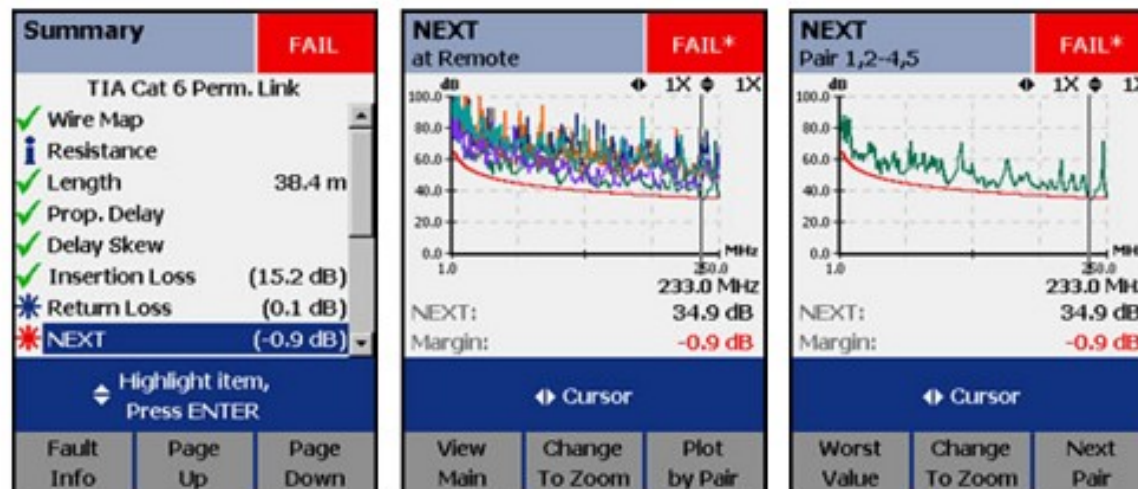
Pode-se notar que o cabo não está em conformidade (FAIL) no que diz respeito aos padrões de cabeamento.

Fonte: www.flukenetworks.com



Analizador de cabos - exemplo 2

Com o analisador é possível verificar que a combinação de pares 1,2-4,5 está causando a falha do tipo NEXT.



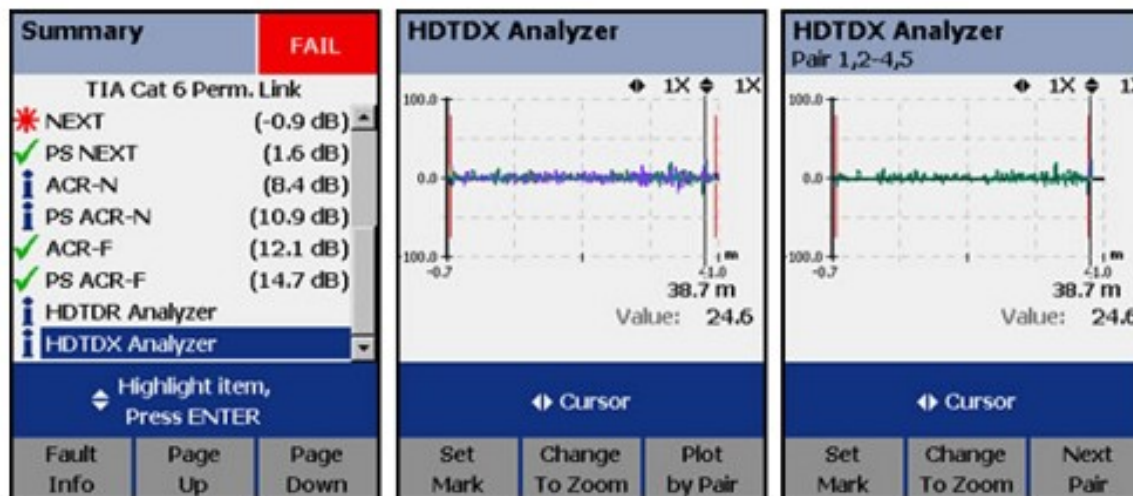


Analizador de cabos - exemplo 2

Usando o recurso HDTDX (High Definition Time Domain Xtalk), é possível verificar onde está ocorrendo a conversa cruzada no enlace.

O cursor vai automaticamente para a maior fonte de diafonia.

Nesse caso, a maior fonte de diafonia ocorreu a 38,7 m.



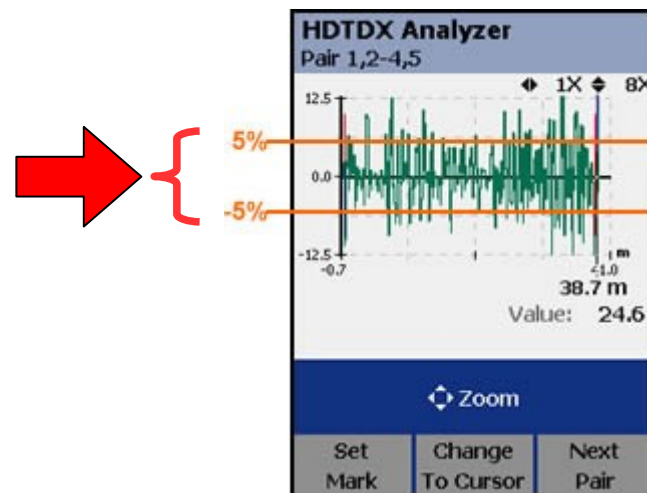
As duas linhas vermelhas representam as extremidades dos cabos, assim pode-se assumir que são o local da primeira e última conexão.



Analizador de cabos - exemplo 2

Usando o recurso HDTDX ainda é possível dar um zoom e ver mais detalhes sobre as medidas feitas no cabo ou em suas extremidades.

A figura mostra que a diafonia está numa região considerável do cabo.



Como regra geral, se houver mais de 4 ou 5 eventos no cabo excedendo $\pm 5\%$, isso sugere um problema no cabo.

Fonte: www.flukenetworks.com



Analizador de cabos - exemplo 2

Conclusão:

O cabo é a principal causa da falha NEXT.

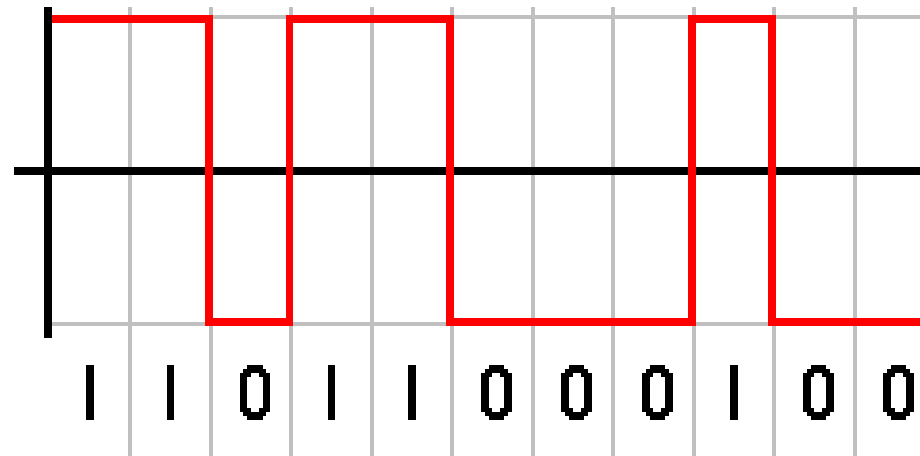
Refazer os conectores não vai melhorar o resultado.

Este cabo precisa ser substituído.



Codificação de bits - NRZ

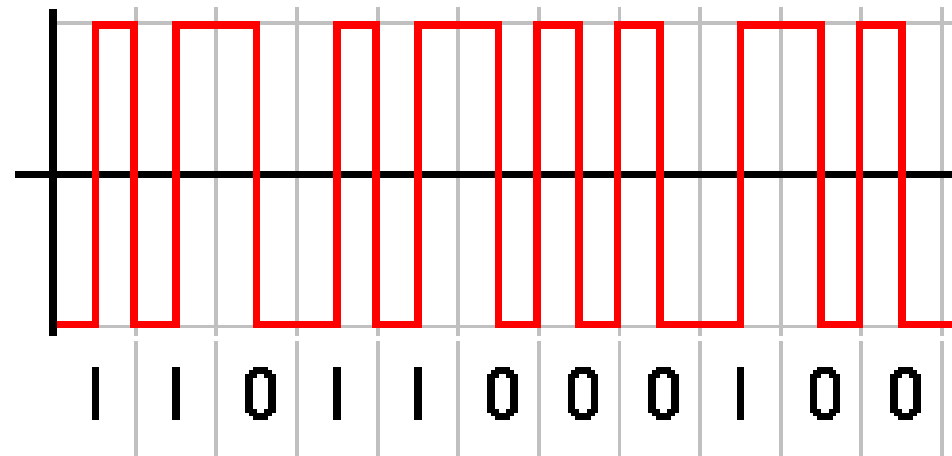
A técnica de codificação NRZ (*Non Return to Zero*) é a mais simples, pois para representar o símbolo “1” basta enviar uma tensão alta, enquanto que para representar o símbolo “0” basta enviar uma tensão baixa:





Codificação de bits - Manchester

A técnica de codificação Manchester (IEEE 802) envia uma mudança de tensão baixa para tensão alta para representar o símbolo “1”, enquanto que para representar o símbolo “0” envia uma mudança de tensão alta para tensão baixa:

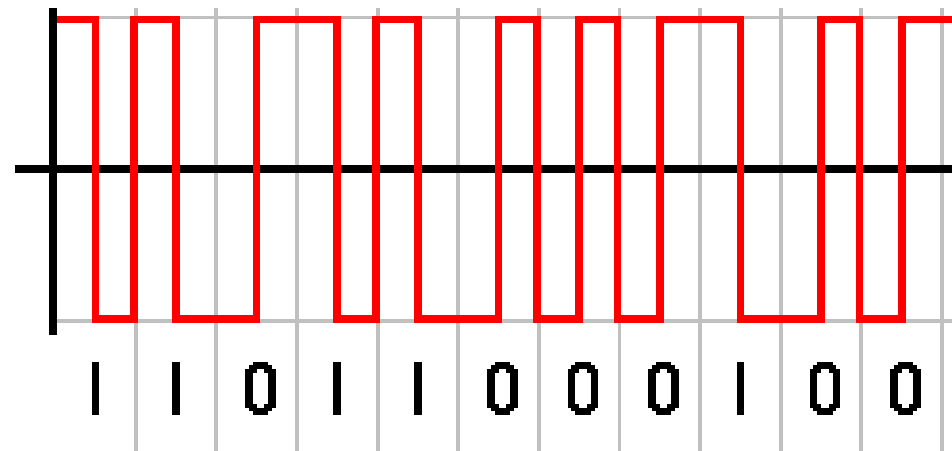


Manchester (IEEE 802)



Codificação de bits - Manchester

Uma variação da técnica de codificação Manchester (G.E. Thomas)* envia uma mudança de tensão alta para tensão baixa para representar o símbolo “1”, enquanto que para representar o símbolo “0” envia uma mudança de tensão baixa para tensão alta:



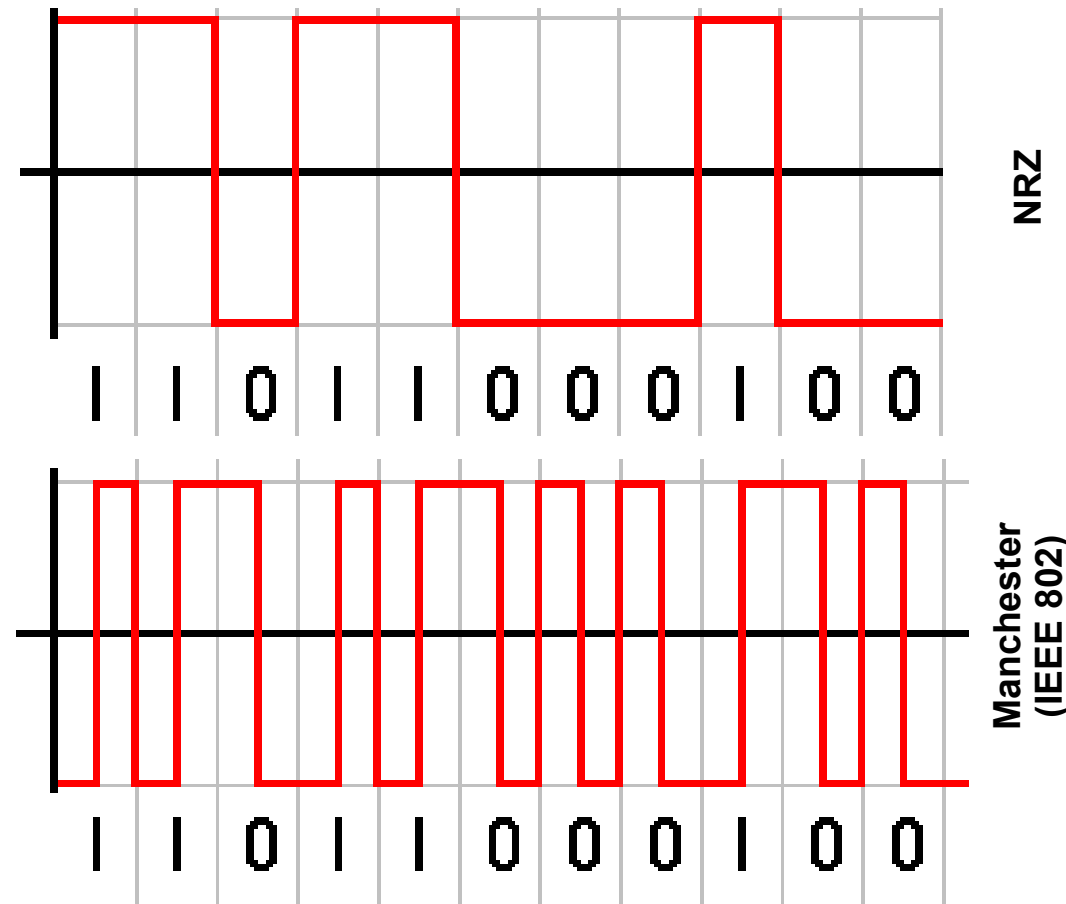
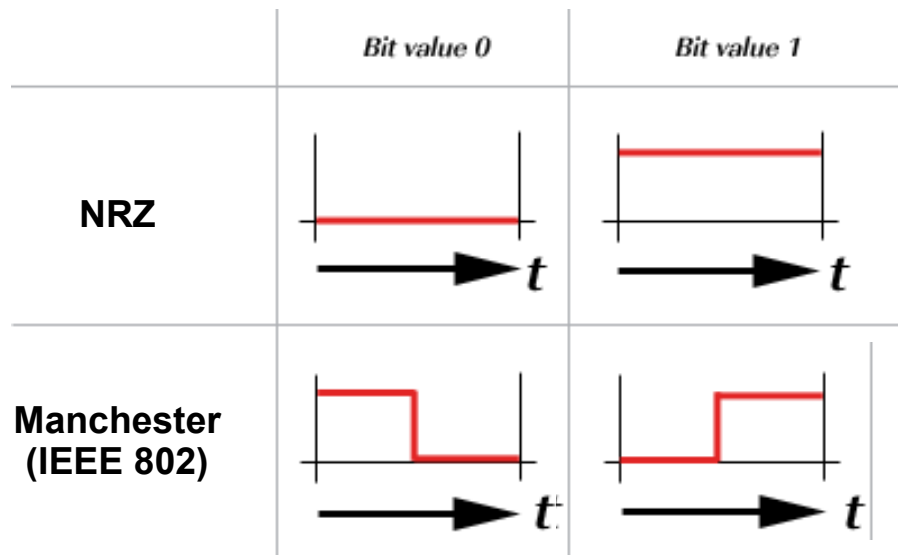
Manchester (G. E. Thomas)

*Dr. Gordon Eric Thomas, professor da Universidade de Manchester



Codificação de bits - Comparação

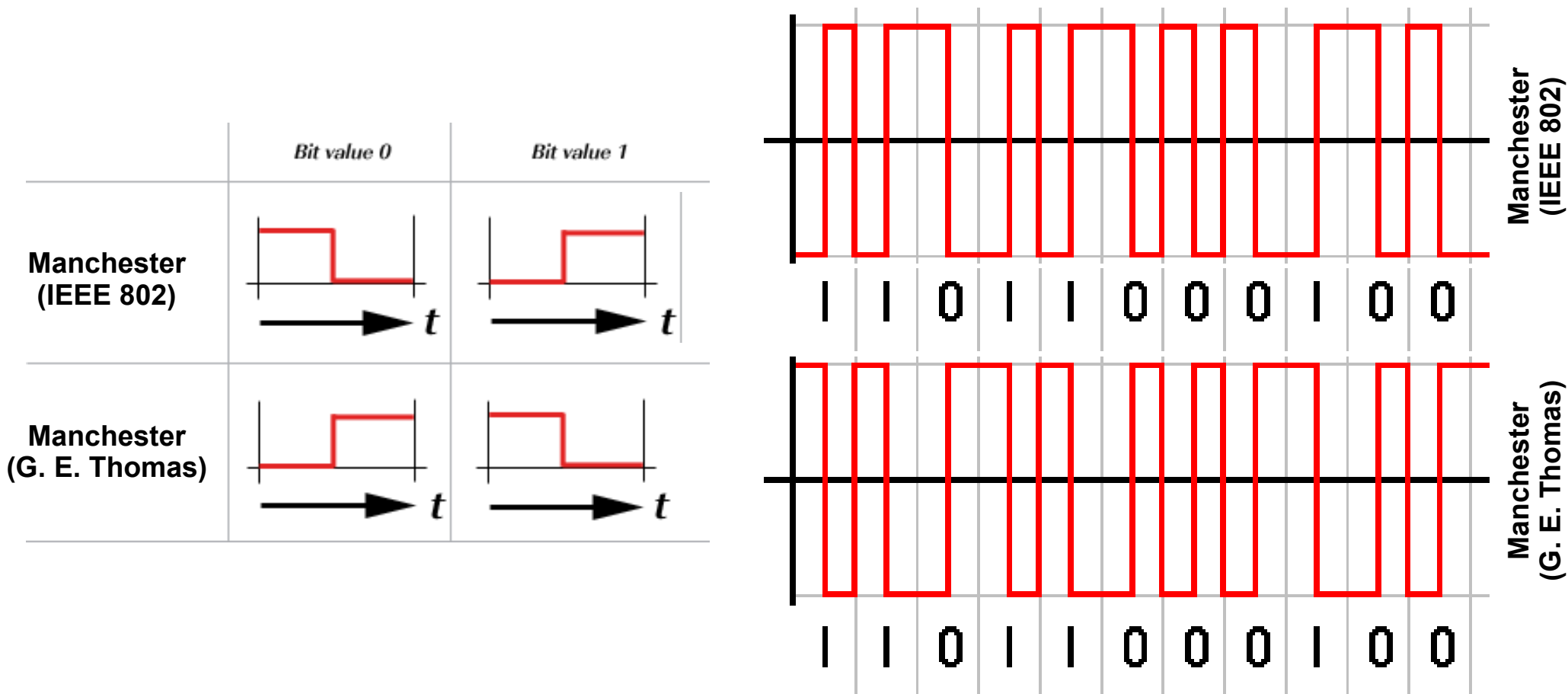
A técnica de codificação NRZ dificulta o reconhecimento dos dados no receptor quando envia uma sequência longa e consecutiva de zeros ou uns. A codificação Manchester contorna este problema.





Codificação de bits - Comparação

A menos que seja indicado, deve-se usar sempre a técnica de codificação Manchester (IEEE 802) ao invés da Manchester (G. E. Thomas).





Detecção de erros

Devido aos ruídos e interferências a que todo canal está sujeito, pode acontecer dos dados serem transmitidos com erros. Por isso são implementados códigos de detecção de erros para que o emissor e receptor possam tomar medidas corretivas.

Uma técnica de detecção bastante conhecida é a de checagem por bit de paridade. Nesta técnica, o emissor ao enviar uma mensagem conta a quantidade de bits em “1” numa determinada sequencia de dados. Se a quantidade de bits em “1” for ímpar, o emissor acrescenta um bit “1” nesta sequencia. Se a quantidade de bits em “1” for par, o emissor acrescenta um bit “0”.

Assim, quando o receptor da mensagem receber os dados, ele conta a quantidade de bits em “1” na sequencia de dados e verifica se está de acordo com o bit extra. Se não estiver, o receptor saberá que aquela sequencia de dados está incorreta.



Detecção de erros - Paridade

A código de paridade pode ter a checagem de erros do tipo Par ou do tipo Ímpar. Para computar a paridade, é realizada uma operação lógica de disjunção exclusiva entre os dados da sequencia, também conhecida como XOR ou XOU:

Dados	Paridade Par	Paridade Ímpar
00000000	0	1
01011011	1	0
01010101	0	1
11111111	0	1
10000000	1	0
01001001	1	0



Operadores lógicos

Os operadores lógicos usam as regras da álgebra *booleana*. Os operadores lógicos básicos são os seguintes:

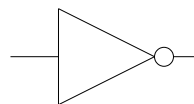
- $!$, NOT ou NÃO (negação)
- $\&$, AND ou E (conjunção)
- $|$, OR ou OU (disjunção)
- $\wedge$, XOR ou XOOU (disjunção exclusiva)



Operadores lógicos

A seguir, a tabela verdade para a operação lógica de negação “NÃO”:

Operação Lógica: !, NOT ou NÃO	
ENTRADA	SAÍDA
<i>falso</i>	<i>verdadeiro</i>
<i>verdadeiro</i>	<i>falso</i>

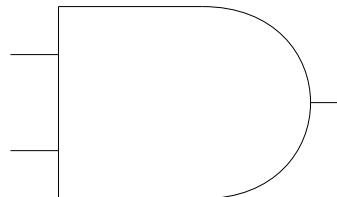




Operadores lógicos

A seguir, a tabela verdade para a operação lógica de conjunção “E”:

Operação Lógica: &, AND ou E		
ENTRADA 1	ENTRADA 2	SAÍDA
<i>falso</i>	<i>falso</i>	<i>falso</i>
<i>falso</i>	<i>verdadeiro</i>	<i>falso</i>
<i>verdadeiro</i>	<i>falso</i>	<i>falso</i>
<i>verdadeiro</i>	<i>verdadeiro</i>	<i>verdadeiro</i>

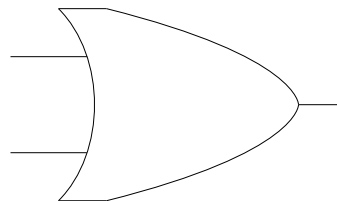




Operadores lógicos

A seguir, a tabela verdade para a operação lógica de disjunção “OU”:

Operação Lógica: , OR ou OU		
ENTRADA 1	ENTRADA 2	SAÍDA
<i>falso</i>	<i>falso</i>	<i>falso</i>
<i>falso</i>	<i>verdadeiro</i>	<i>verdadeiro</i>
<i>verdadeiro</i>	<i>falso</i>	<i>verdadeiro</i>
<i>verdadeiro</i>	<i>verdadeiro</i>	<i>verdadeiro</i>

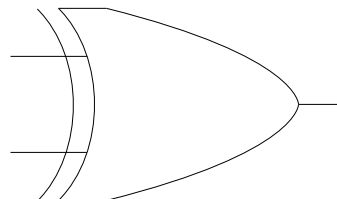




Operadores lógicos

A seguir, a tabela verdade para a operação lógica de disjunção exclusiva “XOU”:

Operação Lógica: $\wedge$, XOR ou XOU		
ENTRADA 1	ENTRADA 2	SAÍDA
<i>falso</i>	<i>falso</i>	<i>falso</i>
<i>falso</i>	<i>verdadeiro</i>	<i>verdadeiro</i>
<i>verdadeiro</i>	<i>falso</i>	<i>verdadeiro</i>
<i>verdadeiro</i>	<i>verdadeiro</i>	<i>falso</i>





Detecção de erros - CRC

Para se detectar erros de mais de 1 bit, usa-se o código CRC ou *Cyclic Redundancy Check* (Verificação de Redundância Cíclica).

Para tal, o computador que envia os dados usa um polinômio gerador que calcula o código CRC que será anexado aos dados.

O computador destino, por sua vez, recalcula o código CRC a partir dos dados recebidos usando o mesmo polinômio gerador.

A partir do resultado, o computador destino poderá chegar à conclusão de que os dados transmitidos estão íntegros ou corrompidos.



Detecção de erros - CRC

Para que o código CRC funcione, o polinômio gerador deve ser de conhecimento do computador que envia os dados e do computador que os recebe.

Abaixo alguns exemplos de códigos CRC padronizados e amplamente difundidos:

$$CRC_8 = x^8 + x^2 + x^1 + x^0 \quad ou \quad CRC_8 = x^8 + x^2 + x + 1 \quad ou \quad CRC_8 = 100000111$$

$$CRC_{16} = x^{16} + x^{15} + x^2 + x^0 \quad ou \quad CRC_{16} = x^{16} + x^{15} + x^2 + 1 \quad ou \quad CRC_{16} = 110000000000000101$$

$$CRC_{32} = x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x^1 + x^0 \quad ou$$

$$CRC_{32} = x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1 \quad ou$$

$$CRC_{32} = 100000100110000010001110110110111$$



Detecção de erros - CRC

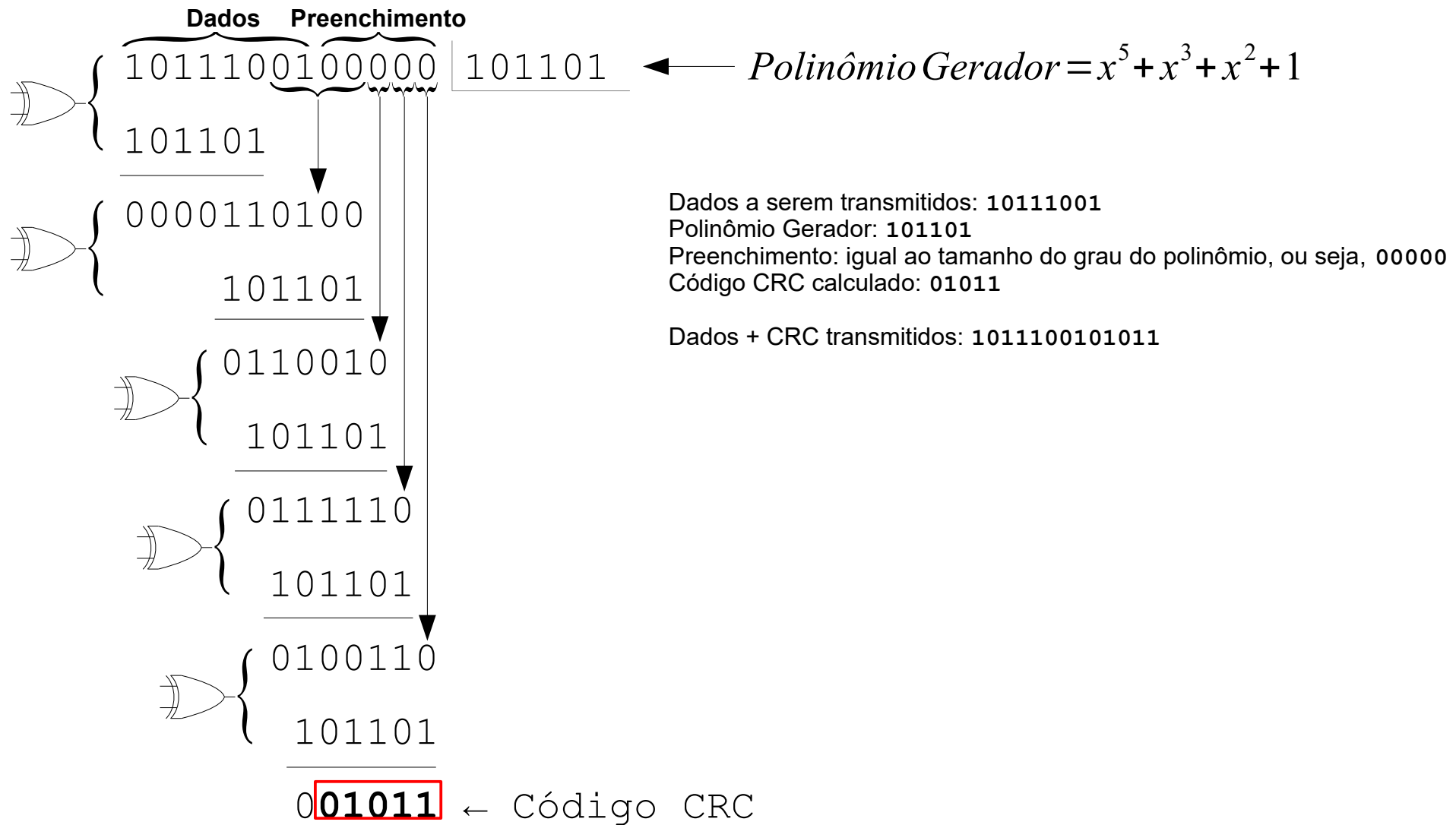
Para calcular o código CRC, o computador origem efetua a operação XOR bit a bit do divisor (Dados + Preenchimento) pelo dividendo (Polinômio Gerador).

O tamanho do preenchimento é dado pelo grau do polinômio, que é o expoente de mais alto valor.

$$\text{Código CRC} = \text{XOR} \frac{\text{Dados} + \text{Preenchimento}}{\text{Polinômio Gerador}}$$

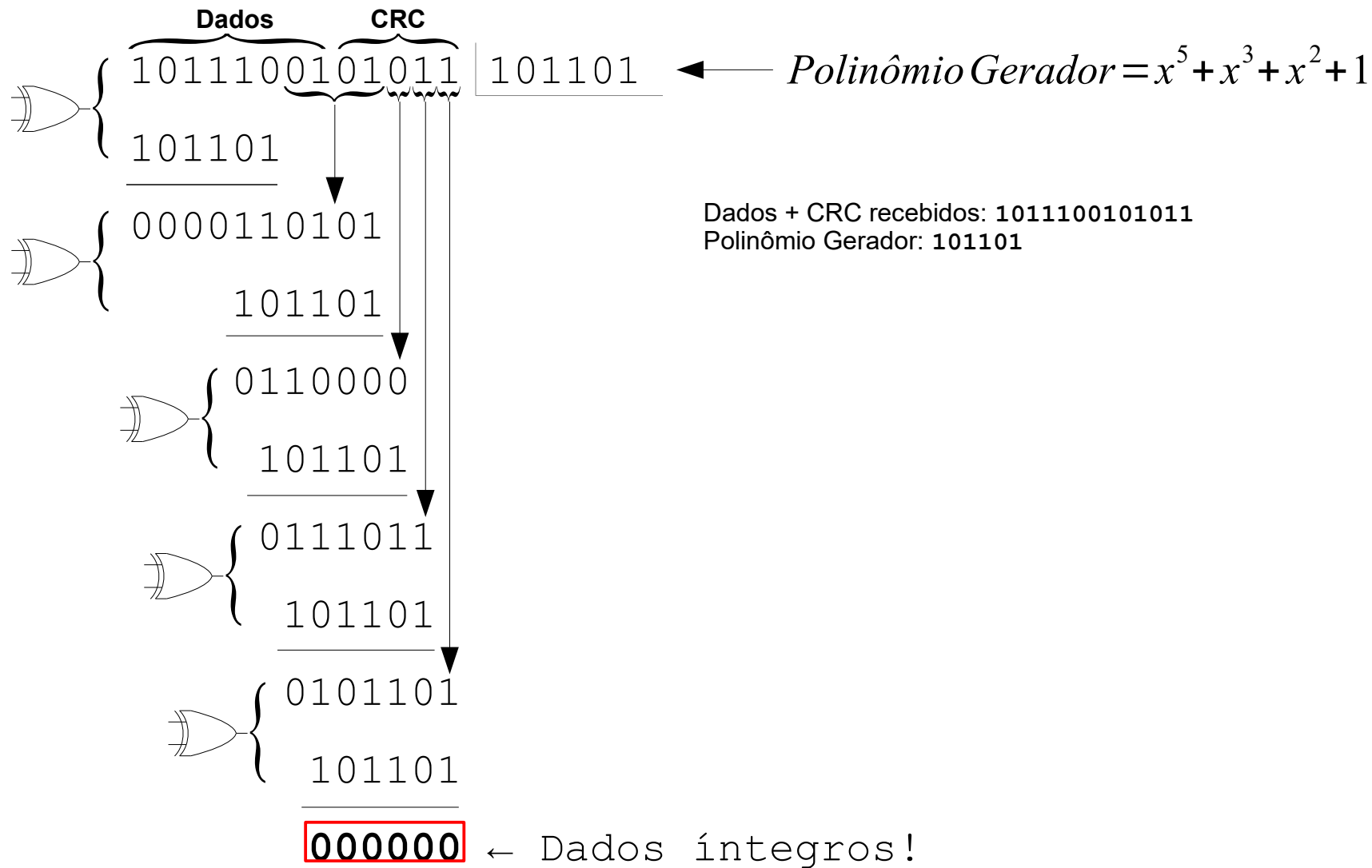


CRC – Exemplo – Transmissão



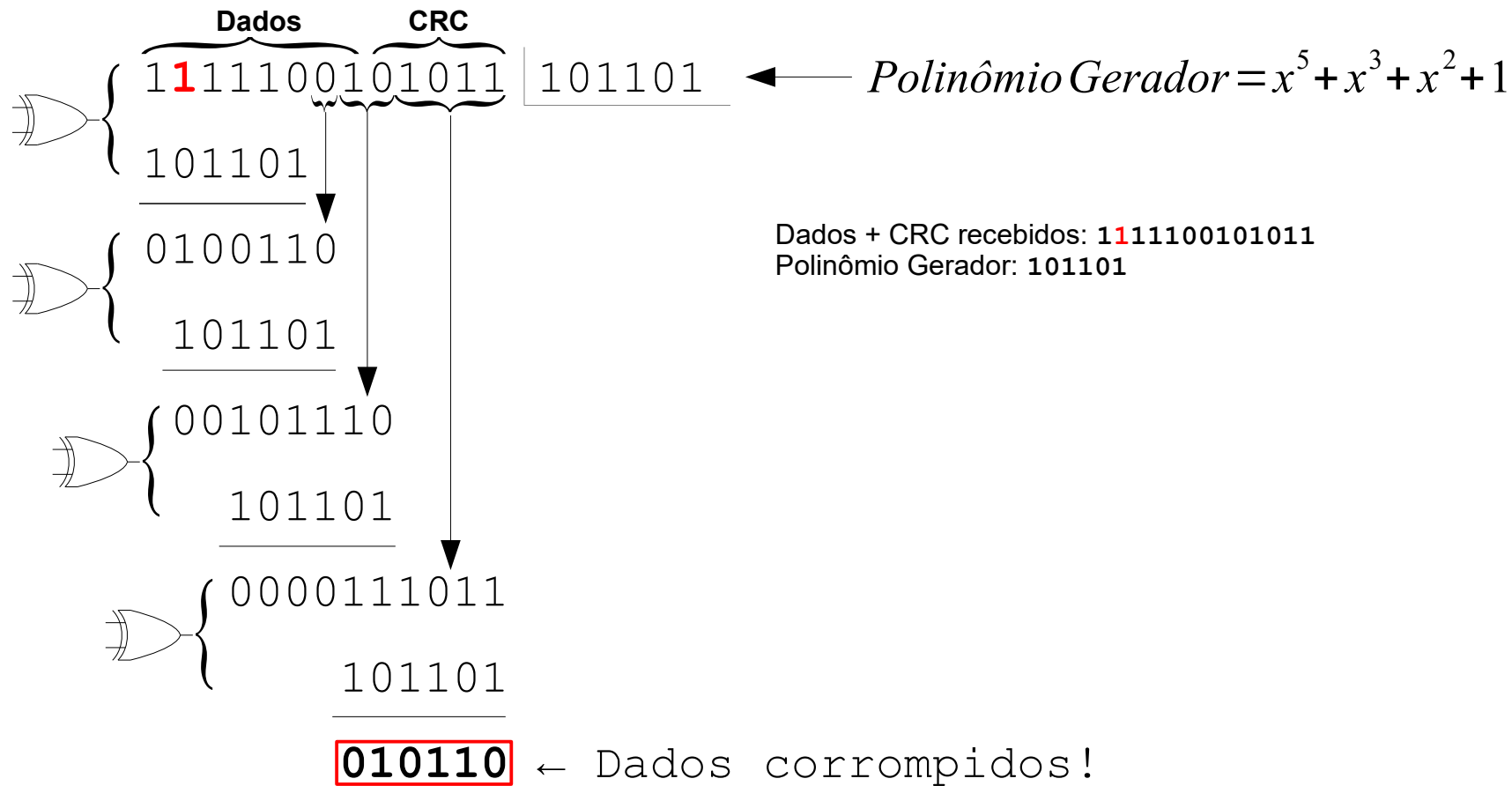


CRC – Exemplo – Recebimento





CRC – Exemplo – Recebimento





Correção de erros - Hamming

Marcar todas as posições de bits que são potência de 2 para conter os bits de paridade (posições 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, etc.);

As demais posições conterão os bits de dados (posições 3, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, etc.);

Cada posição de bit de paridade irá conter o cálculo da paridade de alguns bits, de acordo com o esquema:

- Posição 1: verifica 1 bit, salta 1 bit, etc. (1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, etc);
- Posição 2: verifica 2 bits, salta 2 bits, etc. (2, 3, 6, 7, 10, 11, 14, 15, etc);
- Posição 4: verifica 4 bits, salta 4 bits, etc. (4, 5, 6, 7, 12, 13, 14, 15, 20, 21, 22, 23, etc);
- Posição 8: verifica 8 bits, salta 8 bits, etc. (8-15, 24-31, 40-47, etc);
- Posição 16: verifica 16 bits, salta 16 bits, etc. (16-31, 48-63, 80-95, etc);

O bit de paridade será 1 se o total de bits em “1” das posições a serem verificadas for ímpar. Caso contrário, o bit de paridade será 0 se o total de bits em “0” das posições a serem verificadas for par.



Código de Hamming – Exemplo

Dados a transmitir: 10110110

POSIÇÃO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Paridade + Dados	P1	P2	D1	P4	D2	D3	D4	P8	D5	D6	D7	D8
Dados			1		0	1	1		0	1	1	0
Paridade Posição 1	1		1		0		1		0		1	
Paridade Posição 2		1	1			1	1			1	1	
Paridade Posição 4				0	0	1	1					0
Paridade Posição 8								0	0	1	1	0
Dados Transmitidos	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0



Código de Hamming – Exemplo

Dados recebidos: 111001100110

POSIÇÃO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dados Recebidos	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
Paridade	1	1		0				0				
Paridade Posição 1	1		1		0		1		0		1	
Paridade Posição 2		1	1			1	1			1	1	
Paridade Posição 4				0	0	1	1					0
Paridade Posição 8								0	0	1	1	0





Código de Hamming – Exemplo

Dados recebidos: 111000100110

POSIÇÃO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dados Recebidos	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0
Paridade	1	1		0				0				
Paridade Posição 1	1		1		0		1		0		1	
Paridade Posição 2		1	1			0	1			1	1	
Paridade Posição 4				0	0	0	1					0
Paridade Posição 8								0	0	1	1	0
Dados Corrigidos	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0



Bits com erro: Posição 2 + Posição 4 = Posição 6





Para saber mais...

- ... acesse a norma ANSI/TIA/EIA-568-B.1 - Commercial Building Telecommunications Cabling Standard, da American National Standards Institute (ANSI), Telecommunications Industry Association (TIA) e da Electronic Industries Alliance (EIA).
- ... acesse a norma ANSI/TIA/EIA-568-B.2 - Commercial Building Telecommunications Cabling Standard, da American National Standards Institute (ANSI), Telecommunications Industry Association (TIA) e da Electronic Industries Alliance (EIA).
- ... acesse a norma ANSI/TIA/EIA-568-B.3 - Optical Fiber Cabling Components, da American National Standards Institute (ANSI), Telecommunications Industry Association (TIA) e da Electronic Industries Alliance (EIA).
- ... acesse a norma ABNT NBR 14565 - Procedimento básico para elaboração de projetos de cabeamento de telecomunicações para rede interna estruturada, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).
- ... acesse o simulador de Codificação de Sinais, de Teresa Carrigan.
- ... acesse o simulador de Geração de Código CRC, de Teresa Carrigan.
- ... acesse o simulador de Checagem de Código CRC, de Teresa Carrigan.
- ... acesse o simulador de Código de Hamming, de Teresa Carrigan.
- ... acesse a calculadora de Código de Hamming, de Bryan Martyn.

Módulo 6

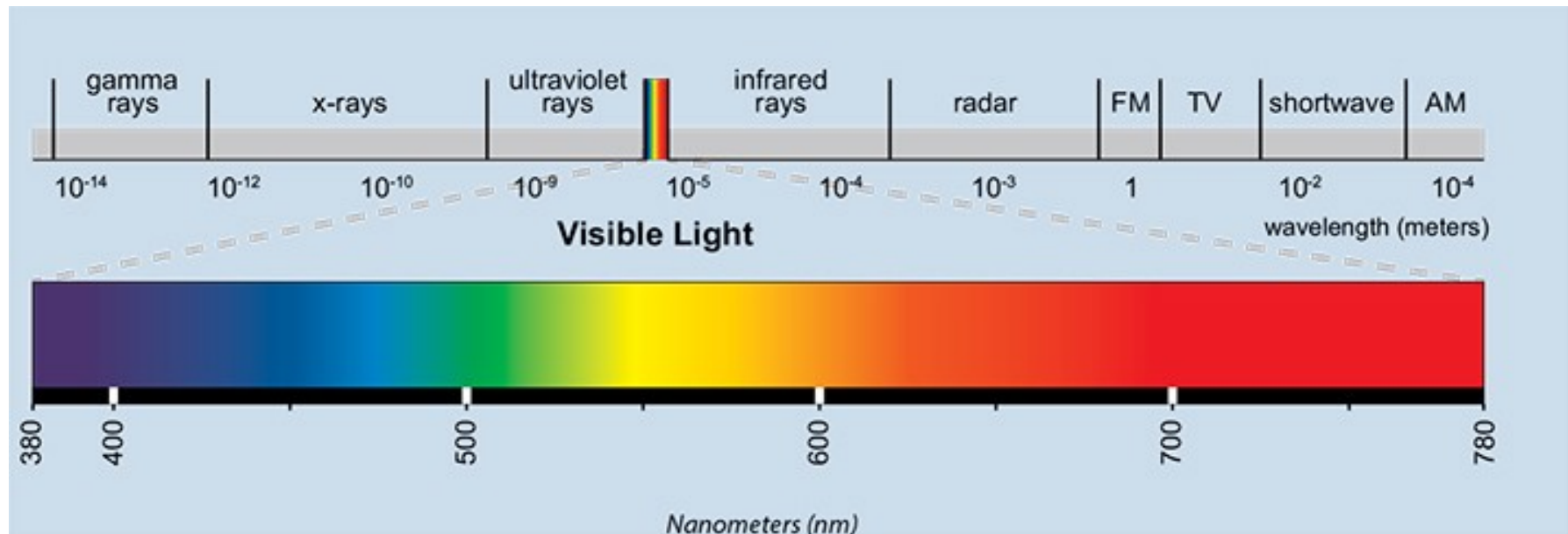
Redes óticas



Introdução

As redes baseadas em fibra ótica usam a luz ao invés da eletricidade para transmitir dados.

A luz pode ser descrita como uma onda eletromagnética, como as ondas de rádio, radar, raios X ou micro-ondas, com valores de frequências e comprimentos de onda distintos.



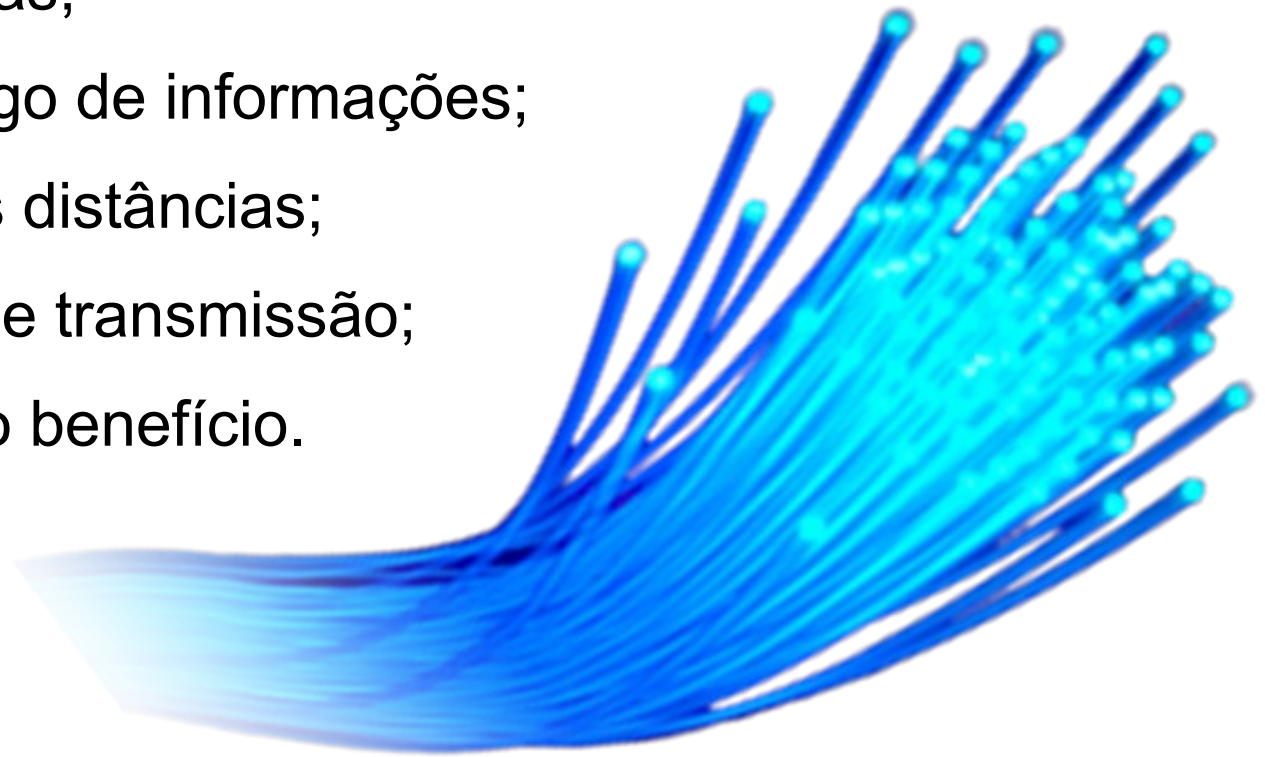
Fonte: Furukawa Certified Professional - MF104



Introdução

As principais vantagens do uso de fibras óticas são:

- Imunidade a interferências eletromagnéticas;
- Dimensões reduzidas;
- Segurança no tráfego de informações;
- Alcance de maiores distâncias;
- Maior capacidade de transmissão;
- Ótima relação custo benefício.

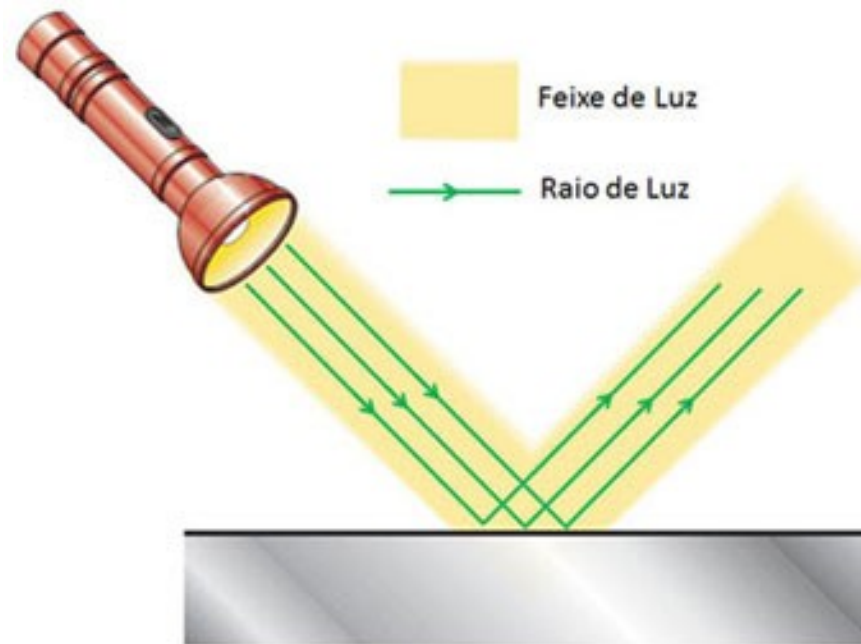


Fonte: Furukawa Certified Professional - MF104



Reflexão da luz

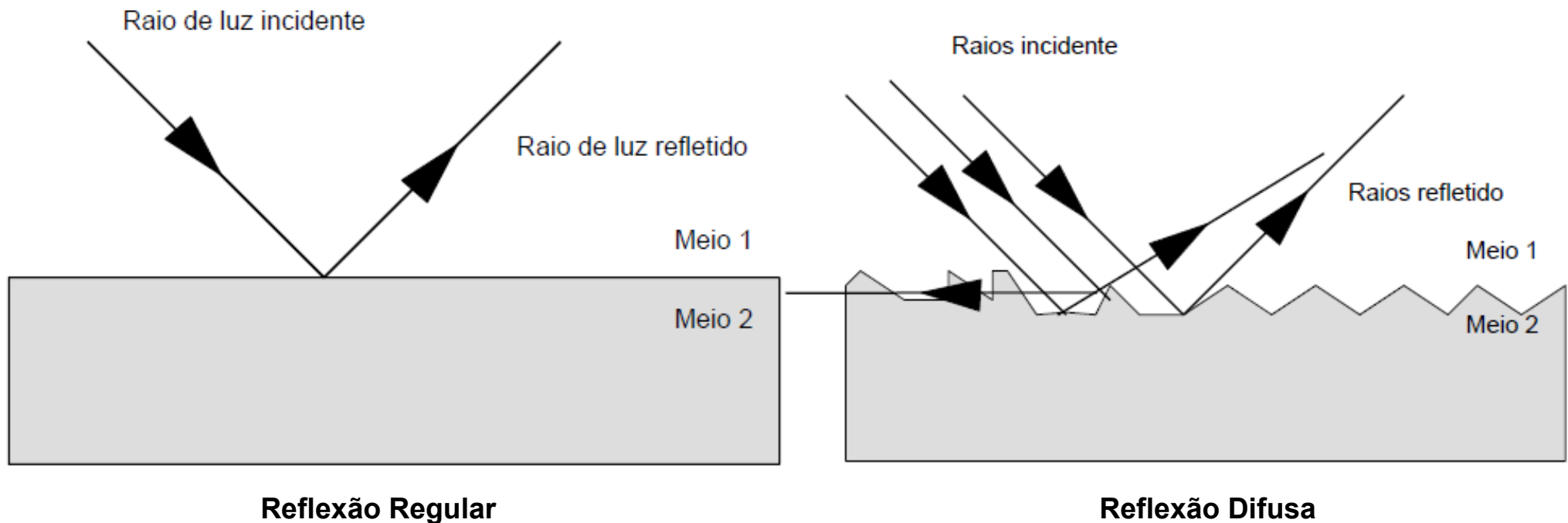
A reflexão da luz é um fenômeno que ocorre quando uma luz incide sobre uma superfície e é refletida por esta.





Reflexão da luz

Para diferentes tipos de superfície, a luz pode ser refletida de diversas formas. Quanto mais polida é a superfície, melhor se dará a reflexão da luz.

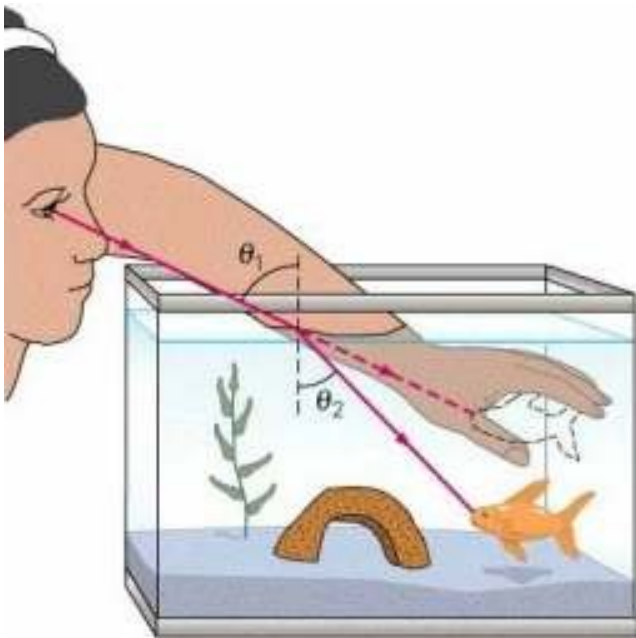




Refração da luz

A refração da luz é um fenômeno que ocorre quando a luz passa de um meio de propagação para outro, de modo que há uma variação na velocidade da propagação.

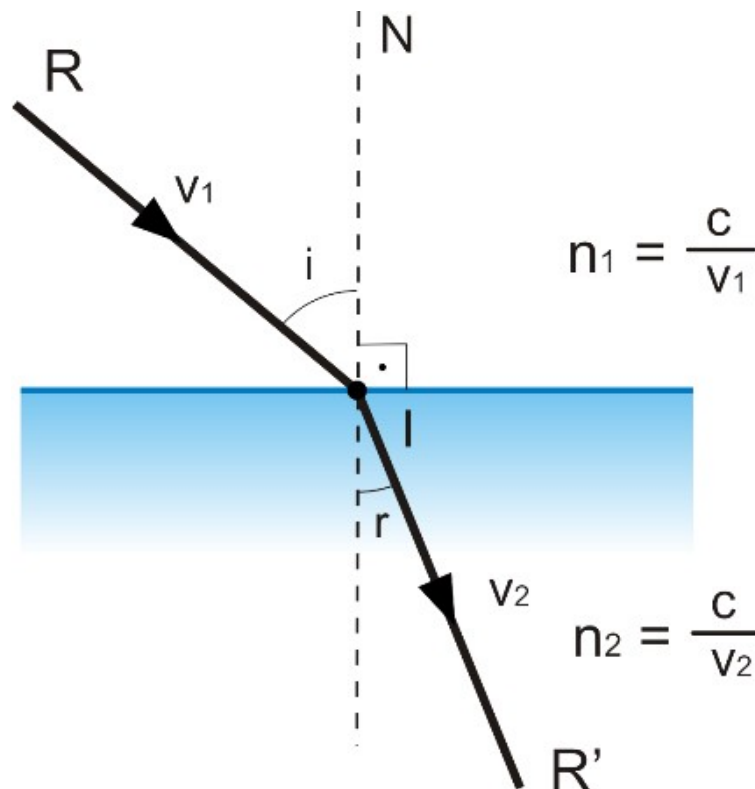
A luz é uma forma de onda que se propaga numa determinada velocidade que sempre depende do meio.





Lei de Snell-Descartes

A Lei de Snell-Descartes descreve a relação existente entre os ângulos de incidência e de refração quando a luz passa de um meio para outro.



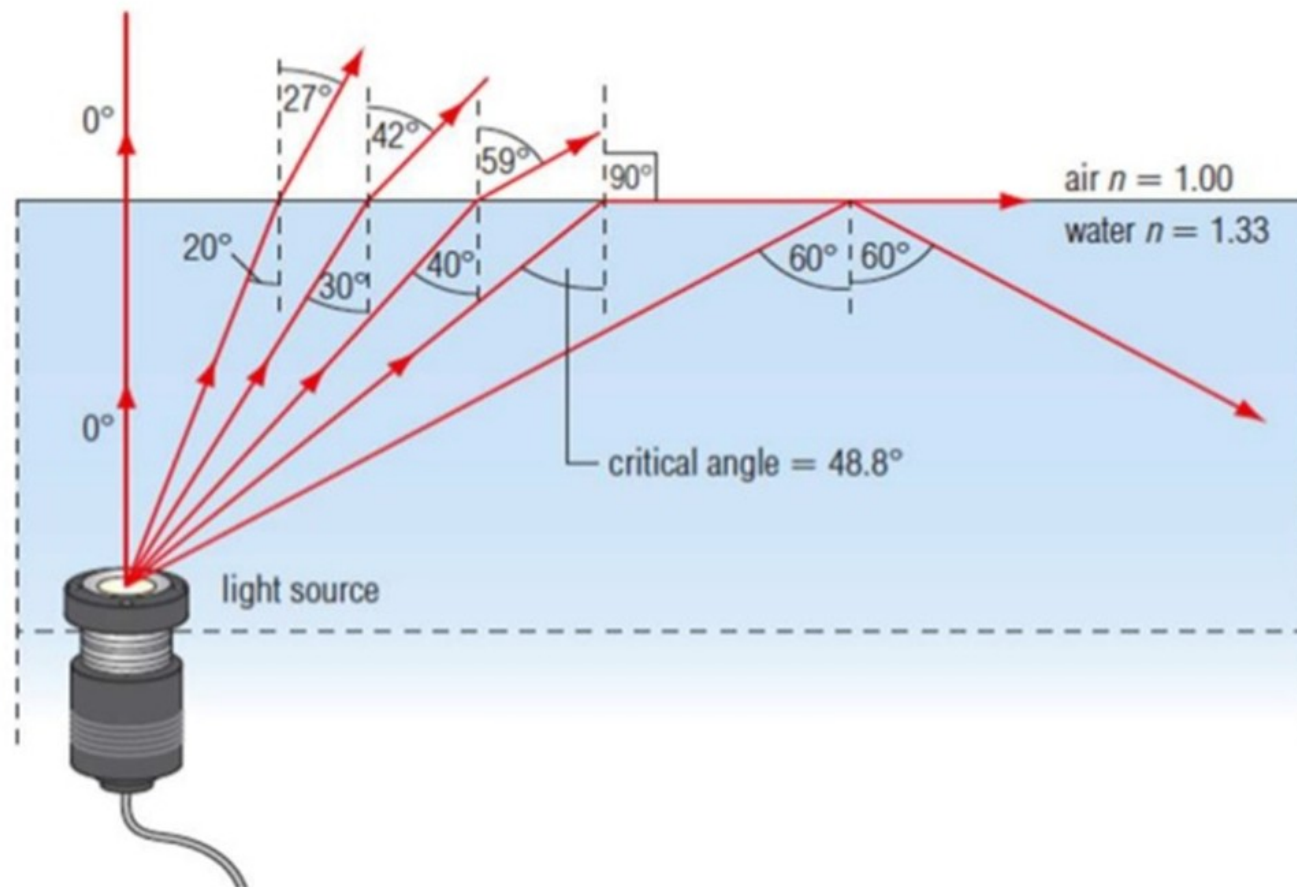
R = raio incidente
R' = raio refratado
N = normal pelo ponto de incidência I
i: ângulo de incidência
r: ângulo de refração

$$n_1 \cdot \text{sen}(i) = n_2 \cdot \text{sen}(r)$$



Reflexão total

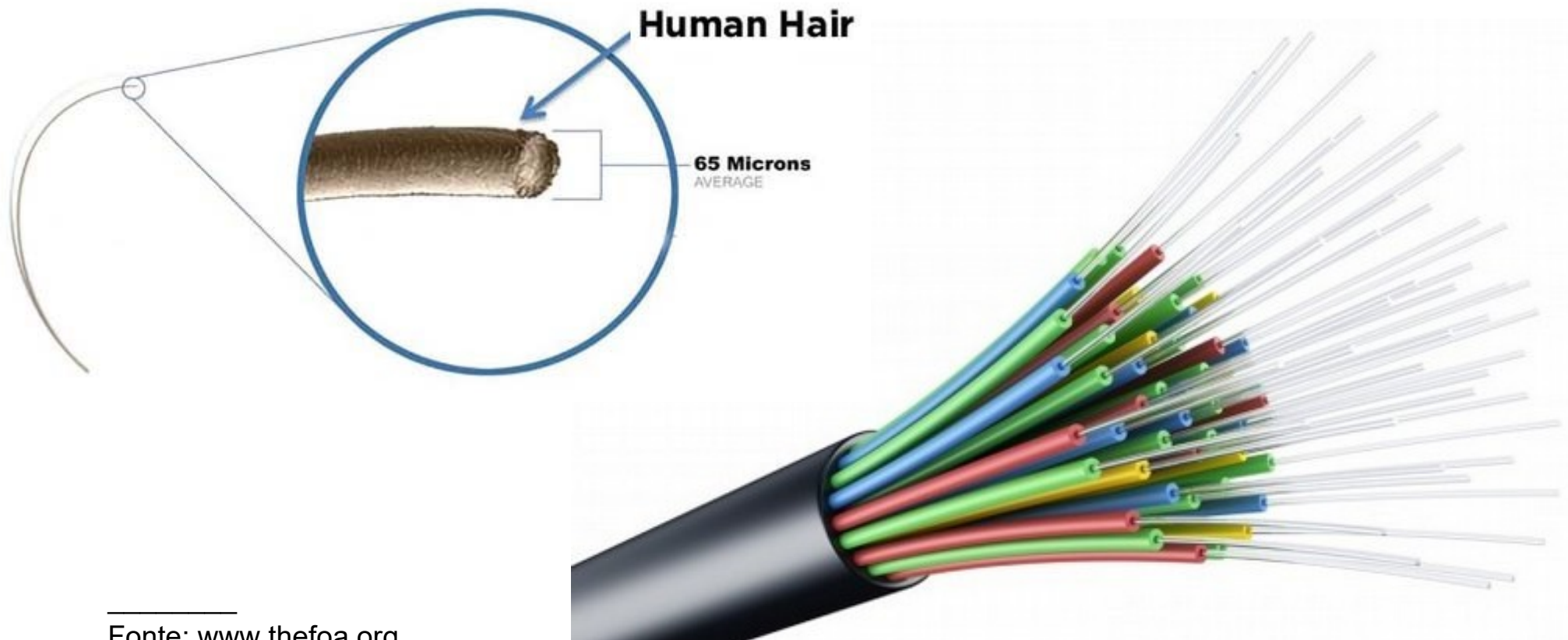
Quando o ângulo de incidência é grande o suficiente, ocorre a reflexão total da luz. A este ângulo dá-se o nome de *ângulo crítico*.





Fibra ótica

A fibra ótica é um filamento flexível e transparente, fabricado a partir de vidro ou plástico extrudado, e tem o diâmetro de alguns micrômetros, ligeiramente superior ao de um fio de cabelo humano.



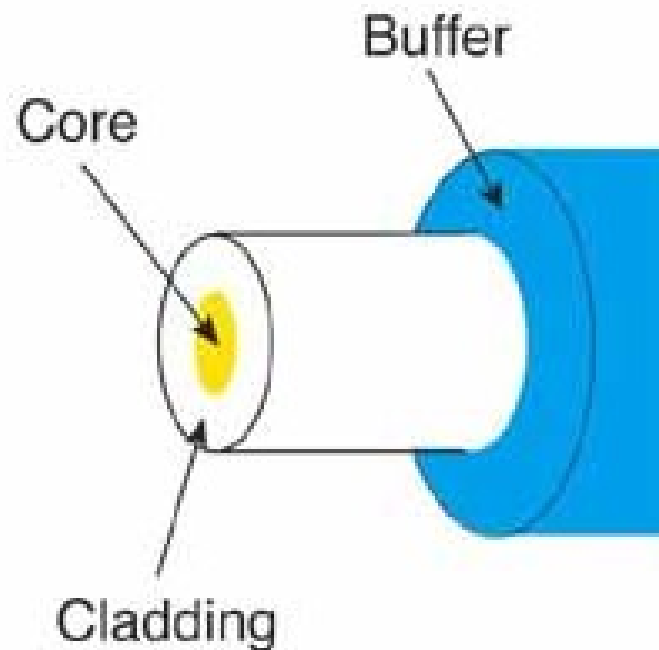
Fonte: www.thefoa.org



Fibra ótica

Cabos de fibra são compostos por um núcleo (*core*), uma casca (*cladding*) e o revestimento externo de proteção (*buffer*).

O núcleo e a casca são feitos do mesmo material, mas possuem índices de refração diferentes.



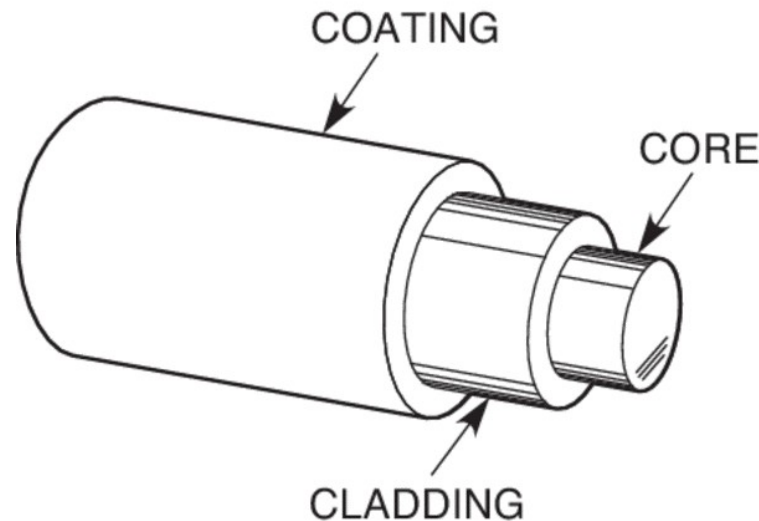
Fonte: www.thefoa.org



Fibra ótica



ATENÇÃO: a representação da fibra ótica em corte, conforme demonstrado na figura abaixo e encontrada em alguns livros, é inapropriada, pois tanto o núcleo (*core*) quanto a casca (*cladding*) são feitos do mesmo material.



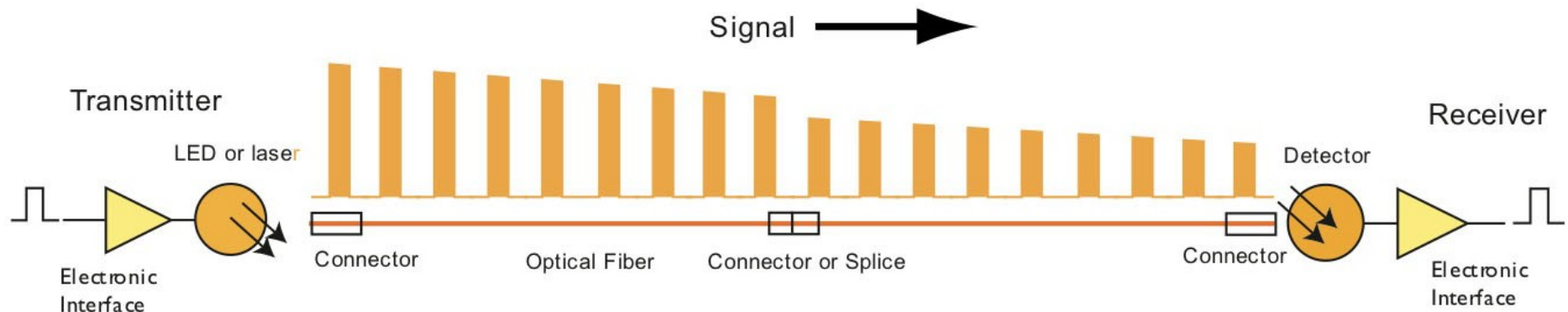
Fonte: www.thefoa.org



Fibra ótica

Um enlace de fibra ótica contém transdutores que convertem o sinal do domínio elétrico para o domínio ótico tanto no transmissor quanto no receptor.

Os enlaces também podem conter emendas, e assim como nos cabos de cobre, o sinal ótico também pode atenuar ao longo da linha de transmissão.



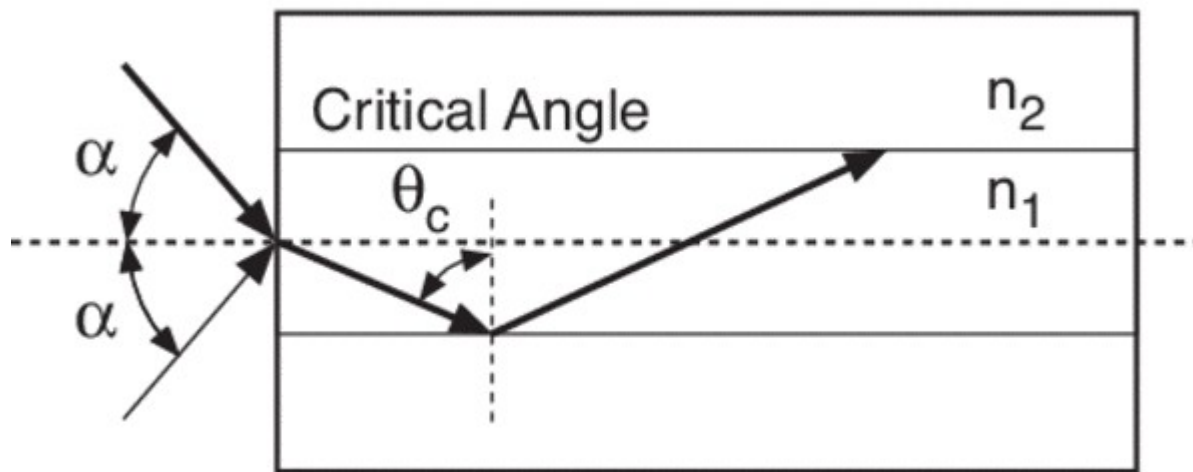
Fonte: www.thefoa.org



Fibra ótica - abertura numérica

A abertura numérica de uma fibra, ou numerical aperture (NA), é definida como o seno do maior ângulo que um raio incidente pode ter para refletir totalmente dentro do núcleo da fibra.

Qualitativamente, NA é uma medida da capacidade de captação de luz de uma fibra, ou seja, ela indica o quão facilmente é possível acoplar uma fonte de luz em uma fibra.



$$NA = \sin \alpha = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$
$$\text{Full Acceptance Angle} = 2\alpha$$

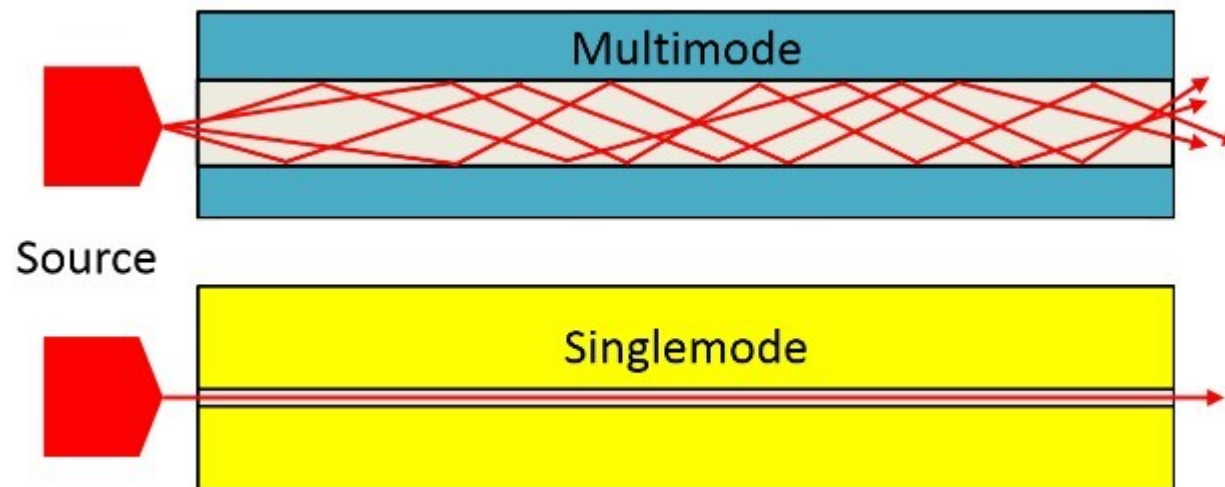
Fonte: www.newport.com



Fibra ótica - tipos

A fibra ótica pode ser do tipo multimodo (Multi Mode – MM) ou monomodo (Single Mode – SM).

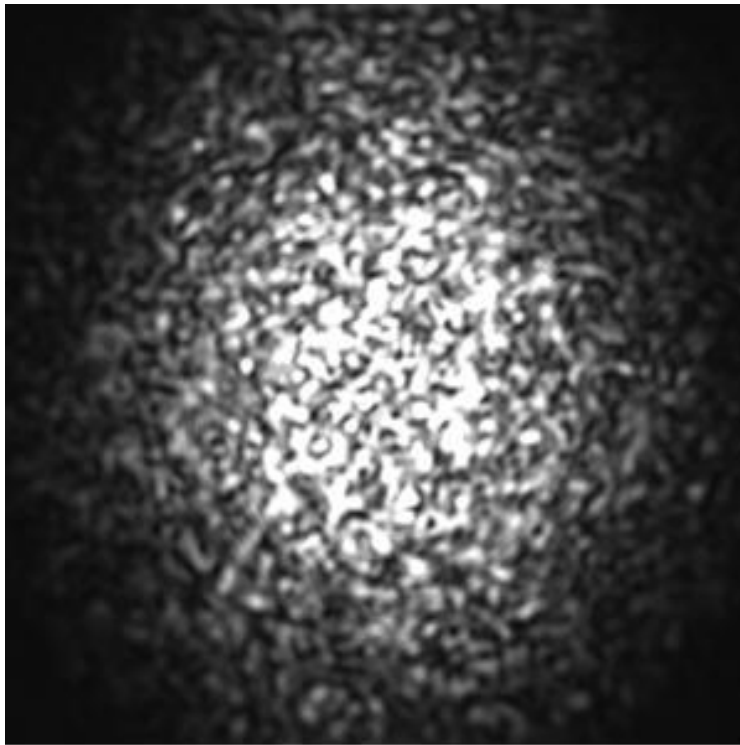
A fibra MM possui vários modos de transmissão de luz, ao passo que a fibra SM possui apenas um modo.



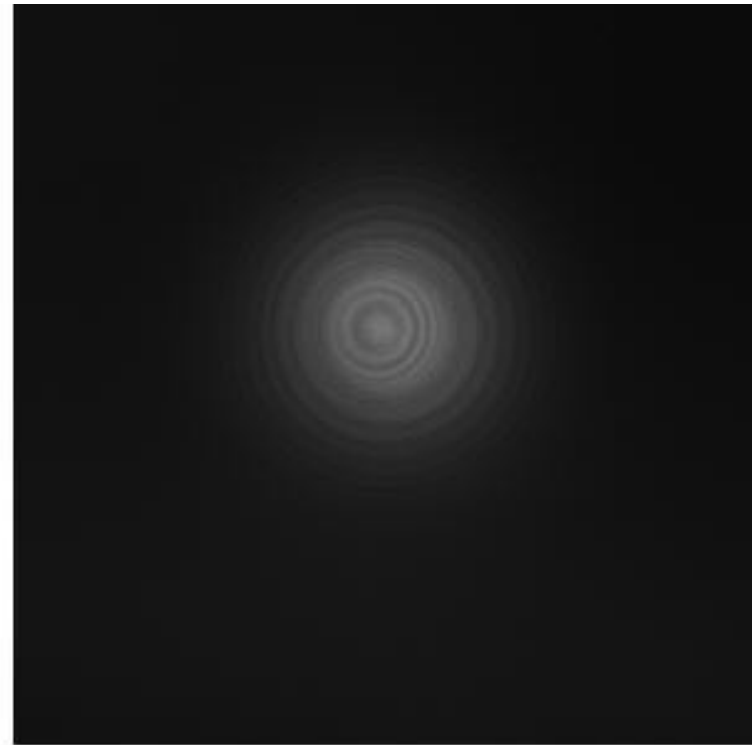


Fibra ótica - tipos

Quando a luz do laser é acoplada a uma fibra, a distribuição da luz que sai da outra extremidade revela se a fibra é multimodo ou monomodo.



Light emerging from a multi-mode fiber



Light emerging from a single-mode fiber

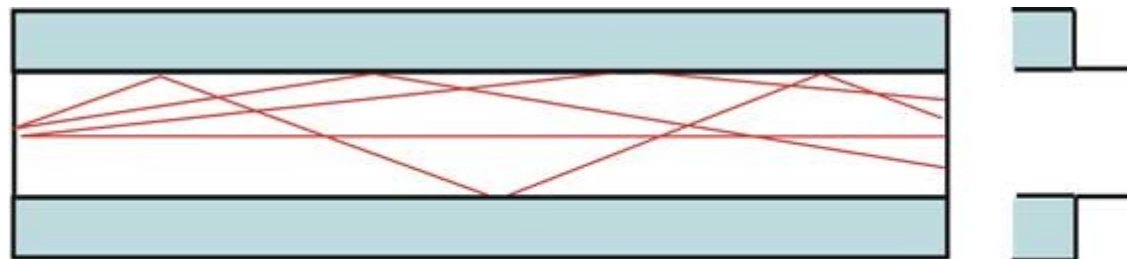
Fonte: labman.phys.utk.edu



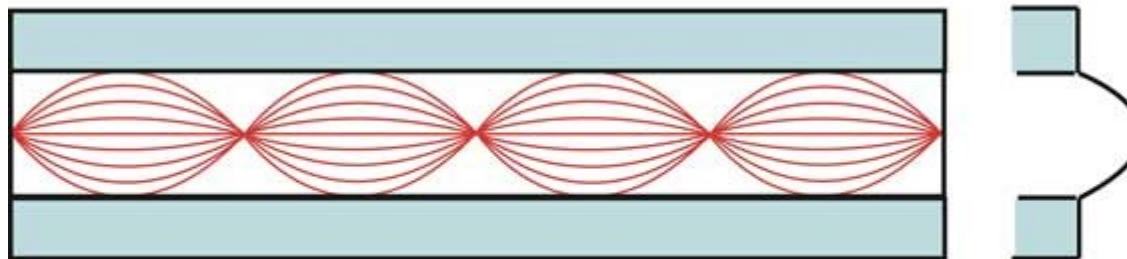
Fibra ótica - multimodo

A fibra multimodo (Multi Mode – MM) tem um núcleo da ordem de 50 ou 62,5 microns, e suporta a transmissão de vários modos ou “raios” de luz.

As fibras multimodo podem ser ainda de dois tipos: Step Index e Graded Index.



Multimode, Step-index

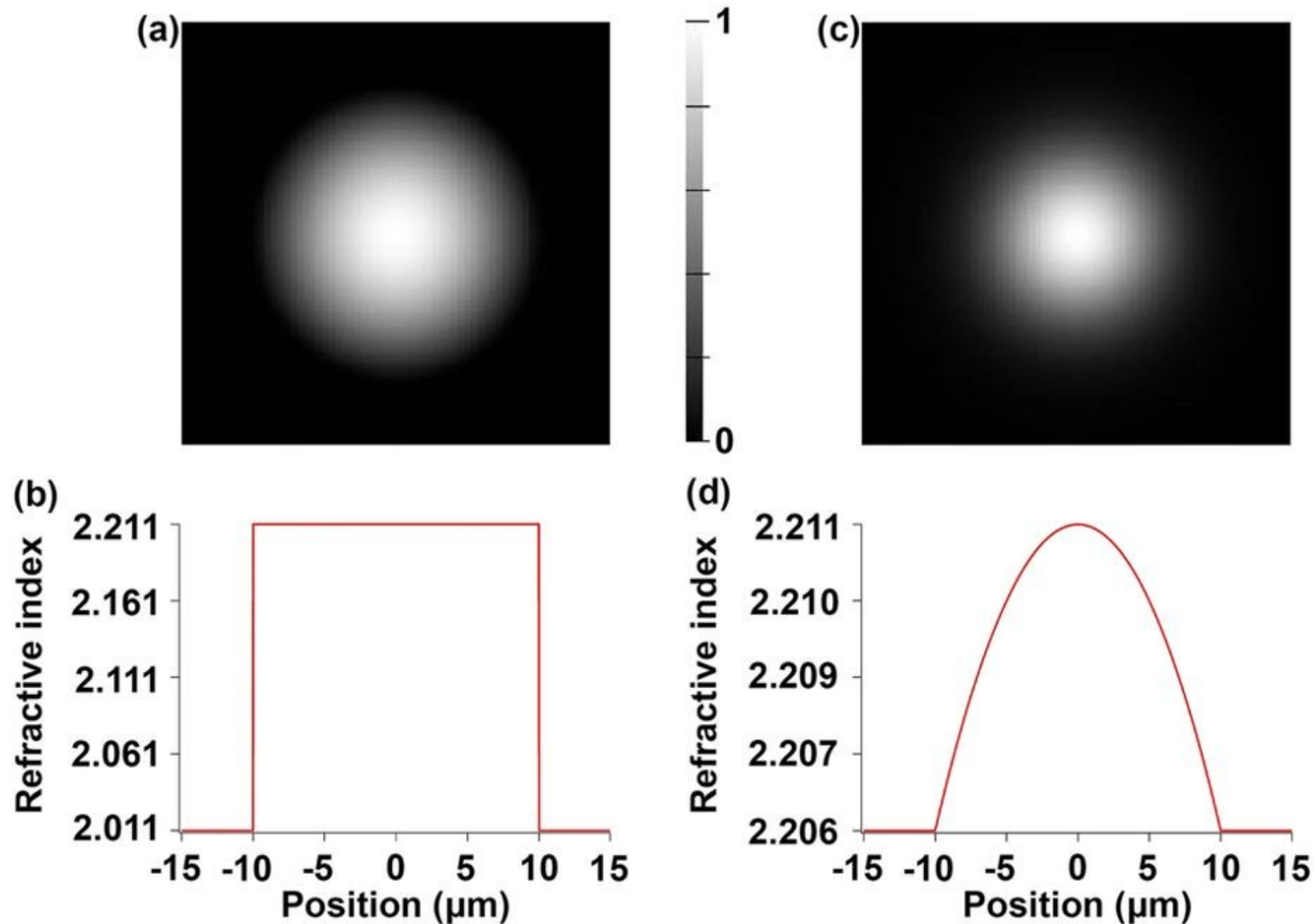


Multimode, Graded Index

Fonte: www.thefoa.org



Fibra ótica - multimodo



Fonte: K. Veenhuizen, S. McAnany, D. Nolan, B. Aitken, V. Dierolf, and H. Jain, "Fabrication of graded index single crystal in glass," Sci. Rep. 7, 44327 (2017)



Fibra ótica - multimodo - step index

A fibra multimodo do tipo Step Index possui o núcleo (core) com índice de refração único e a casca (cladding) com outro índice de refração menor que o núcleo.

Este tipo de fibra possui uma atenuação mais alta e é muito lenta para muitos usos, devido à dispersão causada pelos diferentes comprimentos de caminho dos vários modos que viajam no núcleo.

O tipo de material usado pode ser POF (Plastic Optical Fiber), PCS (Plastic Clad Silica) ou HCS (Hard Clad Silica).

A fibra multimodo do tipo Step Index não é amplamente utilizada.

Fonte: www.thefoa.org



Fibra ótica - multimodo - graded index

A fibra multimodo do tipo Graded Index possui o núcleo (core) com índices de refração variável, que são usados para minimizar a dispersão modal causada por diferentes comprimentos de caminho dos diferentes modos sendo transmitidos pela fibra.

O perfil do índice central é curvado, com um vidro de índice inferior na parte externa do núcleo. O vidro indicador mais baixo transmite os raios de luz de ângulo mais alto (chamados modos de alta ordem) mais rapidamente do que o vidro indicador mais próximo do centro do núcleo.

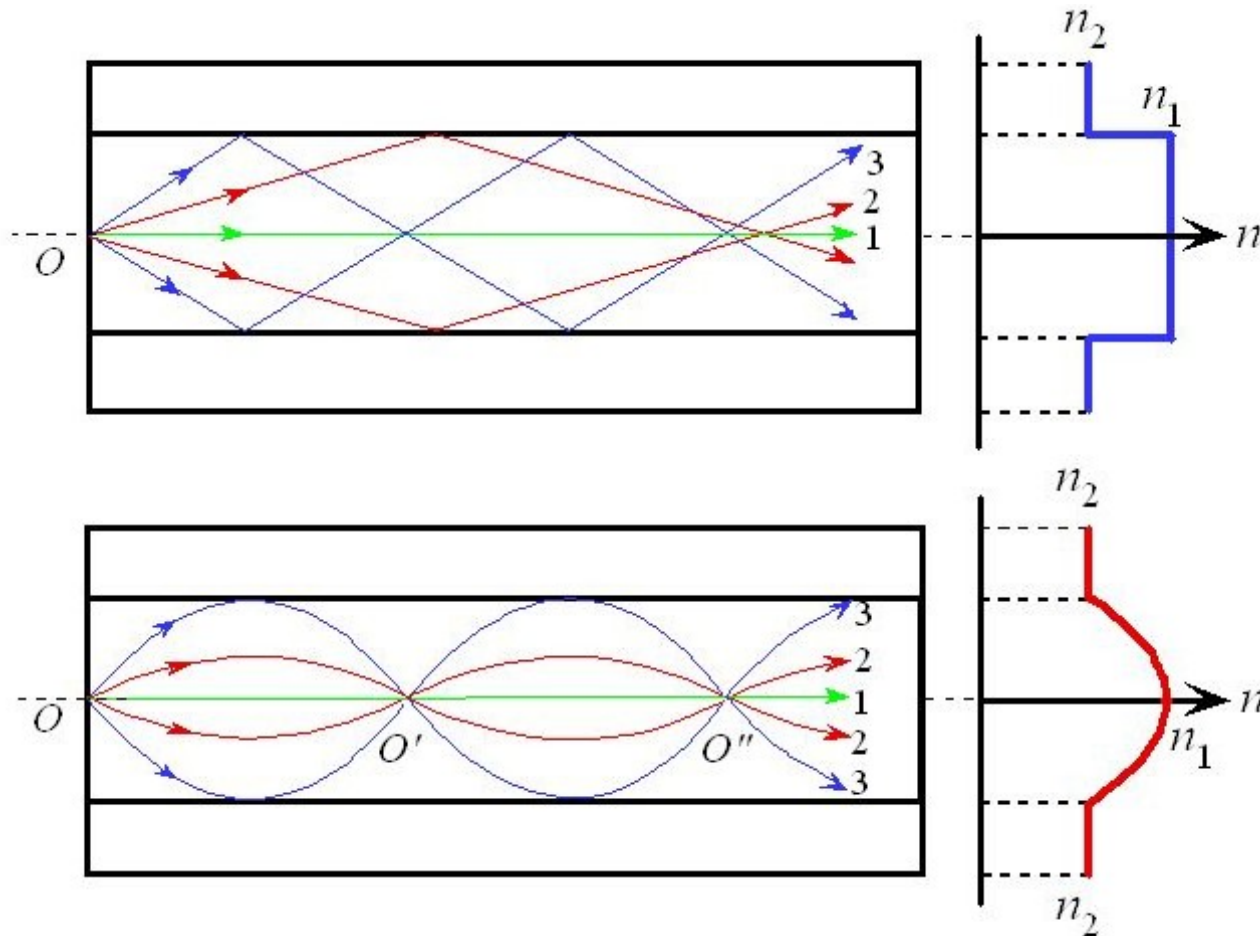
O tipo de material usado é o vidro.

A fibra multimodo do tipo Graded Index é amplamente utilizada em redes locais e ambientes de Data Center.

Fonte: www.thefoa.org



Fibra ótica - multimodo



(a) Multimode step index fiber. Ray paths are different so that rays arrive at different times.

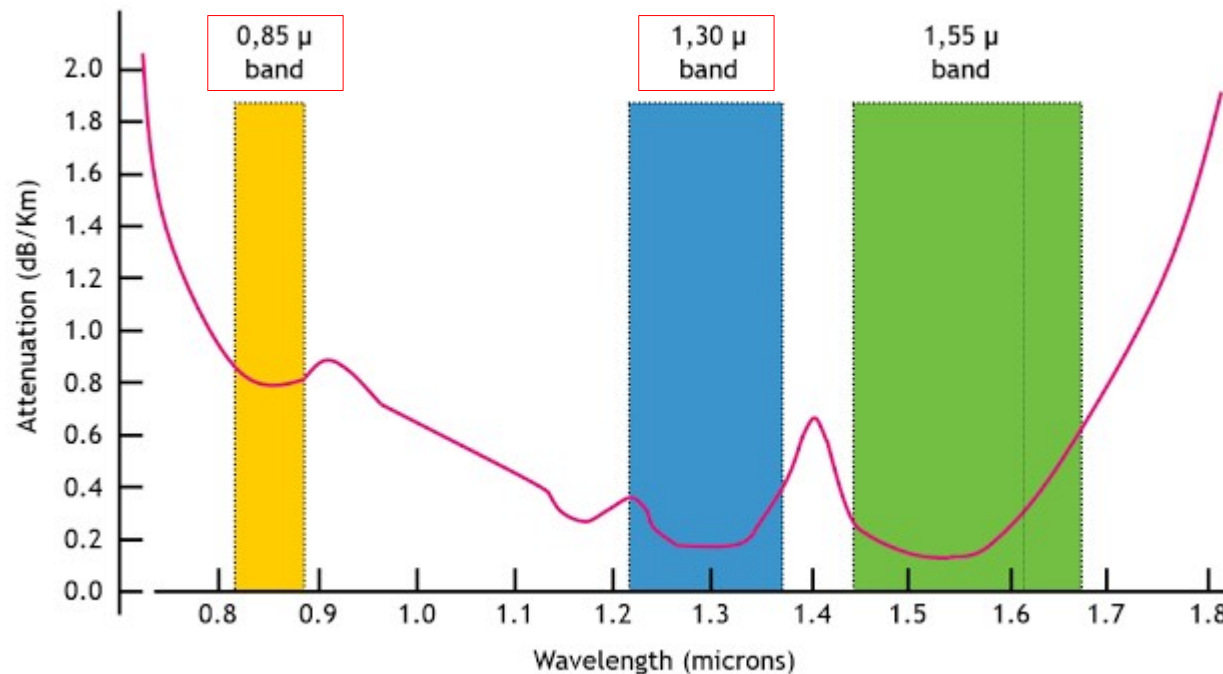
(b) Graded index fiber. Ray paths are different but so are the velocities along the paths so that all the rays arrive at the same time.

© 1999 S.O. Kasap, *Optoelectronics* (Prentice Hall)



Fibra ótica - multimodo

As fibras multimodo são geralmente usadas com fontes de LED de 850 nm e 1300 nm para redes locais mais lentas (LAN), e lasers de 850 nm (VCSEL*) ou 1310 nm (Fabry-Perot) para redes que operam em gigabits por segundo ou mais.



Fonte: www.thefoa.org

*Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser



Fibra ótica - monomodo

A fibra monomodo (Single Mode – SM) tem um núcleo com diâmetro de 8 a 10 microns, especificado como “diâmetro do campo de modo”, e um diâmetro de revestimento de 125 microns, de modo que a luz viaja em apenas um modo, ou em outras palavras, como um feixe luz bem determinado.



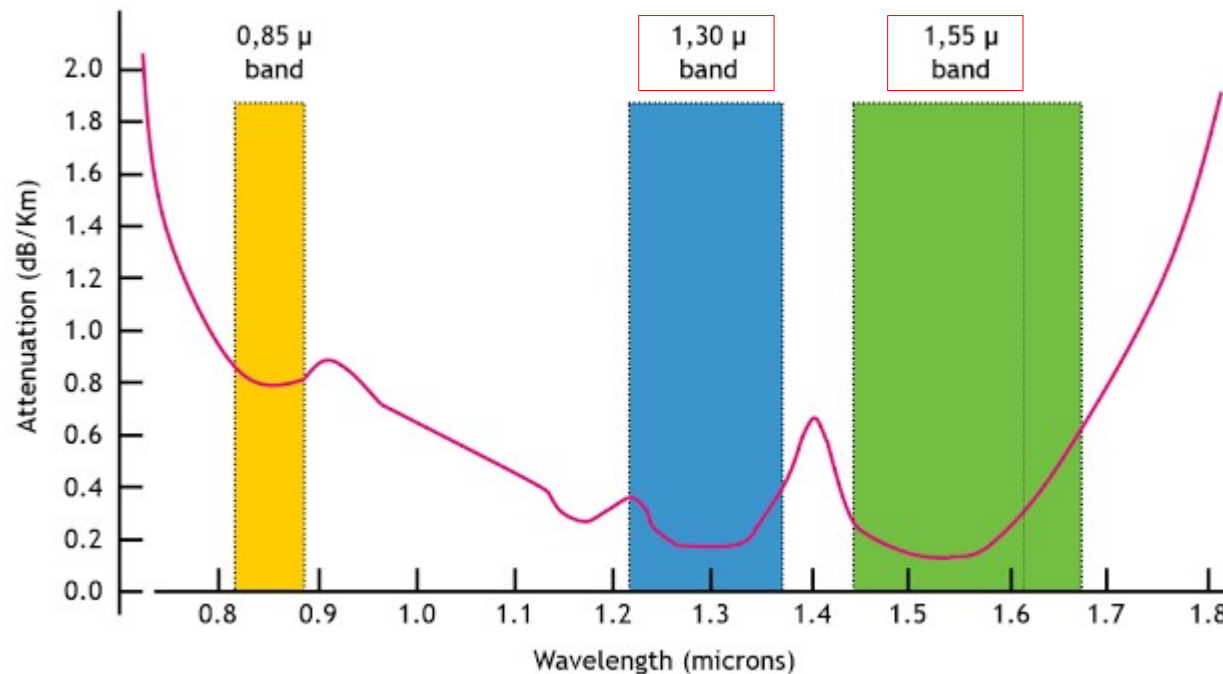
Como existe apenas um modo, não há problema com a dispersão modal e a escolha do material do núcleo pode reduzir a dispersão cromática, o que aumenta a largura de banda para quase 100 THz.

Fonte: www.thefoa.org



Fibra ótica - monomodo

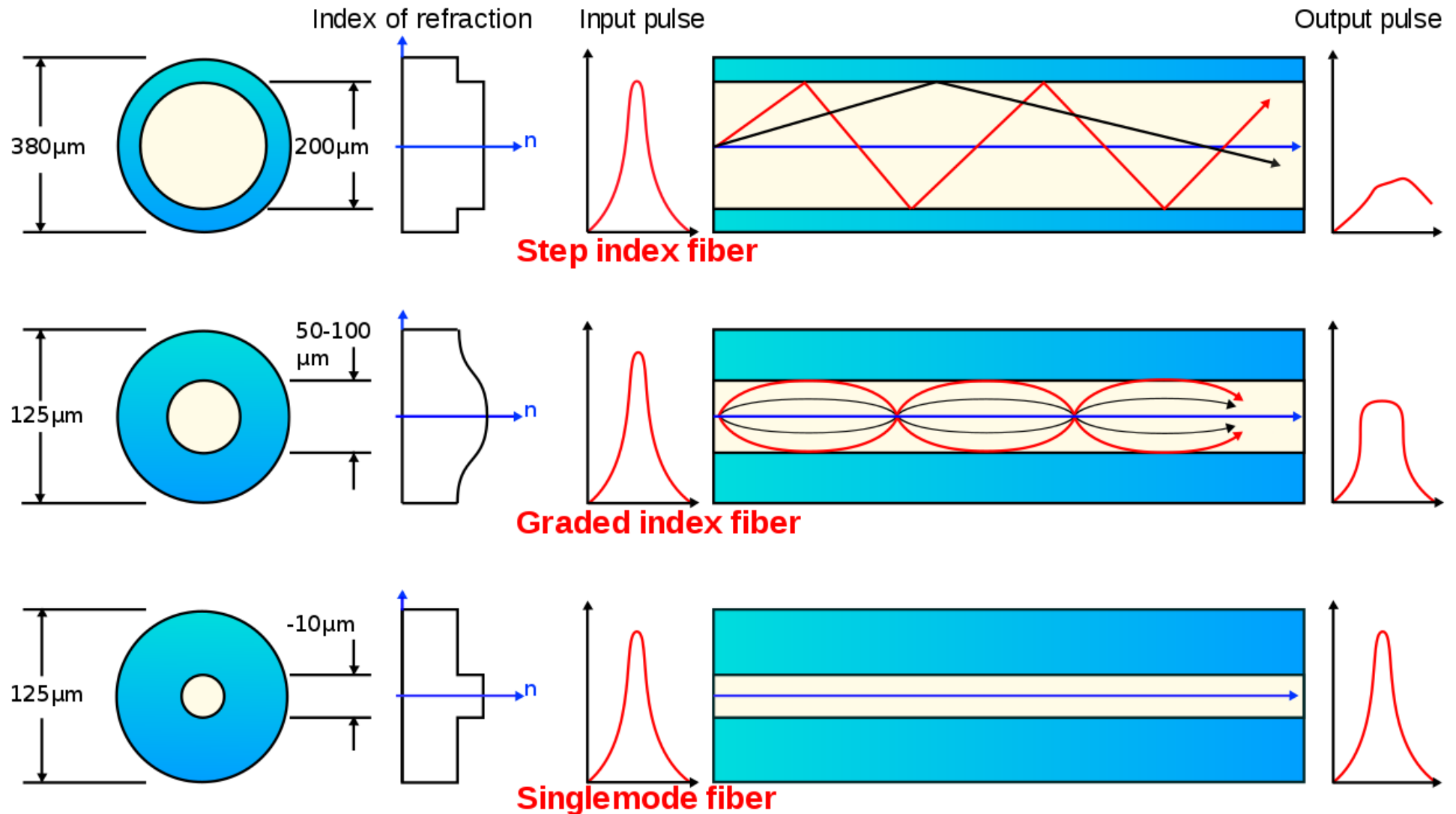
As fibras monomodo são usadas principalmente com fontes de laser de 1310 nm e 1550 nm, pois possui menor perda e largura de banda praticamente infinita.



Fonte: www.thefoa.org



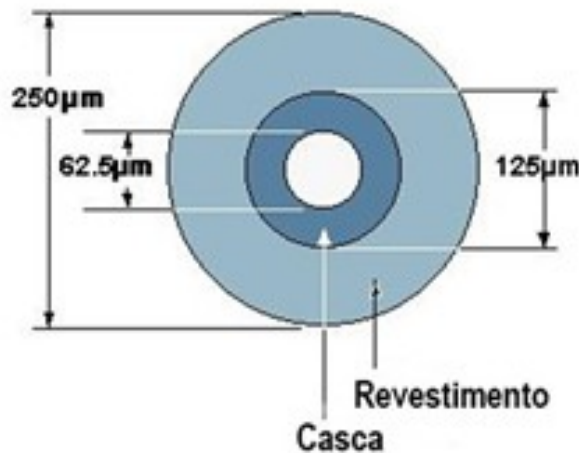
Fibra ótica - comparativo



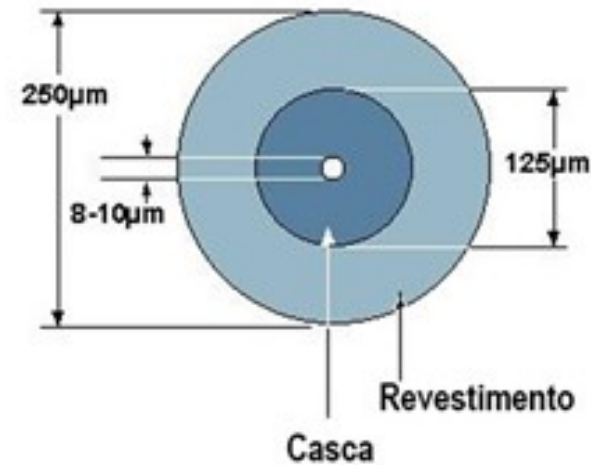
Fonte: www.thefoa.org



Fibra ótica - espessura



Multimodo



Monomodo



Multimode
50/125 μm



Multimode
62.5/125 μm



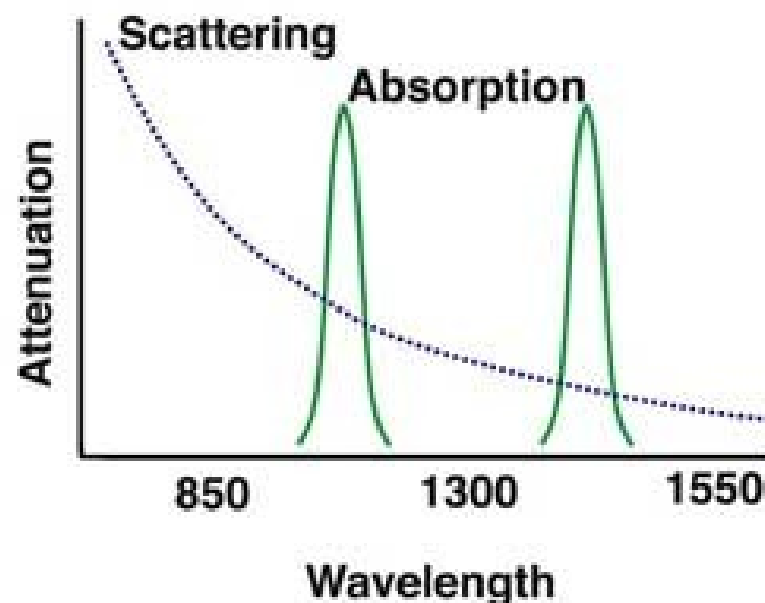
Single-mode
9/125 μm



Fibra ótica - atenuação

A principal especificação da fibra ótica é a sua atenuação, que nada mais é que a perda de potência ótica.

A atenuação de uma fibra ótica é expressa pelo coeficiente de atenuação, definido como a perda da fibra por unidade de comprimento, em dB/km.



Fonte: www.thefoa.org



Fibra ótica - atenuação

A atenuação da fibra ótica é consequência de dois fatores: a absorção da luz (absorption) e o espalhamento da luz (scattering).

A absorção (absorption) é causada pela absorção da luz e pela conversão em calor pelas moléculas no vidro.

Os absorvedores primários são OH^+ residuais e dopantes usados para modificar o índice de refração do vidro.

Essa absorção ocorre em comprimentos de onda discretos, determinados pelos elementos que absorvem a luz.

A absorção de OH^+ é predominante e ocorre mais fortemente em torno de 1000 nm, 1400 nm e acima de 1600 nm.

Fonte: www.thefoa.org



Fibra ótica - atenuação

O espalhamento (scattering) ocorre quando a luz colide com átomos individuais no vidro e é anisotrópica.

A luz dispersa em ângulos fora da abertura numérica da fibra será absorvida no revestimento ou transmitida de volta à fonte.



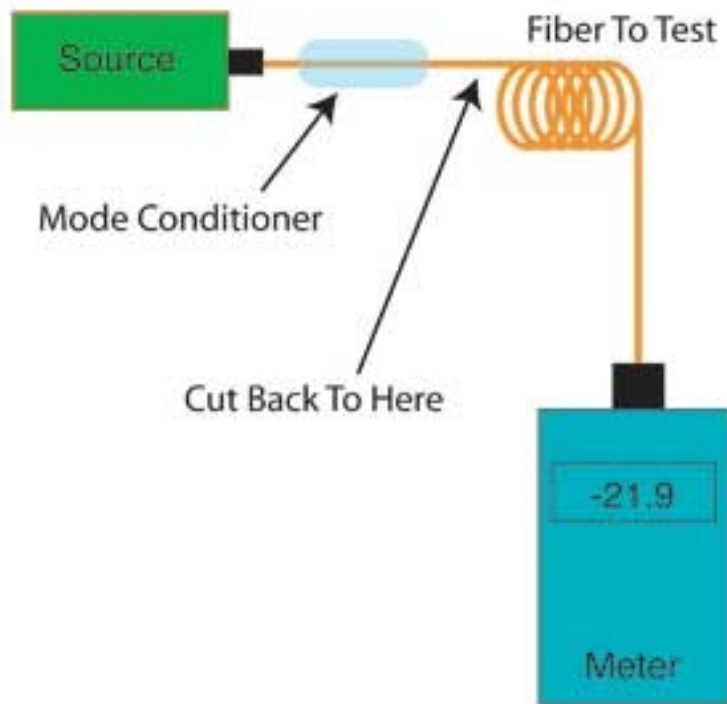
Anisotropia é um fenômeno que descreve como certas propriedades físicas de um mesmo corpo dependem da direção em que são medidas.

Fonte: www.thefoa.org



Fibra ótica - atenuação

A forma mais precisa de se medir o coeficiente de atenuação de uma dada fibra é através da transmissão de um comprimento de onda conhecido através da mesma e a medição das alterações ao longo do caminho.



$$\text{Attenuation Coefficient} = \frac{P(\text{end}) - P(\text{source}) \text{ (dB)}}{\text{Length (km)}}$$



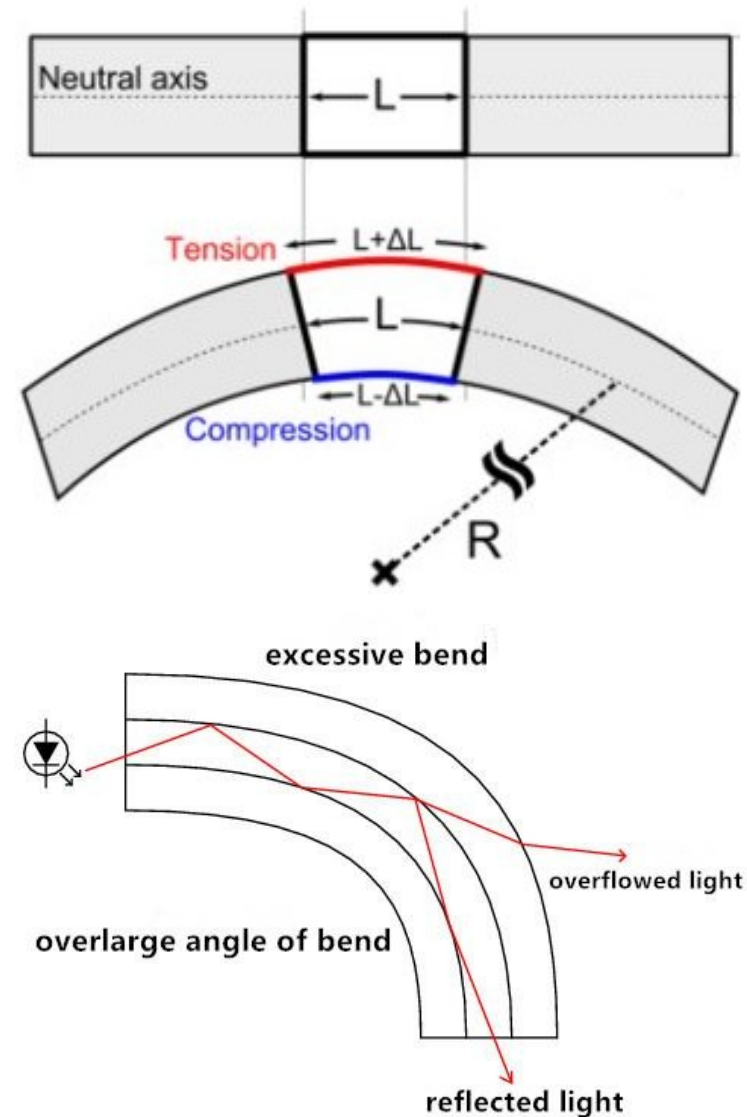
Fibra ótica - curvatura

Cabos de fibra ótica usados para conectar equipamentos em ambientes de *datacenter* necessitam serem instalados em *racks* ou dispostos sob o piso elevado, de modo que os cabos estão sujeitos a curvas apertadas.

A fibra ótica é sensível ao estresse, e quando estressada por flexão, a luz na parte externa do núcleo não é mais guiada no núcleo da fibra, de modo que parte do sinal é perdido, principalmente seção estressada da fibra.

Cabos de fibra não podem ser dobrados, e a curvatura excessiva pode causar perdas no sinal.

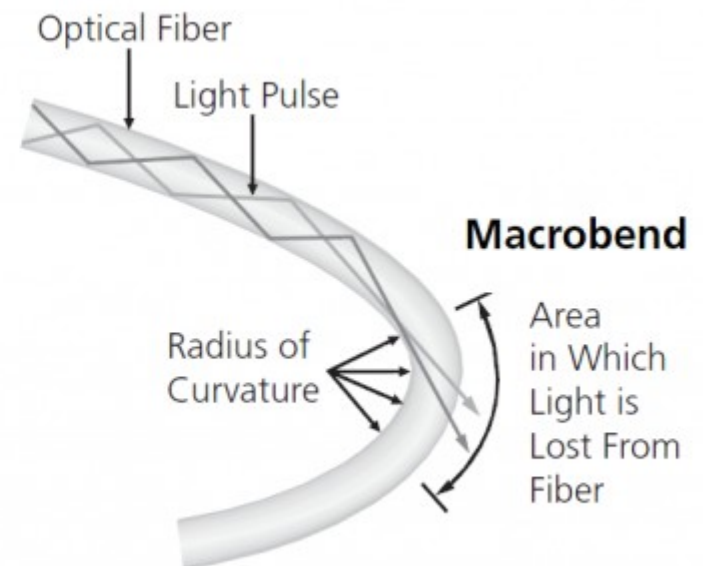
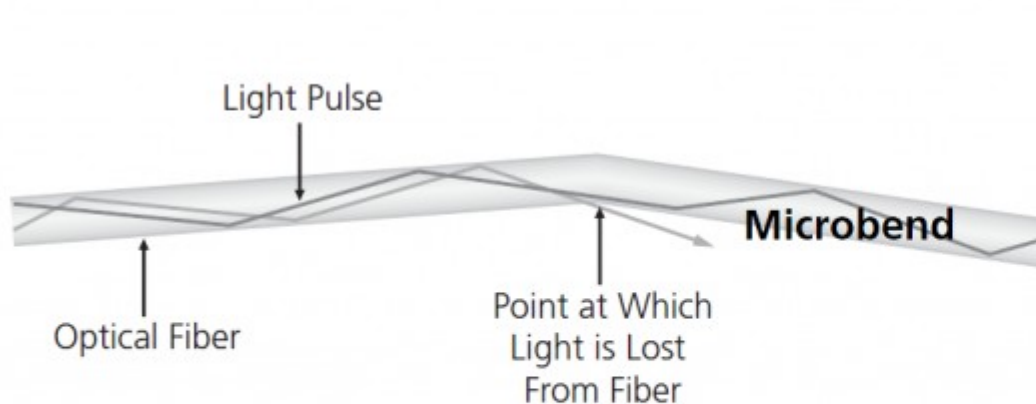
Fonte: www.thefoa.org





Fibra ótica - curvatura

As dobras a que um cabo de fibra estão sujeitos podem ser do tipo *microbend*, que são dobras muito pequenas ou deformidades na fibra; ou do tipo *macrobend*, que são dobras maiores.





Fibra ótica - curvatura

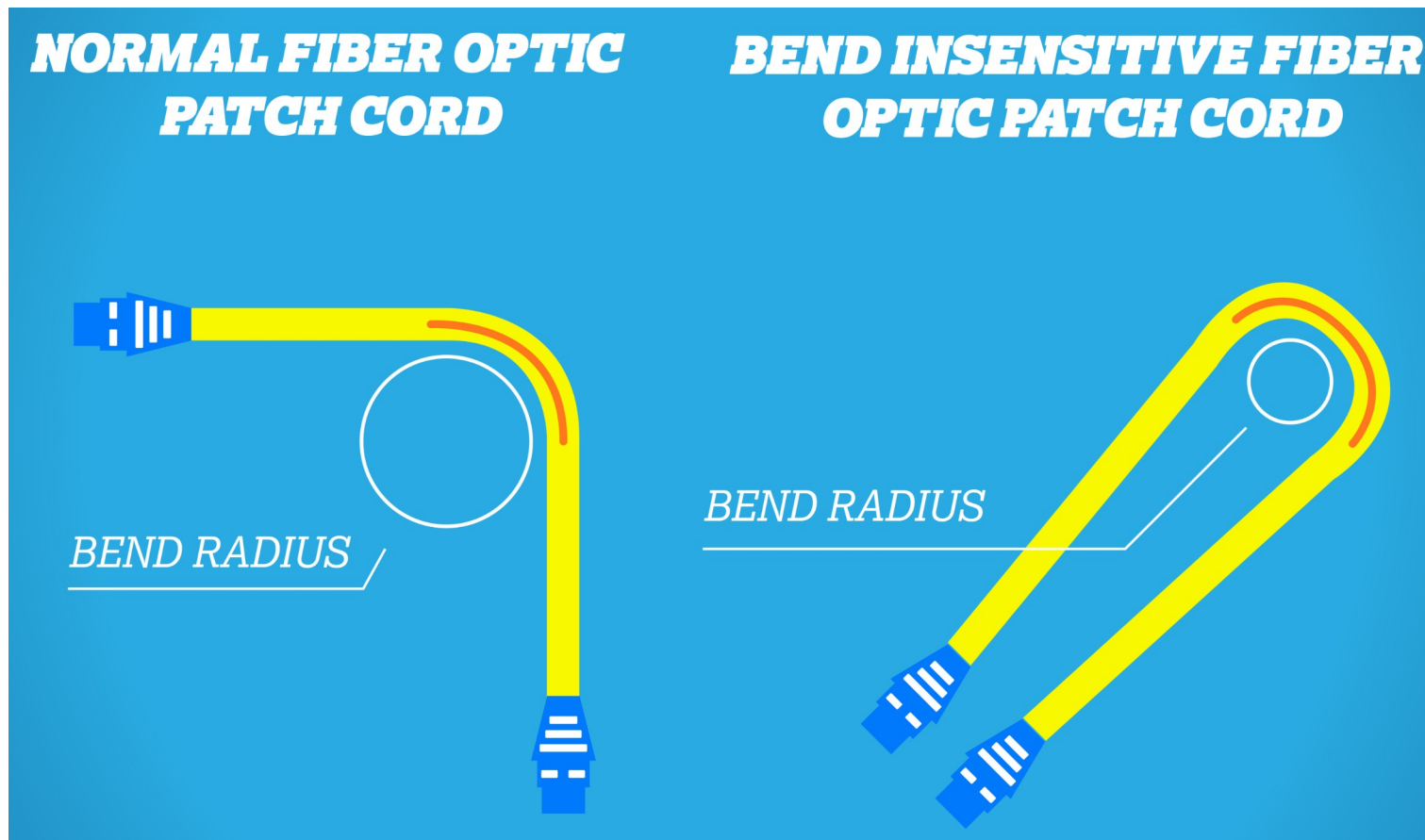
Os revestimentos e cabos de fibra são projetados para evitar perdas de sinal causadas pela flexão. As perdas por flexão são uma função do tipo de fibra (SM ou MM), projeto da fibra (diâmetro do núcleo e abertura numérica), comprimento de onda da transmissão (comprimentos de onda maiores são mais sensíveis ao estresse) e projeto do cabo.

Em 2007, foi introduzido um novo tipo de fibra monomodo “insensível à flexão”, seguida por fibra multimodo em 2009.



Fibra ótica - curvatura

Este tipo de fibra insensível à dobra é conhecido como “Bend-Insensitive Fiber”.

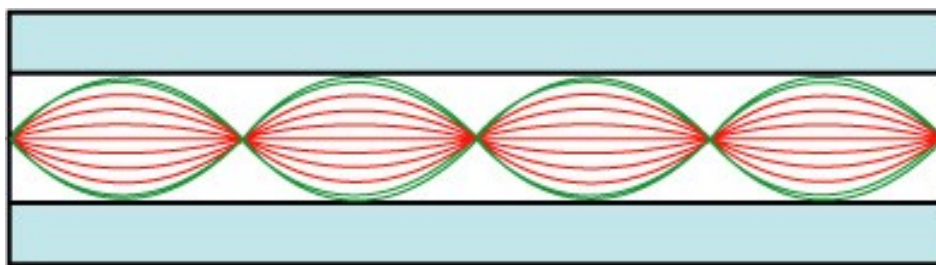


Fonte: www.thefoa.org



Fibra ótica - curvatura

Na fibra multimodo graded index, existem muitos modos sendo transmitidos pela fibra. Os modos internos são “fortemente guiados”, o que significa que eles têm pouca sensibilidade a tensões de flexão. Mas os modos externos são “fracamente guiados”, o que significa que podem ser desviados do núcleo quando a fibra é dobrada.



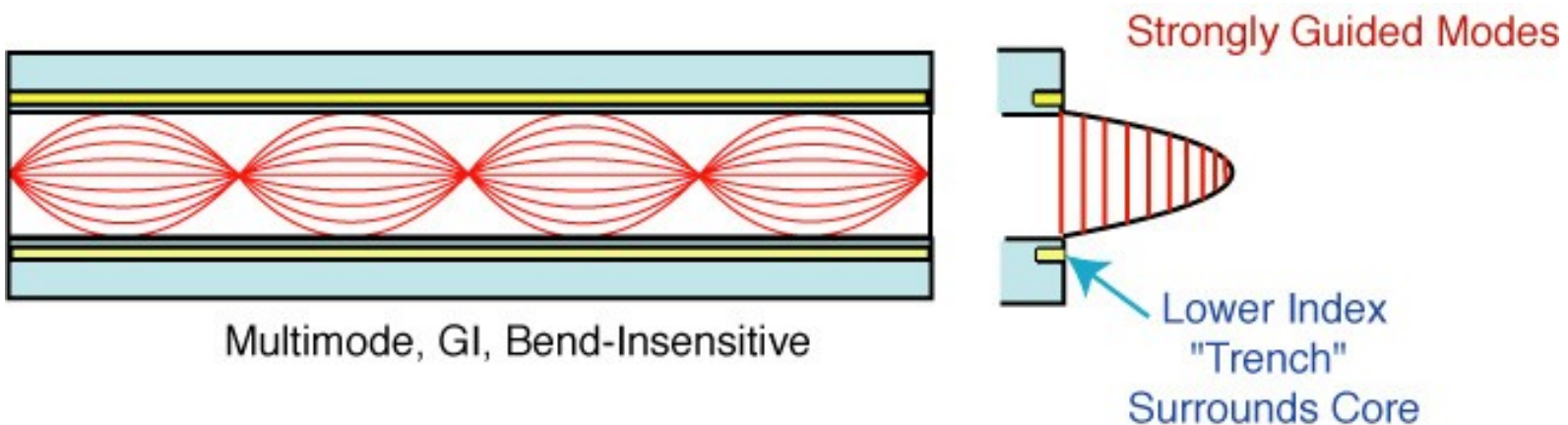
Multimode, Graded Index





Fibra ótica - curvatura

A fibra insensível à dobra adiciona uma camada de vidro ao redor do núcleo da fibra, conhecida como “trench”, que possui um índice de refração mais baixo que literalmente “reflete” os modos fracamente guiados de volta ao núcleo quando o estresse normalmente redireciona para revestimento. O “trench” é apenas um anel anular de vidro de índice inferior ao redor do núcleo com uma geometria cuidadosamente projetada para maximizar o efeito.



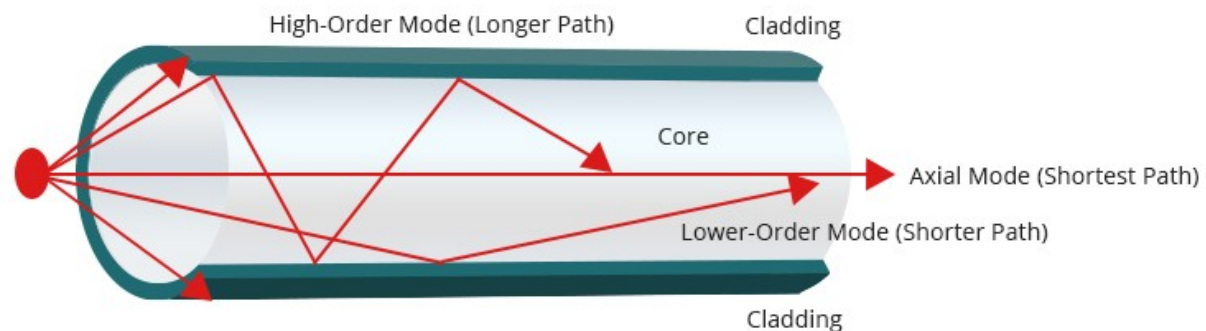
Fonte: www.thefoa.org



Fibra ótica - dispersão modal

A dispersão modal ocorre pelo fato de que o perfil do índice da fibra multimodo não é perfeito.

Em uma fibra ideal, todos os modos deveriam ter a mesma velocidade de grupo e não deveria existir a dispersão modal, mas na realidade, o perfil do índice é uma aproximação por partes e os modos não são todos transmitidos perfeitamente.



Fonte: www.thefoa.org

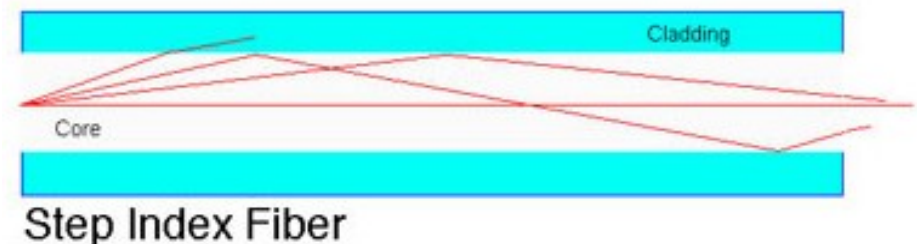


Fibra ótica - dispersão modal

Nas fibras multimodo alguns raios de luz viajam direto pelo eixo da fibra, enquanto todos os outros oscilam ou rebotam para frente e para trás dentro do núcleo.

Nas fibras do tipo step index, os raios que viajam fora do eixo, chamados "modos de ordem superior", rebotam para frente e para trás desde os limites do core e do cladding à medida que são transmitidos pela fibra.

Como esses modos de ordem superior viajam em distâncias maiores que os raios axiais, eles são responsáveis pela dispersão modal que limita a largura de banda da fibra.



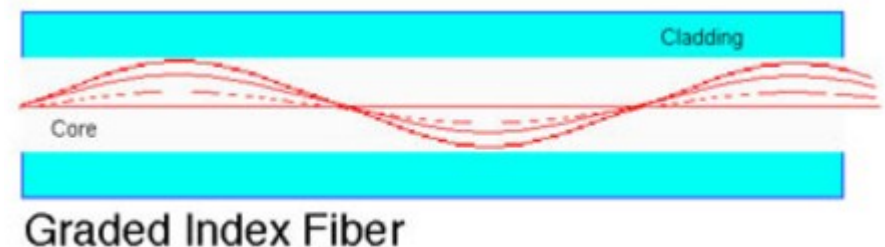
Fonte: www.thefoa.org



Fibra ótica - dispersão modal

Nas fibras do tipo grade index, a redução do índice de refração do core à medida que se aproxima do cladding faz com que os modos de ordem superior sigam um caminho curvo que é mais longo que o do raio axial (o “modo de ordem zero”), mas em virtude do menor índice de refração longe do eixo, a luz aumenta sua velocidade conforme se aproxima do cladding e precisa aproximadamente o mesmo tempo para viajar ao longo da fibra.

Portanto, a “dispersão” ou as variações no tempo de trânsito dos diferentes modos é minimizada, e a largura de banda da fibra é maximizada.



Fonte: www.thefoa.org



Fibra ótica - dispersão modal

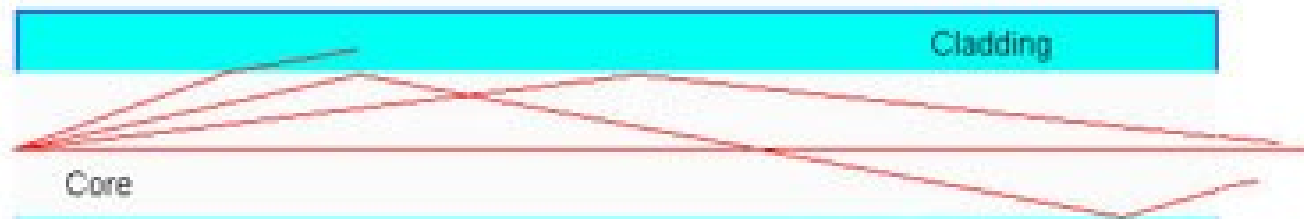
No entanto, o fato de que os modos de ordem superior viajem mais longe no núcleo de vidro faz com que eles tenham mais possibilidades de sofrer espalhamento ou absorção, as duas primeiras causas de atenuação da fibra óptica.

É assim que os modos de ordem superior vão sofrer uma atenuação maior que os modos de ordem inferior, e uma seção comprida de fibra totalmente cheia (todos os modos são lançados com o mesmo nível de potência) terá menor quantidade de potência nos modos de ordem superior da que teria a mesma fibra em uma distância menor.



Fibra ótica - dispersão modal

Modal Dispersion



Step Index Fiber



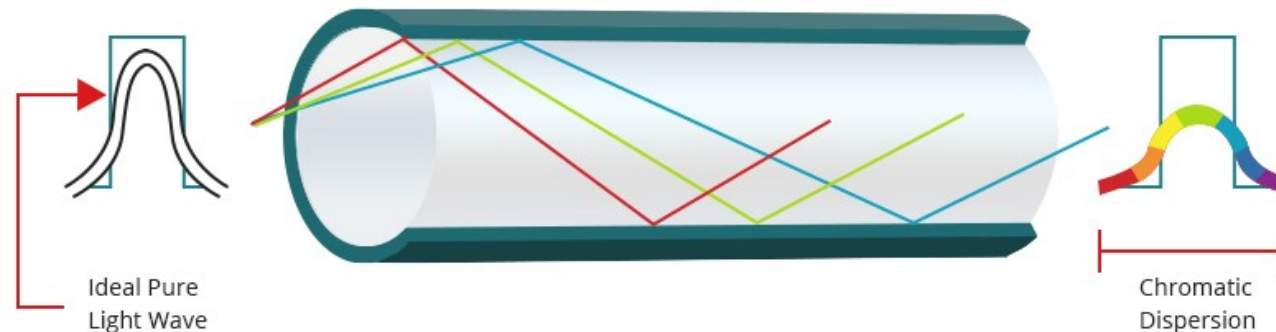
Graded Index Fiber



Fibra ótica - dispersão cromática

A dispersão cromática, que afeta tanto a fibra multimodo quanto a monomodo, espalha o espectro de luz incidente devido o fato de que a luz viaja a diferentes velocidades de acordo com a sua cor e é refratada em ângulos diferentes.

O índice de refração do vidro depende do comprimento de onda, portanto, uma fibra do tipo graded index fabricada cuidadosamente pode ser otimizada para apenas um único comprimento de onda, usualmente perto de 1300 nm, e a luz de outras cores sofrerá dispersão cromática.



Fonte: www.thefoa.org



Fibra ótica - dispersão cromática

A dispersão cromática é um grande problema com fontes LED na fibra multimodo, porque têm uma saída espectral ampla, a diferença dos lasers que concentram a maior parte da luz em uma faixa espectral estreita.

Os sistemas como o FDDI, que são baseados em LED emissores de superfície de saída espectral ampla, sofrem tal intensidade de dispersão cromática que a transmissão é limitada a apenas 2 km de fibra de 62,5/125.

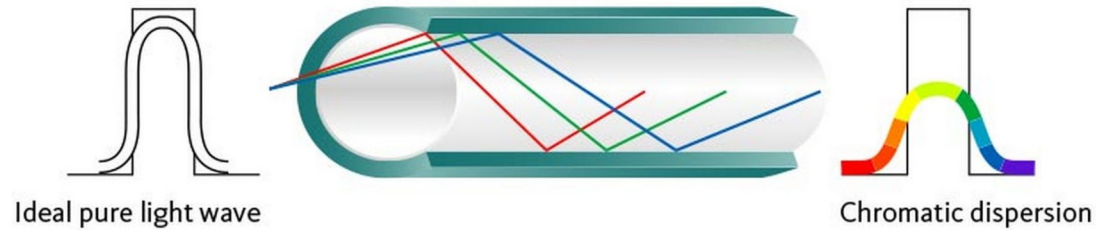
A dispersão cromática também afeta enlaces longos em sistemas monomodo, mesmo com lasers, é por isso que a fibra e as fontes são otimizadas para minimizar a dispersão cromática em enlaces de longa distância.

Fonte: www.thefoa.org

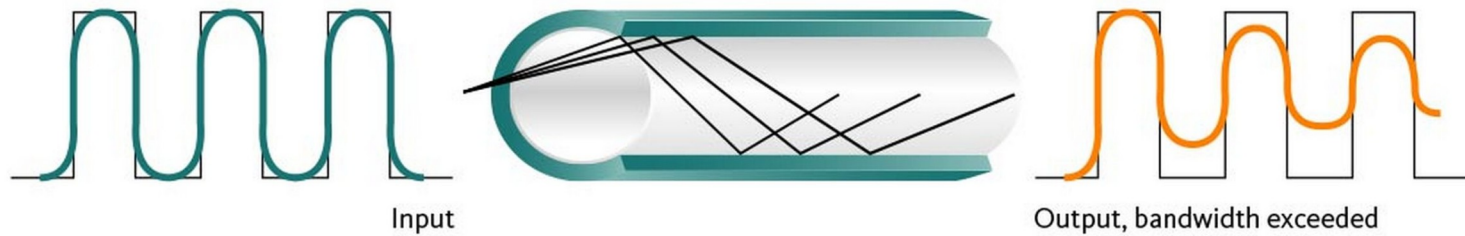


Fibra ótica - resumo

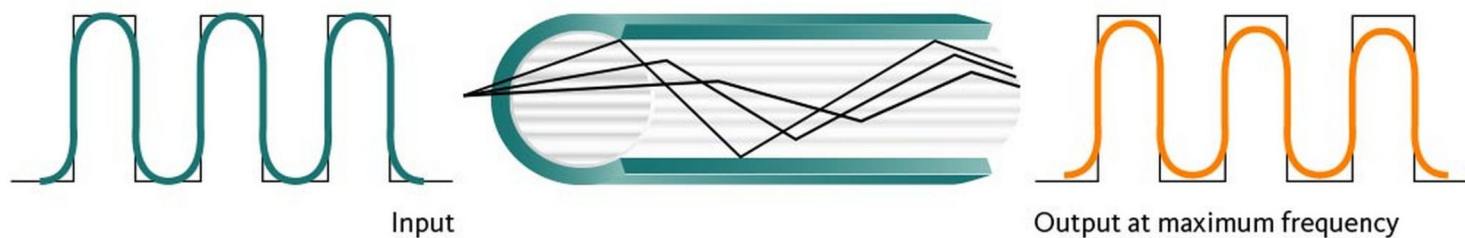
Chromatic Dispersion



Modal Dispersion (typical)



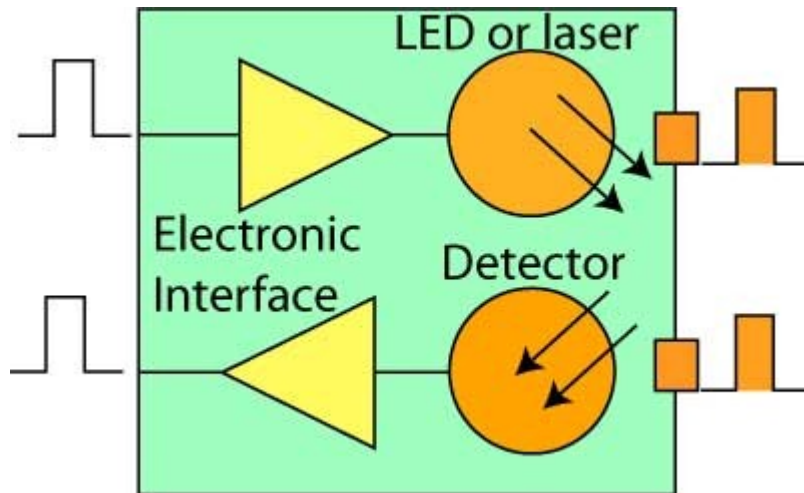
Modal Dispersion (graded index multimode)





Fibra ótica - transceiver

Um transceptor (transceiver) de fibra ótica é usado em cada extremidade de um enlace, e inclui um transmissor e um receptor que converte sinais do domínio elétrico para o domínio ótico e vice-versa.



Fonte: www.thefoa.org



Fibra ótica - transceiver

GBIC (Gigabit Interface Converter) é um transceptor ótico que converte sinais elétricos seriais em sinais óticos seriais e vice-versa. É comumente usado para fazer a interface de um sistema de fibra ótica com um Fibre Channel e Gigabit Ethernet e foi bastante popular nos anos 1990.



Fibra ótica - transceiver

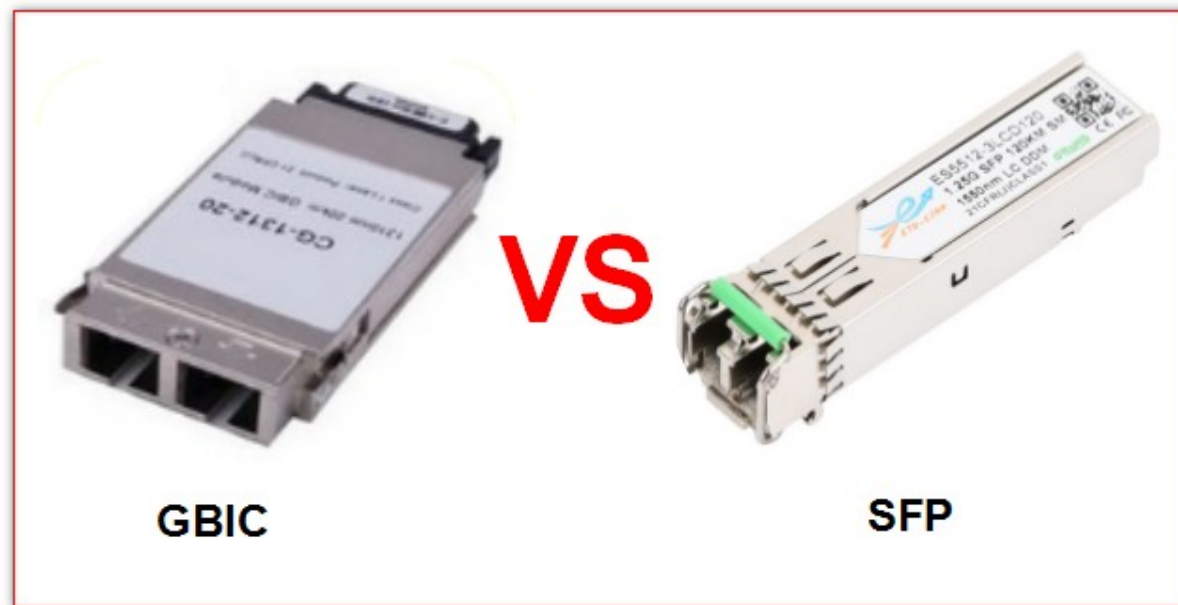
Optics Type	Standard	Data Rate	Wavelength	Fiber Type	Max Distance	Typical Connector	DOM	Operating Temperature
SFP	SFP MSA	155Mbps 622Mbps 1.25Gbps 2.125Gbps 2.5Gbps 3Gbps 4.25Gbps	850nm 1310nm 1550nm CWDM DWDM BIDI	OM1 OM2 OS1 OS2	160km	LC SC RJ-45	No or Yes	Commercial Industrial
GBIC	GBIC MSA	155Mbps 622Mbps 1.25Gbps	850nm 1310nm 1550nm CWDM DWDM BIDI	OM1 OM2 OS1 OS2	120km	SC RJ-45	No	Commercial Industrial
SFP+	IEEE802.3ae SFF-8431 SFF-8432	6Gbps 8.5Gbps 10Gbps	850nm 1310nm 1550nm CWDM DWDM BIDI Tunable Copper	OM3 OM4 OS1 OS2	120km	LC	Yes	Commercial Industrial
XFP	IEEE802.3ae XFP MSA	6Gbps 8.5Gbps 10Gbps	850nm 1310nm 1550nm CWDM DWDM BIDI Tunable Copper	OM3 OM4 OS1 OS2	120km	LC	Yes	Commercial Industrial



Fibra ótica - transceiver

SFP (Small Form-Factor Pluggable) é uma versão atualizada do GBIC.

Por ser menor que o GBIC, é possível ter mais interfaces na mesma placa ou switch.



As funções de ambos os módulos são basicamente as mesmas.

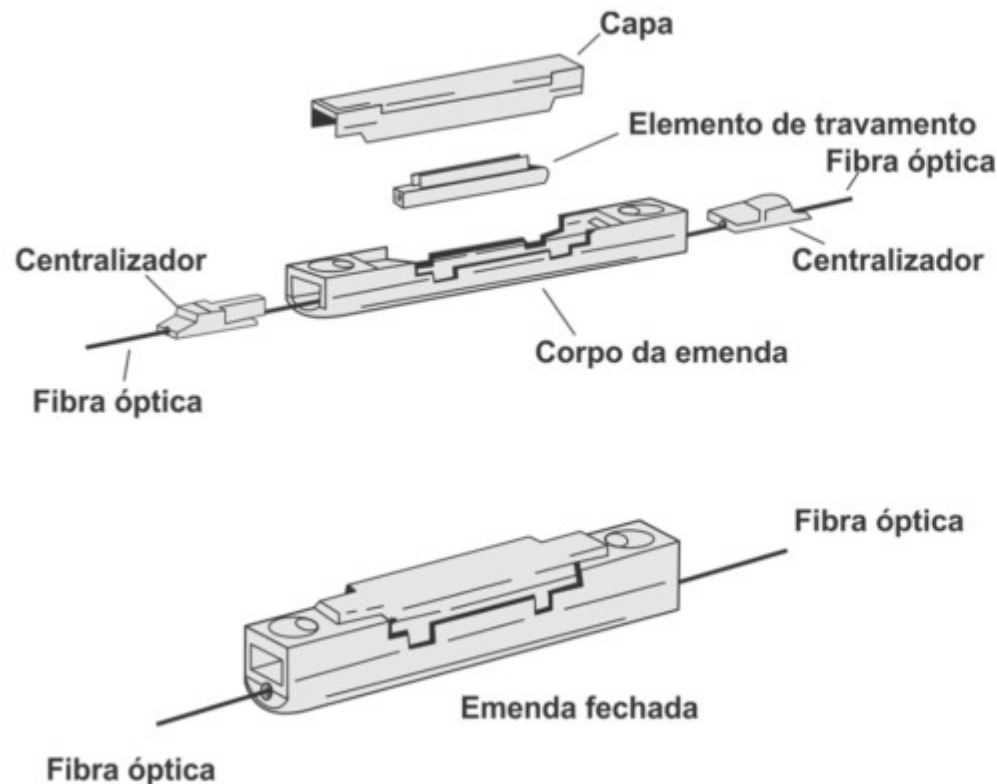
Fonte: www.thefoa.org



Fibra ótica - emendas

As emendas de fibra podem ser do tipo mecânica ou por fusão.

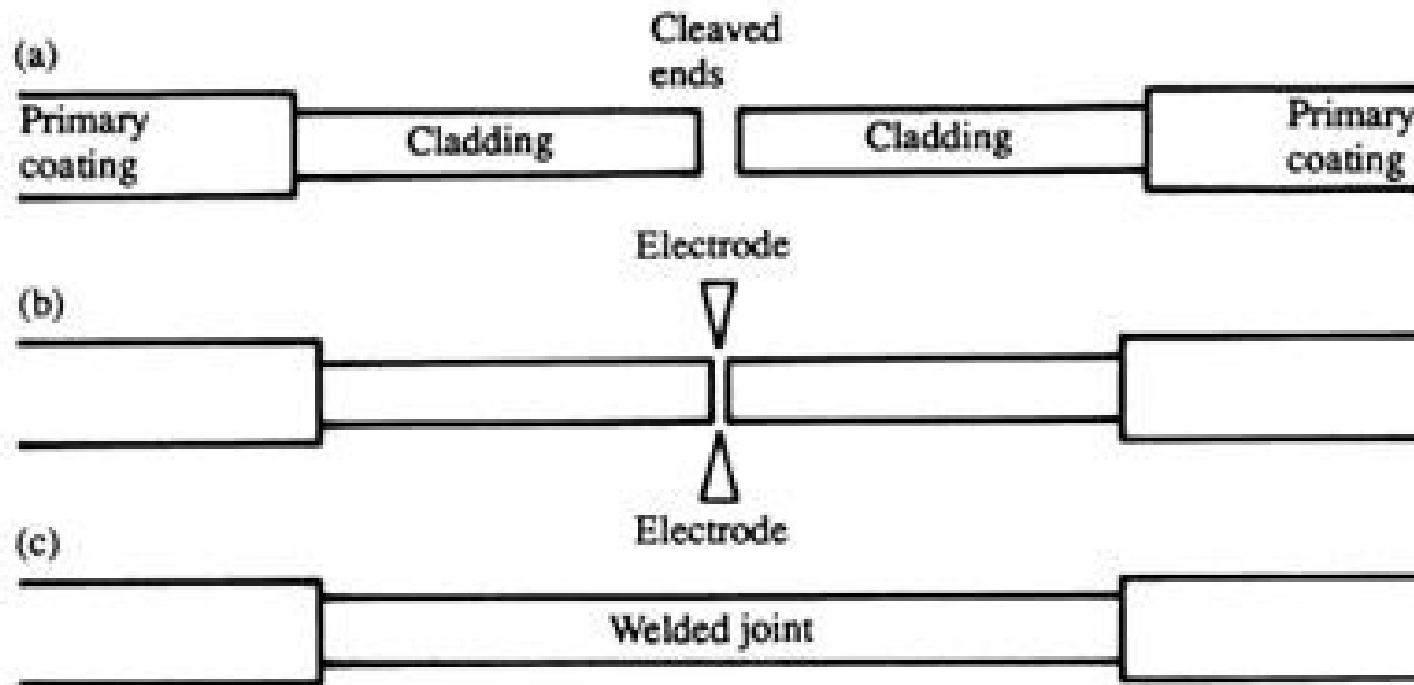
Na emenda mecânica as partes são clivadas (cortadas), limpas e alinhadas.





Fibra ótica - emendas

Na emenda por fusão as partes são clivadas (cortadas), limpas, alinhadas e submetidas a um arco elétrico que funde as extremidades da fibra.





Fibra ótica - emendas

No processo de emendas pode ocorrer alguns dos seguintes defeitos:



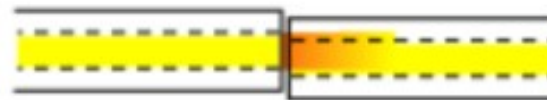
End Gap



NA Mismatch



Axial Run-out



Concentricity



Finish and Dirt



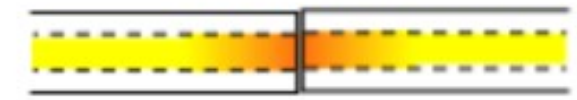
Core Mismatch



End Angle



Coaxiality



Back Reflection (Return Loss)

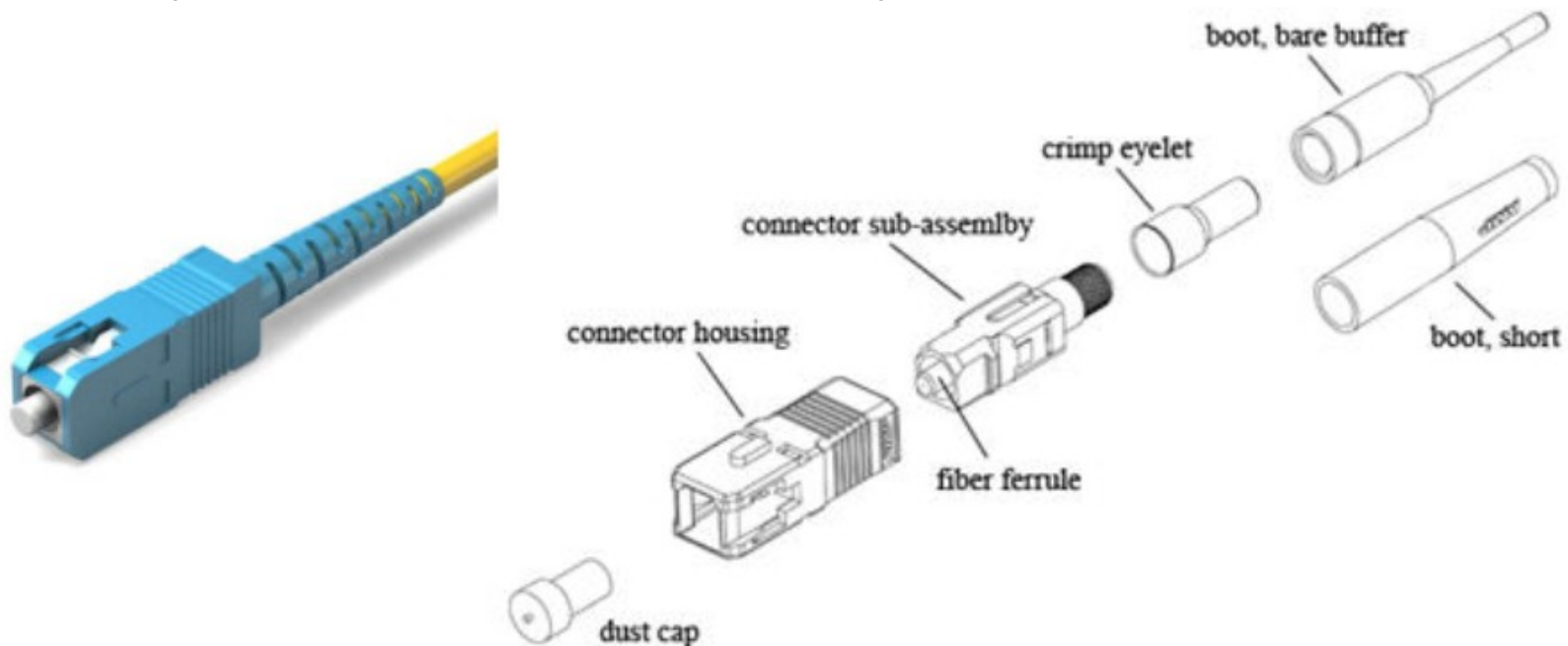
Fonte: www.thefoa.org



Fibra ótica - conectores

Embora o projeto mecânico de conectores de cabos de fibra ótica varie muito de acordo com o modelo e aplicação, alguns elementos em comum podem ser identificados.

Ou seja, o conector é composto principalmente de ponteira de fibra (fiber ferrule), corpo de submontagem do conector (connector sub-assembly body), alojamento do conector (connector housing), cabo de fibra e alívio de tensão (bare buffer boot ou short boot).





Fibra ótica - conectores

Um conector de fibra ótica permite a terminação de uma fibra e permite uma conexão e desconexão mais rápidas do que as emendas.

Os conectores acoplam e alinham mecanicamente os núcleos das fibras para que a luz possa passar.

Conectores melhores perdem muito pouca luz devido à reflexão ou desalinhamento das fibras.

Ao todo, foram introduzidos no mercado cerca de 100 tipos diferentes de conectores de fibra ótica.





Fibra ótica - conectores

SMA (SubMiniature version A) - devido à sua estrutura de aço inoxidável e mecanismo de travamento de fibra rosqueada de baixa precisão, esse conector é usado principalmente em aplicações que exigem o acoplamento de feixes de laser de alta potência em fibras multimodo de núcleo grande.

As aplicações típicas incluem sistemas de entrega de feixes de laser em aplicações médicas, biomédicas e industriais.

A perda de inserção típica de um conector SMA é maior que 1 dB.



Fonte: www.newport.com



Fibra ótica - conectores

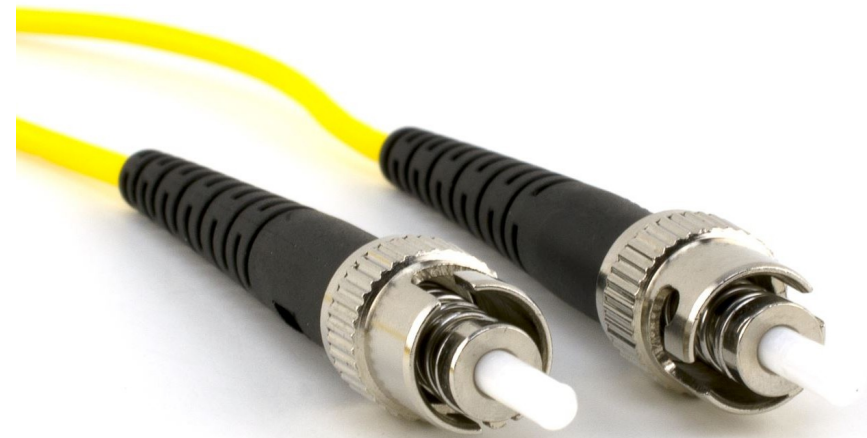
ST (Straight Tip) - é amplamente utilizado tanto em campo como em aplicações LAN internas de fibra ótica.

Sua ponteira de cerâmica de alta precisão permite seu uso com fibras multimodo e monomodo.

O estilo baioneta, mecanismo de acoplamento com chave, que trava o conector por pressão e giro, evita o aperto excessivo e danos à extremidade da fibra.

A perda de inserção do conector ST é inferior a 0,5 dB, com valores típicos de 0,3 dB sendo rotineiramente alcançados.

Fonte: www.newport.com





Fibra ótica - conectores

FC (Fiber Connector) – tornou-se a principal escolha para fibras monomodo e é usado principalmente em enlaces de comunicação de alta velocidade.

Esse conector de ponteira de cerâmica de alta precisão é equipado com uma chave antirotação, reduzindo os danos na face final da fibra e a sensibilidade do alinhamento rotacional da fibra.

Versões multimodo deste conector também estão disponíveis.

A perda de inserção típica do conector FC é de cerca de 0,3 dB.



Fonte: www.newport.com



Fibra ótica - conectores

SC (Subscriber Connector) – bastante popular em CATV analógico e enlaces implantados em campo.

O perfil quadrado externo dos conectores, combinado com seu mecanismo de acoplamento push-pull, permite maior densidade de conectores em instrumentos e painéis de conexões, e o seu corpo externo com chaveta evita a sensibilidade rotacional e os danos na face final da fibra.

A perda de inserção típica do conector SC é de cerca de 0,3 dB.



Fonte: www.newport.com



Fibra ótica - conectores

LC (Lucent Connector) - é um conector do tipo SFF (Small Form Factor ou Fator de Forma Pequeno) que usa uma ponteira de 1,25 mm, metade do tamanho do SC.

Este conector pode ser usado tanto para fibras monomodo como para multimodo, e vem ganhando a preferência dos fabricantes de equipamentos devido ao seu tamanho compacto e desempenho.



Fonte: www.newport.com



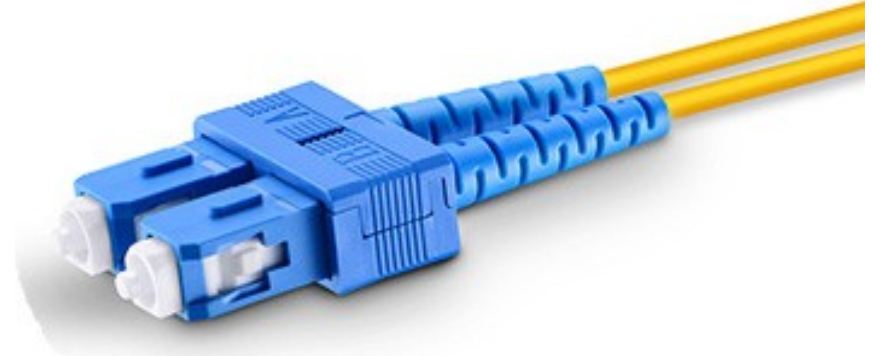
Fibra ótica - conectores



Duplex LC Fiber connector

vs

Simplex LC Fiber Connector



Duplex SC Fiber connector

vs

Simplex SC Fiber Connector



Fonte: fs.com



Fibra ótica - host bus adapter

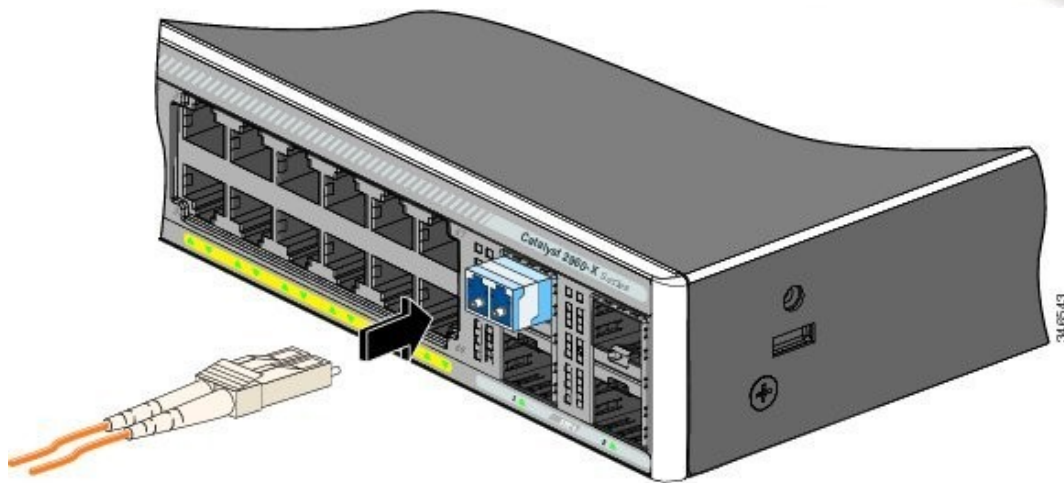
O HBA (Host Bus Adapter) conecta um computador ou outro host a outros dispositivos de rede e de armazenamento.



Fonte: www.thefoa.org



Fibra ótica - switch



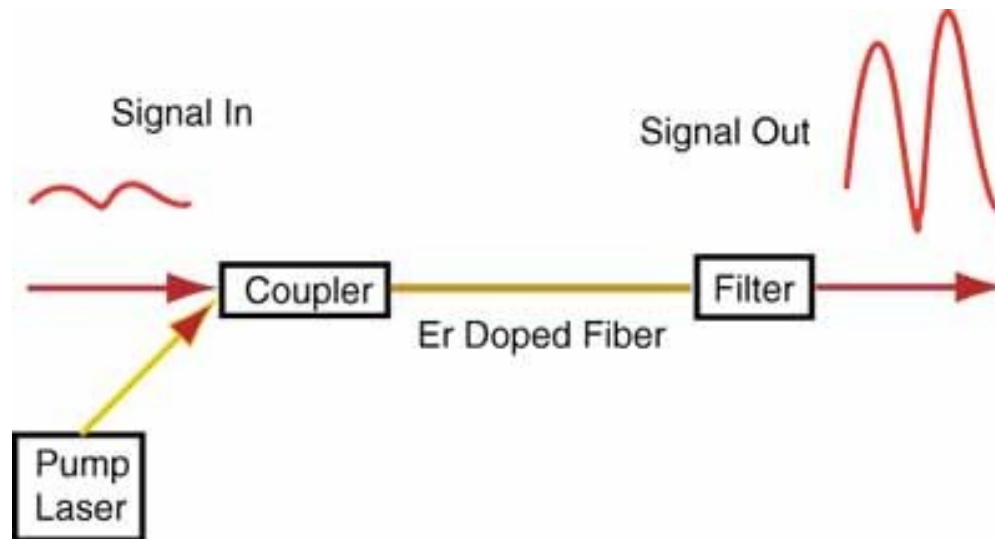
Fonte: fs.com



Fibra ótica - amplificador

Um amplificador ótico é um dispositivo que amplifica um sinal ótico diretamente sem a ter de primeiro convertê-lo em um sinal elétrico.

O EDFA (erbium-doped fiber amplifier) é o amplificador de fibra mais utilizado, pois sua janela de amplificação coincide com a terceira janela de transmissão de fibra óptica à base de sílica.

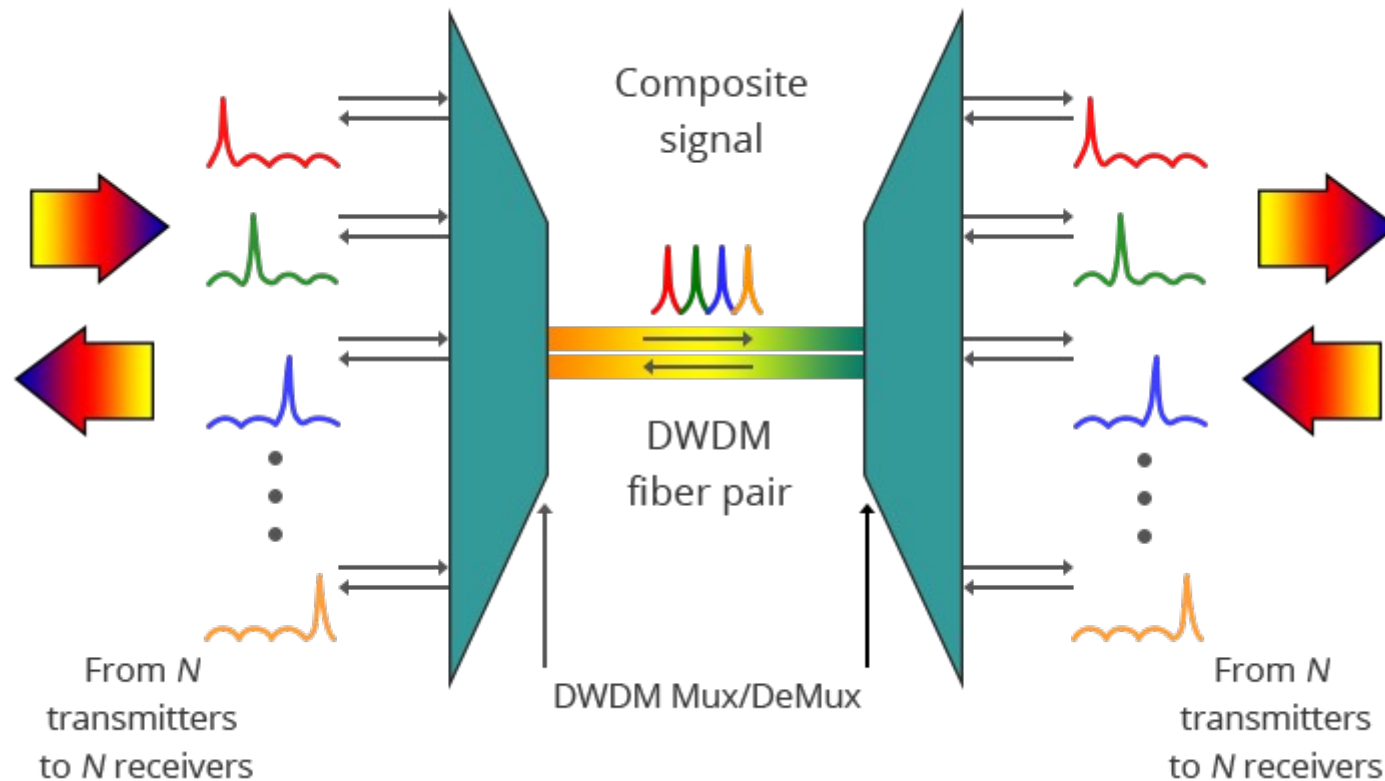


Fonte: www.thefoa.org



Fibra ótica - multiplexação

Uma forma de transmitir vários sinais em um mesmo enlace de fibra é por meio da multiplexação por divisão de comprimento de onda (Wavelength-Division Multiplex, ou WDM).



Fonte: www.thefoa.org



Fibra ótica - OTDR

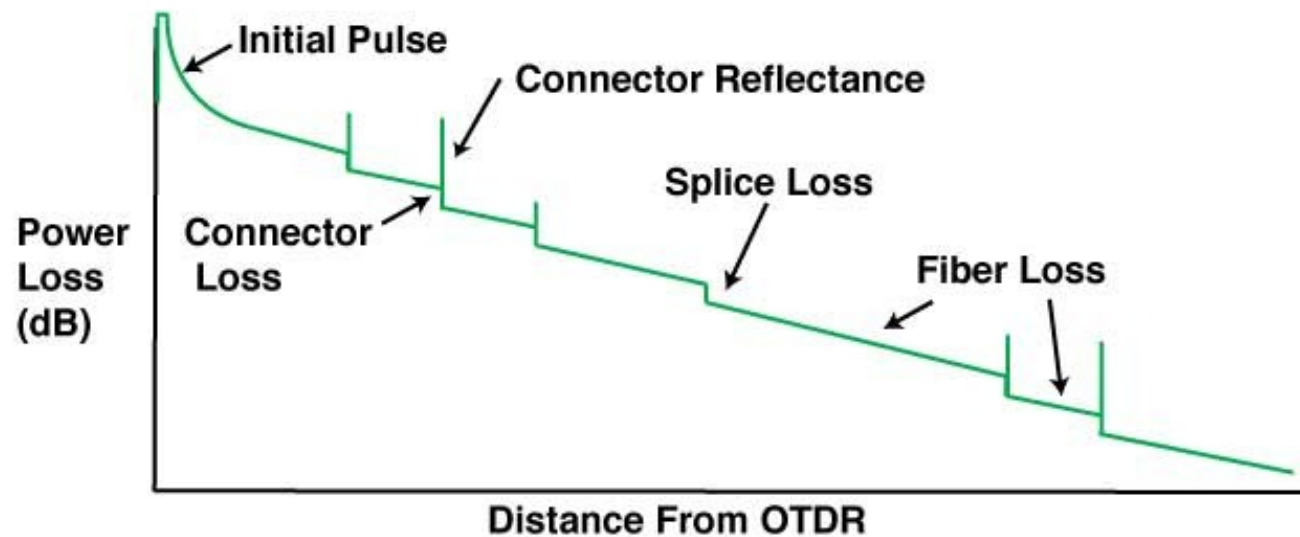
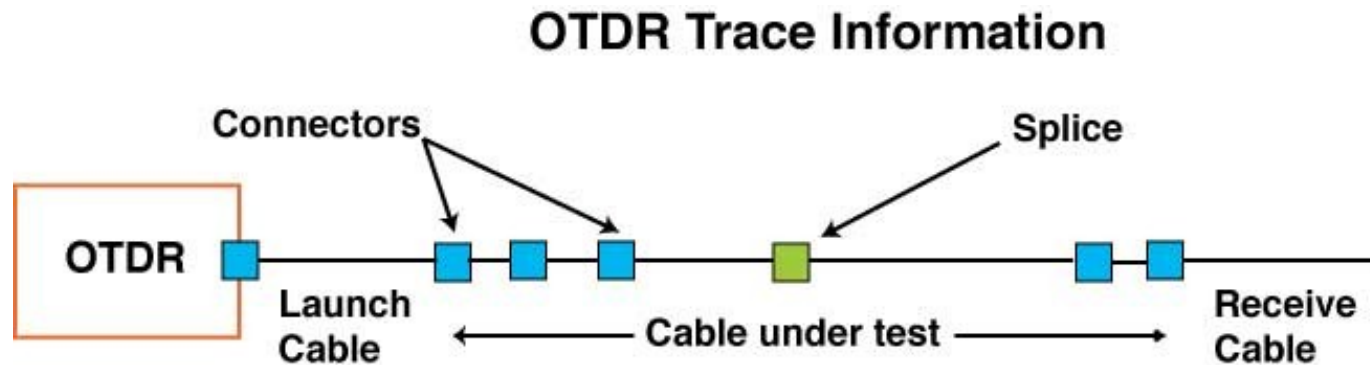
O OTDR (Optical Time-Domain Reflectometer) é um instrumento optoeletrônico usado para testar e medir uma fibra ótica.

Ele injeta uma série de pulsos óticos na fibra em teste e extrai, usando o princípio de dispersão de Rayleigh, informações sobre atenuação, comprimento de enlace, entre outras.





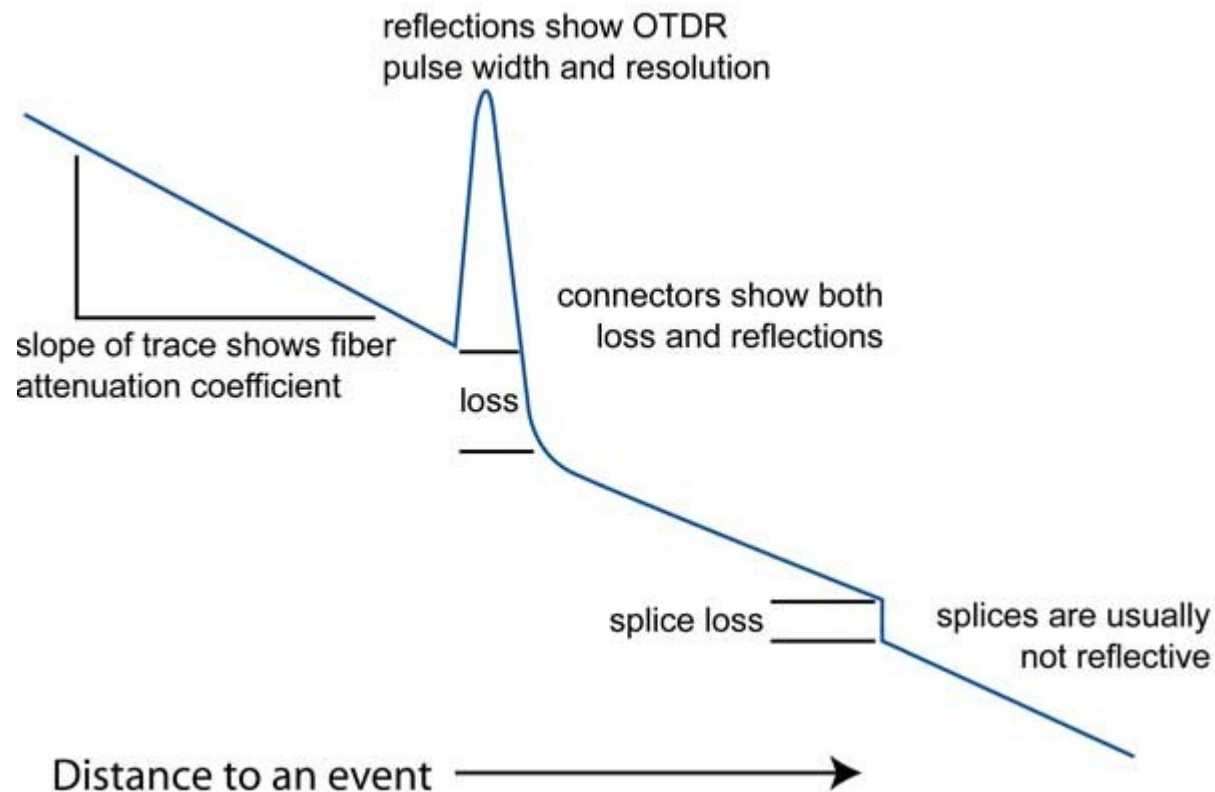
Fibra ótica - OTDR





Fibra ótica - OTDR

A diferença entre um conector e uma emenda é que o primeiro apresenta perda e reflexão, enquanto o segundo apresenta apenas perda, pois emendas costumam ser não reflexivas.

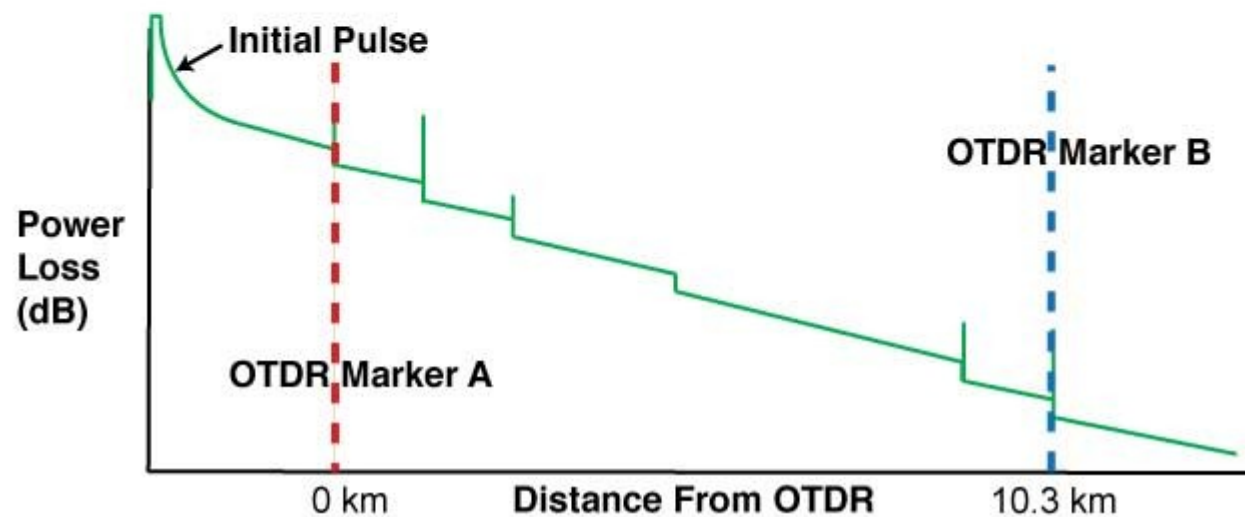


Fonte: www.thefoa.org



Fibra ótica - OTDR

Para medir a distância do enlace, basta inserir no OTDR uma marca (A) imediatamente antes do pico de refletância da conexão entre o cabo de lançamento e o cabo em teste e outra marca (B) imediatamente antes do pico de refletância da conexão entre o cabo em teste e o cabo de recebimento.

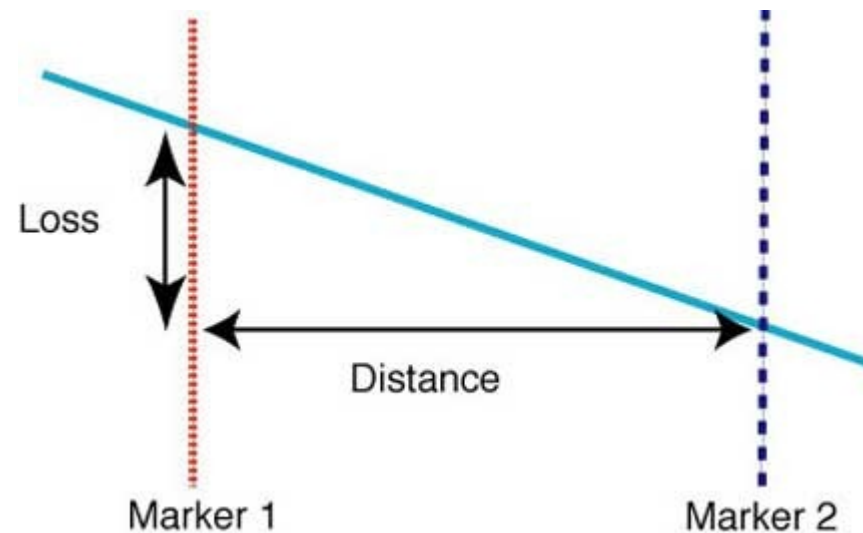


Fonte: www.thefoa.org



Fibra ótica - OTDR

Para medir a atenuação da fibra, basta inserir no OTDR marcadores (1) e (2) em cada extremidade da seção de fibra que se deseja medir.

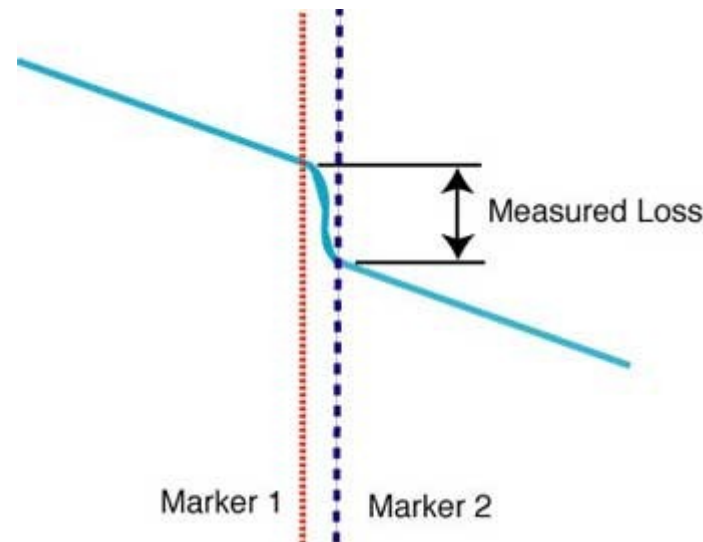




Fibra ótica - OTDR

Com o OTDR é possível identificar e medir a perda de uma emenda de fibra.

A perda é calculada usando o método de “mínimos quadrados”.

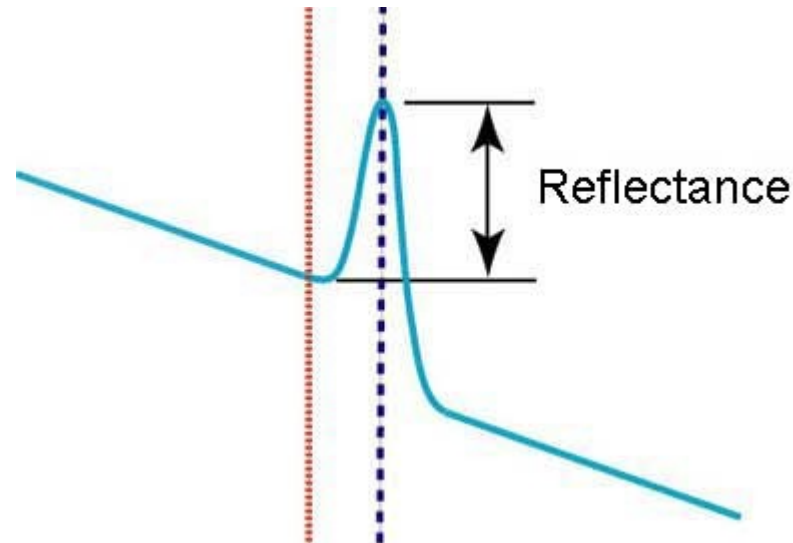




Fibra ótica - OTDR

Com o OTDR é possível identificar e medir a perda de um conector de fibra.

O OTDR mede a quantidade de luz que é retornada ou refletida em um conector.





Para saber mais...

... acesse o site da The Fiber Optic Association, Inc., no endereço www.thefoa.org.

FIM