

Curso de Redes Locais

Fabio Montoro
Brasilia, 8 de junho de 1996

Professor: Fabio Montoro

Coordenador: Prof. Luis Fernando Molinaro

Local: Universidade de Brasilia

Início: 24 de junho de 1996

Carga horária: 15 horas

Duração: 5 dias

Horário: 19:00 às 22:00

Programa

Introdução

Histórico da rede local

Protocolos de Comunicação

 Camadas física e de enlace

Topologias de rede

 Estrela, barramento, anel

Padrões de rede local

Física dos meios de transmissão para rede local

 Segmentos 10base5, 10base2, 10baseT e 10baseFL

Padrão Ethernet

 Transmissão por pacotes

 Pacote Ethernet

 Pacote 802.3

 Taxa real de transmissão sem colisões

 Colisão

 Método de acesso CSMA/CD

 Transmissão do pacote

 Recepção do pacote

Transceptor
Redes Multi-segmentos
Repetidor Ethernet
Domínio de colisão
Interconexão de segmentos: regra 5-4-3 e estudo de retardos
Repetidores Ethernet comercialmente disponíveis
Cascateamento de repetidores
Empilhamento de repetidores
Cabeamento estruturado
Cabo UTP, conector RJ45, atenuação no cabo UTP, NEXT, topologia
Utilização e congestionamento do domínio de colisão
Bridge: segmentação de redes
Store and forward
Latência, buffer de porta, Back pressure, Filtragem especial
Cut-through
Tecnologia dos circuitos
Backbone colapsado
Ethernet full-duplex
Servidor de rede local
Switch Ethernet
Fast Ethernet
100baseTX
100baseT4
100baseFX
Switch Ethernet 100/10 Mbps
Padrão Token Ring
Padrão FDDI
Padrão CDDI
Padrão ATM
Switch com conversão de padrão de rede
Up-link
Switch de chassis
Implementações de redes
Sub-redes virtuais - VLAN
Sub-rede virtual por porta
Sub-rede virtual por endereço MAC
Sub-rede virtual por endereço da camada 3
Sub-rede virtual por mascaramento
Interconexão de duas redes locais
Bridge remota
Roteador multiprotocolo

Introdução

- Transmissão de dados
 - Características do canal. Degenerações do sinal.
 - Sinal apropriado às características do canal: codificação e modulação
 - Recuperação do sinal na recepção
 - Taxa de erro do canal
- Comunicação de dados
 - Protocolos de comunicação
 - Retardos na comunicação, tempo de resposta do sistema
 - Topologia de rede →
 - Taxa real de transmissão
 - Roteamento de dados
- Redes local e de longa distância: LAN e WAN

Histórico da rede local

- 1971 - Intel lança o 4004 - primeiro microprocessador em um chip
- 1972 - Bob Metcalfe, formado no MIT, vai trabalhar na Xerox
- 1973 - Metcalfe e Boggs fazem funcionar a primeira LAN, a 2,94 Mbps, e dão o nome de rede Ethernet.
- 1977 - Ethernet foi patenteada
- 1980 - Xerox, DEC e Intel publicam a especificação Ethernet v 1.0, LAN de 10Mbps.
- 1981 - IBM lança o PC
- 1982 - Sai a Ethernet v 2.0
- 1983 - IEEE publica a 802.3 10base5
 - IBM demonstra o funcionamento do Token Ring em Genebra
- 1984 - IEEE publica a 802.3 10base2
- 1985 - Novell lança o Netware
 - IBM lança o Token Ring comercialmente
- 1990 - IEEE publica 802.3 10baseT
- 1995 - IEEE publica 802.3 100baseT

As quatro eras da comunicação de dados:

- 1965 a 1975 : Redes de computadores de grande porte, como os mainframes IBM. Redes SNA. Redes centralizadas. Conexões dedicadas.
- 1975 a 1985 : Redes de minicomputadores. Terminais assíncronos, multiplexadores estatísticos. Redes X.25.
- 1985 a 1995 : Redes locais compartilhadas. Hubs e concentradores Ethernet.
- 1995 a ? : Redes locais chaveadas. Era dos switches. Canais WAN de alta velocidade. ATM.

Protocolos de comunicação

- Modelo de camadas: modelo OSI
 - Aplicação
 - Interface com o usuário
 - Apresentação
 - Sintaxe da troca de dados entre dois computadores
 - Sessão
 - Estabelecimento da comunicação entre dois processos
 - Transporte
 - Garante a entrega dos dados da camada Aplicação
 - Rede
 - Estabelece o caminho de passagem dos dados entre dois nós finais
 - Enlace
 - Garante a entrega dos dados entre dois nós adjacentes
 - Física
 - Estabelece as interfaces entre equipamentos e meios

Camada física

- Interface serial EIA-232
- Interface com a linha telefônica Telebrás 225-540-749
- Controle de acesso ao meio IEEE 802.3 (MAC, CSMA/CD)

Estabelece a interface com o meio de transmissão (conectores, etc), níveis e formas dos sinais elétricos, codificação da sequência de bits, método de acesso ao meio.

Camada de enlace

- Protocolo IBM BSC-3
- Protocolo HDLC ISO-7809
- Controle lógico do enlace IEEE 802.3
- Controle lógico do enlace IEEE 802.2 LLC
- Controle lógico do enlace do protocolo X.25 (LAPB)

Garante que os dados transmitidos por um nó chegarão sem erros ao nó adjacente. Estabelece a formatação dos dados em blocos ou pacotes e faz o tratamento de eventuais erros que possam estar presentes na recepção.

Camada de rede

- X.25
- TCP/IP

Define a codificação de endereços a serem utilizados e faz o roteamento de pacotes entre dois quaisquer nós da rede.

Topologias de rede

Segmento de rede local

Trecho de cabo onde ficam conectadas as estações que acessam a rede.

Estrela

Vários segmentos se concentram em um ponto central. Em cada extremidade de segmento há uma estação.

Anel

Vários segmentos são interligados sequencialmente, fechando um círculo. Entre cada dois segmentos há uma estação.

Barramento

Um único segmento suporta várias estações.

Padrões de rede local

Os padrões de rede local, mais comuns, são:

- Ethernet
- Fast Ethernet
- Token Ring
- FDDI
- CDDI
- ATM

Este curso dará mais ênfase aos padrões Ethernet e Fast Ethernet, por serem os mais utilizados atualmente. Do mercado americano, por exemplo, estima-se que cerca de 80% das redes locais seguem o padrão Ethernet, apenas 10% seguem o padrão Token Ring e os 10% restantes ficam para os demais padrões.

Física dos meios de transmissão para rede local

Não se pretende explorar os diversos tipos de meios de comunicação, analisando suas características específicas, mas sim, fazer uma rápida análise daqueles já consagrados nas instalações de redes locais.

Intencionalmente, as descrições apresentadas a seguir são baseadas nos segmentos de rede do padrão Ethernet.

- Cabo coaxial
 - Cabo grosso
 - Cabo fino
- Par trançado
- Fibra ótica

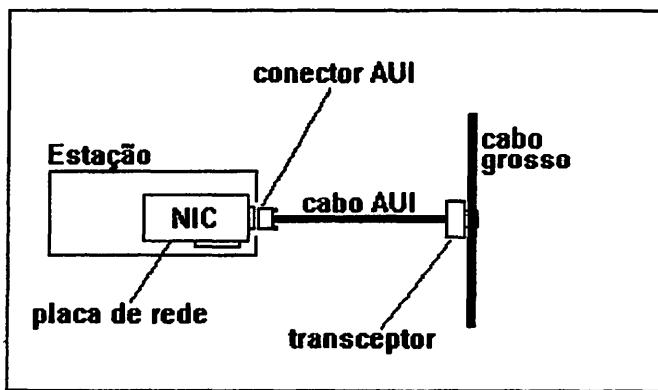
Segmento 10base5

Trecho de cabo coaxial grosso, que pode ter até 500 metros de comprimento e 100 estações conectadas. Esse meio de transmissão foi o originalmente especificado em 1980 no documento Ethernet. Forma uma rede com topologia barramento.

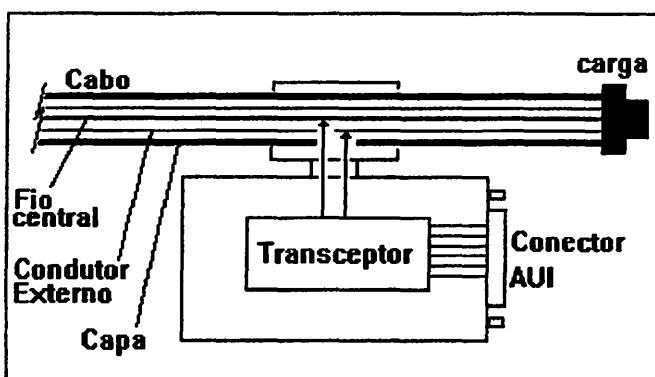
Cada uma das duas extremidades do cabo coaxial deve ser terminada por um conector tipo N com uma carga resistiva de 50Ω . Uma das extremidades do cabo deve ser aterrada.

O cabo coaxial possui marcações a cada 2,5 m onde podem ser colocados os transceptores.

Para se conectar uma estação ao cabo, instala-se um cabo AUI do transceptor à sua placa de rede.



O transceptor é um dispositivo independente que se conecta diretamente ao cabo por meio de duas sondas chamadas de vampiro (interface com o meio). A interface digital do transceptor possui um conector AUI que vai se conectar à estação por meio de um cabo AUI que não pode exceder 50 metros.



O conector AUI possui 15 pinos, mas nem todos são utilizados:

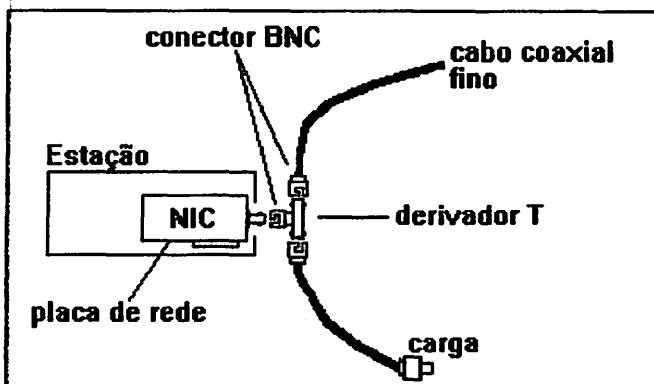
Conektor AUI

PINO	Sinal
1	Colisão (blindagem)
2	Colisão (+)
3	Transmissão (+)
4	Recepção (blindagem)
5	Recepção (+)
6	Alimentação (0v)
9	Colisão (-)
10	Transmissão (-)
11	Transmissão (blindagem)
12	Recepção (-)
13	Alimentação (+12v)
14	Alimentação (blindagem)

Segmento 10base2

Trecho de cabo coaxial fino, que pode ter até 185 metros de comprimento e 30 estações conectadas. Forma uma rede com topologia barramento.

Esse cabo é mais flexível e permite conexão direta com a estação, que possui o transceptor embutido em sua interface.



Por ser uma solução mais barata que o cabo grosso, esse cabo ficou conhecido como sheapernet.

Cada uma das duas extremidades do cabo deve ser terminada por um conector tipo BNC com uma carga resistiva de 50Ω . Uma das extremidades deve ser aterrada.

Cada estação se conecta ao cabo por meio de uma derivação ("T") do tipo BNC. O segmento de cabo, portanto, é formado por vários lances de cabo interligados pelas derivações, uma para cada estação.

Não é permitido extender derivação com outro lance de cabo, para ligar a derivação até a estação.

Segmento 10baseT

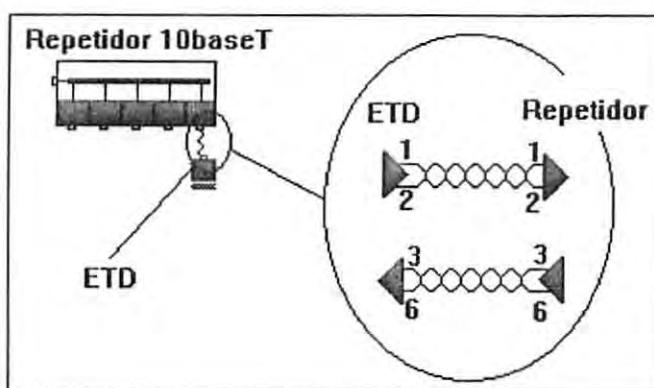
Trecho de cabo em par trançado, que pode ter até 100 metros de comprimento e apenas duas estações conectadas. Para formar uma rede com mais de duas estações é preciso utilizar um repetidor com várias portas, gerando uma topologia estrela.

São dois pares trançados (4 fios): um para transmitir e outro para receber.

Os cabos de pares trançados, para rede local foram classificados pela EIA nas categorias 3, 4 e 5.

O cabo se conecta ao transceptor (interno ao ETD e repetidor) por meio de um conector RJ45, que possui 8 pinos mas somente 4 são utilizados, segundo a norma Ethernet:

Pino	Sinal	Descrição
1	TX +	TX do ETD, RX do repetidor +
2	TX -	TX do ETD, RX do repetidor -
3	RX +	RX do ETD, TX do repetidor +
6	RX -	RX do ETD, TX do repetidor -



Para ligar uma estação (ETD) a um repetidor usa-se um cabo direto, mas para ligar duas estações ou dois repetidores é preciso usar um cabo cross.

Cabo cross	
lado A	lado B
1	3
2	6
3	1
6	2

Segmento 10baseFL

Trecho de cabo de fibra ótica, que pode ter até 2 km de comprimento e apenas duas estações conectadas. Para formar uma rede com mais de duas estações é preciso utilizar um repetidor com várias portas, gerando uma topologia estrela.

A norma original Ethernet especifica um segmento de fibra, chamado de FOIRL, que pode ter até 1 km de comprimento. A norma 802.3 especifica o 10baseFL. As duas interfaces são compatíveis e podem ser conectadas entre si, mas nesse caso o comprimento fica restrito a 1 km.

São duas fibras tipo multimodo 62,5/125 μm, utilizando comprimento de onda de 850 nm. Um cabo padrão utilizado para essa aplicação possui cerca de 4 a 5 dB de atenuação a cada 100 metros e cada conexão ST apresenta uma atenuação de 0,5 a 2 dB.

Os conectores mais utilizados são os tipos ST e SC.

Resumo

	Coaxial 10base5	Coaxial 10base2	Par trançado 10baseT	Fibra ótica 10baseFL
Tipo do cabo	RG 8	RG 58	UTP	multimodo
Topologia	barramento	barramento	estrela	estrela
Bitola do cabo	$\phi \approx 10 \text{ mm}$	$\phi \approx 5 \text{ mm}$	22 a 26 AWG	62,5/125 μm
Tipo de conector	DB-15	BNC	RJ-45	ST
Codificação de linha	Manchester	Manchester	Manchester	-
Impedância	$50 \pm 2 \Omega$	$50 \pm 2 \Omega$	$100 \pm 25 \Omega$	-
Velocidade prop.	0,67 c	0,65 c	0,60 c	0,69 c
Retardo em 100 m	0,50 μs	0,51 μs	0,55 μs	0,48 μs
Comprim.máximo	500 m	185 m	100 m	2 km
Espaçam min estações	2,5 m	0,5 m	-	-
Qtde máx est/segm	99	30	1	1
Norma IEEE	802.3	802.3a	802.3i	802.3i

Padrão Ethernet

Transmissão por pacotes

Ethernet é um padrão de rede local desenvolvido na Xerox em 1972, mais especificamente em seu Laboratório de Pesquisa de Palo Alto (PARC).

A transmissão é feita por pacotes, sem recibo, que podem ter de 64 a 1526 bytes. O meio de comunicação é compartilhado por todas as estações e o acesso ao meio é aleatório segundo um algoritmo chamado CSMA/CD, ou "Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection".

A velocidade de transmissão no meio é de 10 Mbps. O meio de transmissão originalmente definido no documento Ethernet foi um cabo coaxial grosso, tipo RG 8, em topologia barramento, que poderia ter até 500 metros de extensão, surgindo daí o nome 10base5.

O padrão Ethernet gerou a norma IEEE 802.3, que hoje define os 4 meios de transmissão, descritos anteriormente: 10base5, 10base2, 10baseT e 10baseFL.

Em 1995 foram lançadas as normas IEEE 100baseT, conhecidas como Fast Ethernet, cuja velocidade de transmissão no meio é de 100 Mbps.

Pacote Ethernet

Preamb	DEST	REM	Tipo	Dados	CRC	
8	6	6	2	46 a 1500	4	> 9,6μs

É formado por 6 campos distintos:

- Preambulo: sequência para sincronismo do receptor: 1010...1011 (8 bytes)

- DEST: endereço do destinatário (6 bytes) *remetente*

- REM: endereço o destinatário (6 bytes) *X*

Os endereços são divididos em duas metades. A primeira, de 3 bytes, indica o fabricante do equipamento de acesso. A tabela abaixo mostra alguns exemplos. A segunda é um número sequencial. Esses endereços são do equipamento que está fisicamente conectado à rede. Cada equipamento já vem de fábrica com seu endereço Ethernet, também chamado de endereço MAC.

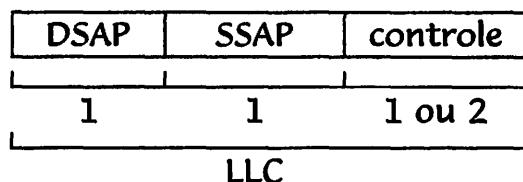
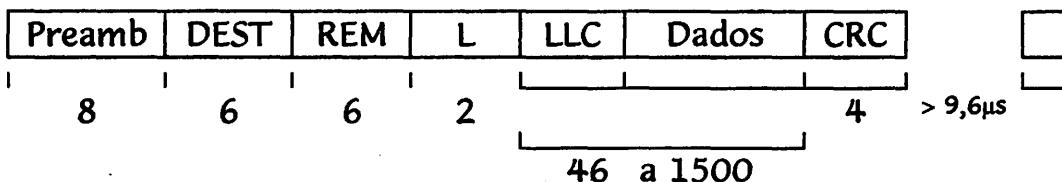
3 Bytes	Fabricante
00-00-0C	Cisco
00-00-1B	Novell
00-00-6D	Cray Communications
00-00-79	Networth
00-00-AA	Xerox
00-00-C0	Western Digital
00-00-E8	Accton
00-20-48	Fore Systems
00-20-DA	Xylan
00-60-8C	3Com
00-C0-13	Netrix
00-C0-1D	Grand Junction Networks
00-C0-43	Stratacom
00-C0-64	General Datacomm
02-07-01	Racal-Datacomm
08-00-07	Apple Computer
08-00-09	Hewlett Packard
08-00-0B	Unisys
08-00-10	AT&T
08-00-1F	Sharp
08-00-5A	IBM
08-00-8F	Chipcom

- Tipo: define o protocolo encapsulado no campo "dados" (2 bytes). Na notação hexadecimal seu valor deve ser maior ou igual a 0600h. Essas atribuições são feitas pela Xerox. A tabela abaixo mostra alguns.

Tipo	Protocolo
0600	XNS - Xerox Networks
0800	IP - ARPANET Internet Protocol
OBAD	Banyan VINES
6001	MOP - DEC
6004	LAT - DEC
6010	3Com
7000	Ungermann-Bass
809B	Appletalk/EtherTalk
809C	Penril Datability
80D5	SNA - IBM
8138	Novell

- Dados: comprimento variável, de 46 a 1500 bytes
- CRC: bits de redundância cíclica, calculado sobre todos os demais campos (exceto o preâmbulo).

Pacote 802.3



Similar ao pacote Ethernet, possui um campo de comprimento no lugar do campo tipo. Os campos "Dados" e "LLC" do pacote 802.3 tem o comprimento total do campo "Dados" do pacote Ethernet.

L: comprimento do campo "Dados". O maior valor desse campo é 05DCh, que corresponde a 1500 em decimal. Note que o campo "Tipo" do pacote Ethernet, fica na mesma posição e possui um valor igual ou maior que 0600h. Pelo conteúdo desse campo pode-se determinar se o pacote é Ethernet ou 802.3.

LLC: o campo LLC é dividido em três partes:

- DSAP = protocolo destino
- SSAP = protocolo fonte

De forma similar ao pacote Ethernet, os campos DSAP e SSAP possuem o código SAP que define o protocolo. A tabela abaixo apresenta alguns exemplos.

SAP	Protocolo
EO	Netware da Novell
FO	NetBIOS
06	TCP/IP
04	SNA da IBM
AA	SNAP
80	XNS da Xerox
FE	OSI
BC	Banyan VINES
FA	Ungermann-Bass

- controle = determina tipo de pacote, tipo de operação, etc.

Taxa real de transmissão sem colisões

- Velocidade na linha = 10 Mbps
- Duração de um bit = 10^{-7} s = 10 μ s
- $TRT = \frac{\text{bits_de_dados}}{\text{tempo_gasto}}$

Maior pacote:

$$(1526 \text{ bytes}) (8 \text{ bits}) (0,1\mu\text{s}) + 9,6 \mu\text{s} = 1230,4 \mu\text{s}$$

$$TRT_{\max} = \frac{1500 \cdot 8 \text{ bits}}{1230,4 \mu\text{s}} \quad TRT_{\max} = 9,75 \text{ Mbps}$$

Menor pacote:

$$(72 \text{ bytes}) (8 \text{ bits}) (0,1\mu\text{s}) + 9,6 \mu\text{s} = 67,2 \mu\text{s}$$

$$TRT_{\max} = \frac{46 \cdot 8 \text{ bits}}{67,2 \mu\text{s}} \quad TRT_{\max} = 5,48 \text{ Mbps}$$

Velocidade máxima, teórica, de pacotes no cabo:

$$\frac{1}{67,2 \mu\text{s}} \cong 14880 \text{ pps}$$

Colisão

Cada estação decide em que instante vai transmitir e verifica se existe sinal no cabo. Se não há sinal no cabo a estação inicia sua transmissão.

Se, por acaso, outra estação também iniciou sua transmissão ao mesmo tempo, os sinais das duas vão se propagar pelo cabo e colidir em algum ponto entre as duas estações.

Digamos que o tempo de propagação do sinal no cabo, entre as duas estações, local e remota, é Δt .

Se a colisão ocorrer perto da estação local, esta vai imediatamente sentir o sinal colidido. Mas se a colisão ocorrer perto da estação remota, a local somente vai sentir o sinal colidido após decorrido $2\Delta t$.

Para se garantir que vai haver detecção da colisão, a estação local deve ficar transmitindo pelo menos durante esse tempo $2\Delta t$.

Então, o menor pacote Ethernet deve ter um comprimento tal que o seu tempo de transmissão seja maior que $2\Delta t$. Como foi visto anteriormente, o menor pacote Ethernet, desconsiderando o preâmbulo pois este é utilizado para sincronismo do receptor, possui 512 bits, então:

$$(512 \text{ bits}) \times (0,1 \mu\text{s}) > 2\Delta t$$

Ou seja:

$$2\Delta t < 51,2 \mu\text{s}$$

Finalmente:

$$\Delta t < 25,6 \mu\text{s}$$

Portanto, conclui-se que, em uma rede Ethernet, o tempo de propagação do sinal, de uma estação para qualquer outra estação da rede, deve ser menor que 25,6 μs .

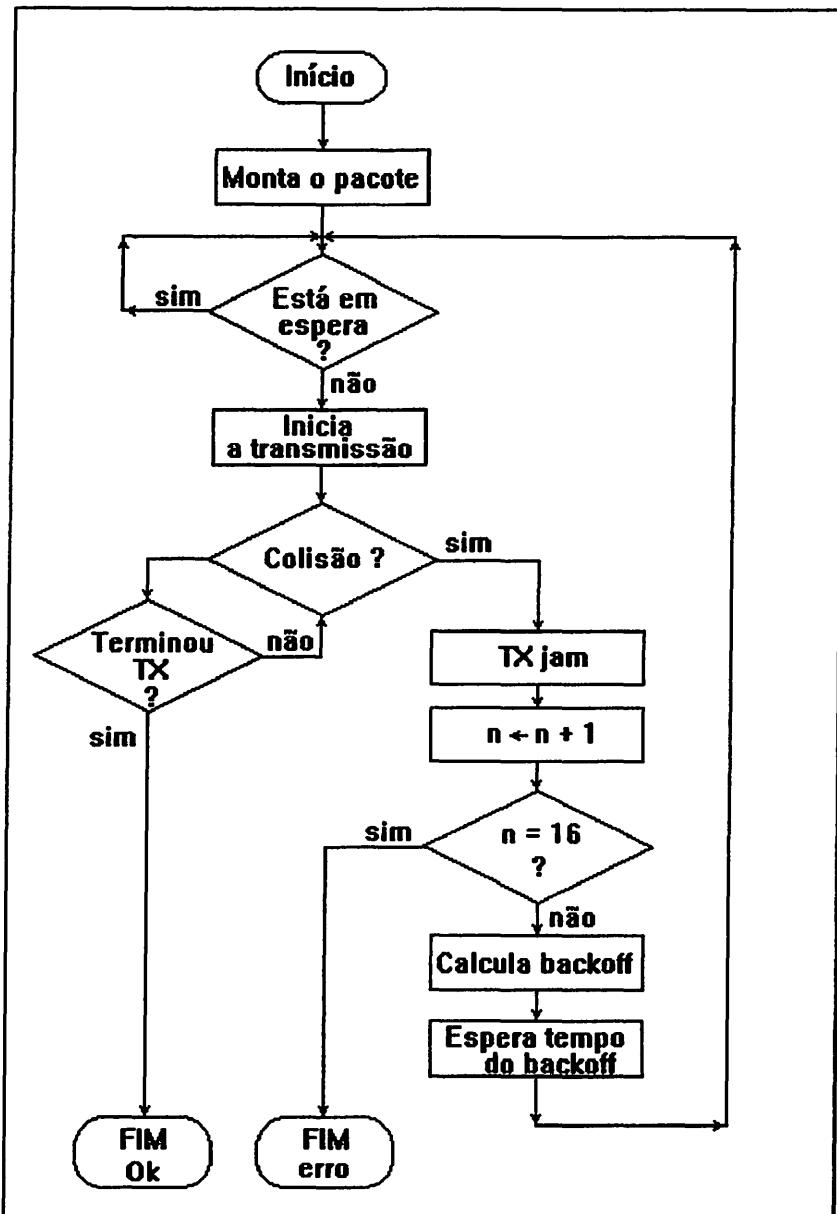
Método de acesso: CSMA/CD

Antes de transmitir a estação verifica se há atividade (transmissões) no cabo ("Carrier sense"). Enquanto houver atividade no cabo a estação aguarda.

Ao detectar que o cabo está livre a estação inicia a transmissão de um pacote. Durante a transmissão a estação fica continuamente monitorando se ocorre uma colisão (dois sinais misturados). Só pode ocorrer colisão nos primeiros 51,2 μs , se a rede estiver dentro das especificações.

Se não houver colisão nesse início de transmissão, que corresponde aos primeiros 512 bits do pacote, diz-se que a estação ganhou o cabo e sua transmissão vai continuar até o final.

Se a estação detectar uma colisão ela aborta imediatamente sua transmissão e envia uma sequência de reforço de colisão, chamada "jam", de 32 bits, que corresponde a um lixo na linha, para sinalizar às outras estações que houve colisão.



Ao detectar a colisão, todas as estações iniciam um algoritmo chamado de "backoff" binário exponencial truncado, que estabelece um tempo aleatório de espera, a fim de evitar nova coincidência de transmissões na próxima tentativa. O tempo de espera é múltiplo de 51,2 µs (duração de 512 bits, chamado de slotTime). O número "r", que indica quantos slotTimes possui a espera, é dado por:

$$0 \leq r \leq 2^k \quad \text{onde } k = \min(n, 10)$$

O valor de "k" é escolhido aleatoriamente entre "n", que é o sequencial de tentativas, e 10. Cada estação faz até 16 tentativas de ganhar o cabo e, se não conseguir, aborta o processo. Note que, cada vez que a estação tenta ganhar o cabo e não consegue, o próximo tempo de espera tende a ser maior.

Transmissão do pacote

O pacote é transmitido byte a byte e para cada byte, do bit menos significativo para o mais significativo.

Por exemplo: um pacote cujo endereço do destinatário é 00-20-DA em hexadecimal, ou 00000001-00100000-11011010 em binário, terá seu primeiro bit do primeiro byte transmitido primeiro ("1") e assim por diante.

Recepção do pacote

Cada estação conectada no cabo recebe o pacote transmitido. O preâmbulo (64 bits) é apenas utilizado para sincronizar o receptor para que ele saiba o início exato do primeiro campo, que é o endereço do destinatário.

O receptor verifica o endereço e captura o pacote se:

- Ele é o destinatário
- O pacote é um broadcasting (endereço = FFFFFFFFFFFF)
- O pacote é um multicast. Sabe-se que um pacote é um multicast quando o bit menos significativo do primeiro byte do endereço do destinatário for igual a "1". Os três primeiros bytes do endereço identificam o fabricante e todos são números pares. Quando o número é ímpar significa que o pacote é um multicast daquele fabricante com o código imediatamente anterior.
- O receptor estiver no estado promíscuo.

Transceptor

Dispositivo eletrônico que transmite e recebe sinal no meio físico. É a interface entre os circuitos digitais do ETD (Equipamento Terminal de Dados) e o meio de transmissão (cabô). A norma IEEE 802.3 chama esse dispositivo de MAU ("Medium Attachment Unit"). Possui uma interface digital do lado ETD e uma interface analógica do lado do meio de transmissão. No caso do transceptor Ethernet para cabo grosso, a interface digital é chamada de AUI ("Attachment Unit Interface"), e possui um conector tipo D de 15 pinos.

Redes multi-segmentos

Repetidor Ethernet

É um regenerador de sinal. Atua somente na camada física, ou seja, não analisa qualquer informação contida no pacote. Possui duas ou mais portas e um transceptor em cada uma. O repetidor transmite em todas as portas o sinal que recebe em uma delas.

O repetidor é transparente para o sistema, ou seja, ele passa os pacotes independentemente se eles possuem ou não erros.

As aplicações do repetidor são:

- Permitir que uma mesma rede possua vários segmentos com meios diferentes.
- Permitir a conexão de mais estações na rede.
- Extender o alcance geográfico de uma rede.

Domínio de colisão

Região de uma rede local onde a transmissão de uma estação atinge todas as demais, independentemente dos endereços Ethernet. Há, portanto, possibilidade de acontecer colisão entre as transmissões de duas estações quaisquer pertinentes à essa região.

Se duas estações estão no mesmo domínio, suas transmissões podem colidir.

Duas estações separadas por um repetidor estão no mesmo domínio de colisão.

Interconexão de segmentos

Abordaremos agora as regras para interconectar vários segmentos e formar uma rede maior, seja em extensão geográfica ou em quantidade de estações.

As regras apresentadas são as da norma IEEE 802.3 para redes de 10 Mbps.

O primeiro conjunto de regras para projeto de redes Ethernet multi-segmentos se baseia em orientações de contorno:

- 1 Qualquer interligação entre dois segmentos deve ser feita por um repetidor Ethernet.
- 2 As portas dos repetidores devem ser incluídas na contagem do número máximo de estações permitido no segmento.
- 3 No caminho entre quaisquer duas estações deve ter, no máximo, 5 segmentos e quatro repetidores.
- 4 Cabo AUI para transceptor 10base5 não pode exceder 50 metros. Cabo AUI para transceptor 10baseFL não pode exceder 25 metros.
- 5 Se um caminho consistir de 4 repetidores e cinco segmentos, somente três podem conter estações. Os outros dois podem ser segmentos UTP ou fibra.
- 6 Se o caminho tiver 5 segmentos, cada segmento de fibra ótica deve ser limitado a 500 m.
- 7 Se o caminho tiver 4 segmentos, cada segmento de fibra ótica entre dois repetidores deve ser limitado a 1 km.

As regras 3 e 5 são conhecidas como regra 5-4-3: cinco segmentos, quatro repetidores, três segmentos com estações.

Como o segmento de cabo grosso pode ter até 500 m, diz-se que o diâmetro máximo de uma rede local multi-segmentos é de 2,5 km

O segundo conjunto de regras para projeto de redes multi-segmentos consiste em calcular os retardos envolvidos nos caminhos entre as estações, para verificar se estão dentro do limite. A próxima tabela mostra os retardos típicos para elementos operando a 10 Mbps.

Elemento	Retardo [μs]
Cabo 10base5 com 100 m	0,50
Cabo 10base2 com 100 m	0,51
Cabo 10baseT com 100 m	0,55
Cabo FOIRL ou 10base FL com 100 m	0,48
Repetidor	2
Transceptor do ETD	2
Cabo AUI com 50 m	0,25

Exemplo 1:

4 repetidores	8,00 μ s
2500 m cabo 10base5	12,50 μ s
2 ETD	4,00 μ s
100 m cabo AUI	0,50 μ s
Retardo total Δt	<u>25,00 μs</u>

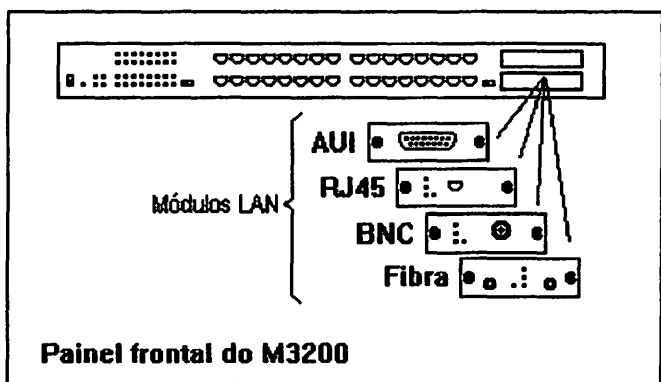
Exemplo 2:

4 repetidores	8,00 μ s
5 segmentos UTP	2,75 μ s
2 ETD	4,00 μ s
Retardo total Δt	14,75 μ s

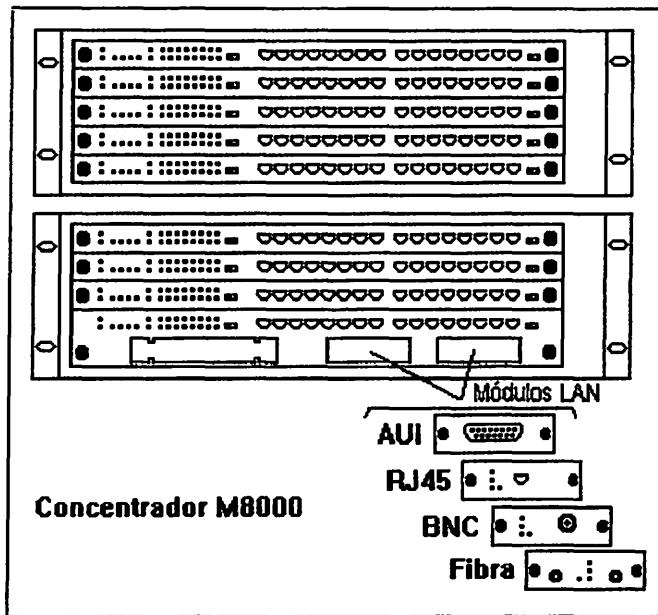
Repetidores Ethernet comercialmente disponíveis

O mercado adotou dois jargões para os repetidores Ethernet:

- HUB : quando o repetidor possui uma quantidade fixa de portas, podendo ter um ou dois slots para módulos com uma porta adicional. Normalmente o hub é encontrado com 8, 12, 16, 24 ou 32 portas.



- CONCENTRADOR : quando o repetidor possui um chassis com slots para placas de expansão e cada placa possui um certo número de portas. Normalmente o concentrador é encontrado em chassis de 3 a 10 slots. Cada slot pode receber uma placa. As opções normais de placas são: 8, 12 ou 24 portas UTP, 6 portas 10baseFL, 6 portas BNC, etc.



Cascateamento de repetidores

Essa expressão é utilizada para denominar a interconexão de repetidores para UTP (10baseT ou 100baseT), através de suas portas. Note que para interligar dois repetidores através de suas portas UTP é preciso utilizar um cabo que inverta RX com TX (cabo cross).

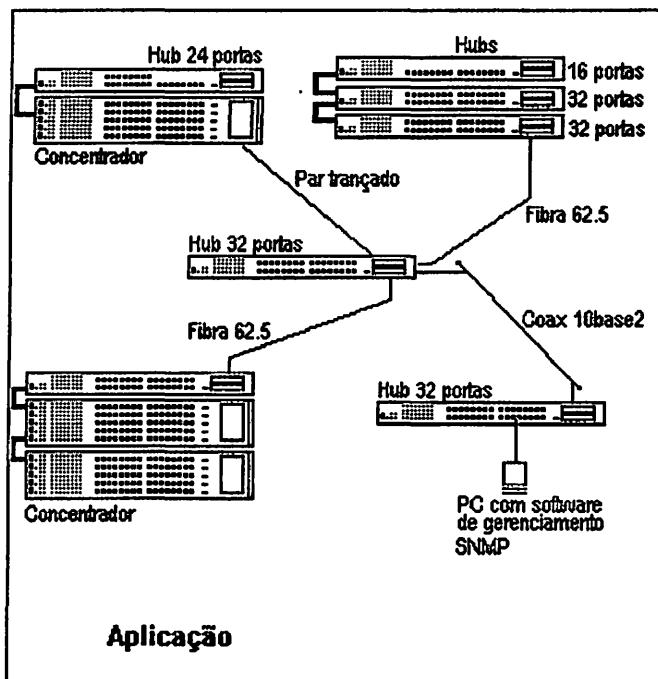
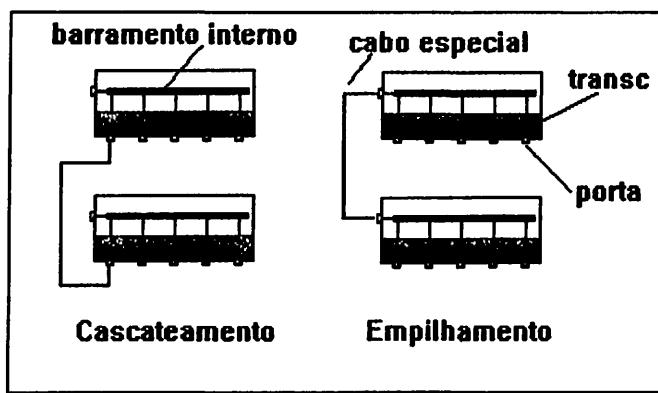
O cascateamento é uma ligação sequencial de repetidores e, portanto, está sujeito às regras 5-4-3 e do retardo máximo.

Empilhamento de repetidores

Podemos expandir um repetidor do tipo concentrador, ou seja, aumentar o seu número de portas, por adição de placas de expansão. Quando se expande um repetidor dessa forma, ele continua se comportando como um único repetidor (naturalmente, com mais portas).

Os fabricantes lançaram uma técnica para expandir repetidores, chamada de "empilhamento", que consiste em conectar os barramentos internos de dois ou mais equipamentos, com um cabo especial. Nesse caso o cabo liga os dois repetidores fisicamente independentes, sem passar por transceptor, caracterizando um único repetidor lógico.

Alguns hubs possuem essa característica, permitindo expandir portas de conexão sem aumentar a quantidade de hubs.



Hubs Ethernet 10 Mbps disponíveis comercialmente

Código Zetha	Modelo	Portas UTP	Portas AUI	Portas BNC	Portas ST	Slots	Máx portas
89018051	AT-MR820	8	1	0	0	0	9
89018052	AT-3012T	12	1	0	0	0	13
89018060	AT-3612TR	12	0	0	0	1	13
89018061	AT-3624TR	24	0	0	0	1	25
89018062	AT-3624TRS	24	0	0	0	0	24
89018063	AT-3606F	0	0	0	6	1	7
89018064	AT-3608	0	0	8	0	1	9

Cabeamento estruturado

Atualmente a norma EIA-568A, publicada pela Associação das Indústrias Eletrônicas (filiada à ANSI), é a especificação básica mais utilizada nos cabeamentos para comunicação de dados dentro dos edifícios, pois ela conseguiu estabelecer os procedimentos para se ter um cabeamento independente da tecnologia de rede a ser utilizada. Uma vez pronto o cabeamento, ele vai suportar redes Ethernet, Fast Ethernet, Token Ring, 100VG-AnyLAN, CDDI e ATM.

Como a norma EIA-568A pode ser aplicada para instalações de telefonia e rede local, ela possui definições gerais que se aplicam a ambos. No entanto cada instalação deve considerar as limitações da tecnologia de transmissão utilizada.

A norma EIA-568 reuniu um conjunto de normas anteriormente emitidas e que tratavam do mesmo assunto: EIA-568, TSB-36, TSB40 e TSB-53. Ela cobre tópicos de cabeamento utilizando os seguintes meios de transmissão:

- cabo UTP 100 Ω
- cabo STP 150 Ω
- Fibra ótica multimodo 62,5/125 μm
- Fibra ótica monomodo

Cabo UTP

A norma especifica três categorias de cabos UTP e três categorias de enlaces: 3, 4 e 5. Os cabos devem ter 4 pares de fios trançados.

Cat	Performance	Aplicação
3	16 Mhz	10baseT, Token Ring 4 Mbps, ARCnet, 100baseT4, 100VG-AnyLan
4	20 MHz	Token Ring 16 Mbps
5	100 MHz	100baseTX, TP-PMD, ATM 155 Mbps

Atenuação no cabo UTP

É a perda do sinal transmitido, no meio de transmissão, normalmente medida em decibel (dB), para um sinal senoidal. Varia com a frequência.

A especificação do enlace leva em consideração, além do cabo, os conectores, tomadas e todos os elementos que estiverem no caminho do sinal.

O cabo categoria 4 tem uma performance um pouco superior ao cabo categoria 3, já permitindo operar Token-ring a 16 Mbps. A performance do cabo categoria 5 é bem melhor, permitindo a operação de outras tecnologias de rede. Talvez por essa pequena diferença, o cabo categoria 4 teve vida curta. Atualmente recomenda-se fortemente que toda instalação de cabeamento para redes locais utilize cabos categoria 5.

A próxima tabela mostra a atenuação máxima permitida pela EIA-568A.

Frequênci a [MHz]	Cat 5 enlace [dB]	Cat 5 cabo [dB]	Cat 3 enlace [dB]	Cat 3 cabo [dB]
1	2.5	2.0	2.6	2.6
4	4.5	4.1	5.6	5.6
8	6.3	5.8	8.5	8.5
10	7.0	6.5	9.7	9.7
16	9.2	8.2	13.1	13.1
20	10.3	9.3	-	-
25	11.4	10.4	-	-
31.25	12.8	11.7	-	-
62.50	18.5	17.0	-	-
100	24.0	22.0	-	-

Next

A corrente elétrica em um par de fios gera um campo magnético que, por sua vez, induz uma corrente elétrica indesejada em outro par que esteja próximo. O trançado do par de fios visa anular esse campo magnético. Quanto mais trançado estiver o par de fios, menor será a interferência provocada em seu adjacente.

NEXT ("Near End Cross Talk) é a medida dessa interferência, que ocorre com mais intensidade nas extremidades do cabo, onde o sinal transmitido em um par é muito mais intenso que o sinal de recepção no par adjacente.

Essa interferência, medida em dB, também varia com a frequência e possui picos e vales, o que não ocorre com a atenuação.

A próxima tabela mostra o NEXT máximo permitido pela EIA-568A.

Frequênci a [MHz]	Enlace cat 5 [dB]	Cabo cat 5 [dB]	Cabo cat 3 [dB]
1	-60,3	-62,0	-56,0
4	-50,6	-53,0	-47,0
8	-45,6	-48,0	-42,0
10	-44,0	-47,0	-41,0
16	-40,6	-44,0	-38,0
20	-39,0	-42,0	-
25	-37,4	-41,0	-
31.25	-35,7	-39,0	-
62.50	-30,6	-35,0	-
100	-27,1	-32,0	-

Conektor RJ45

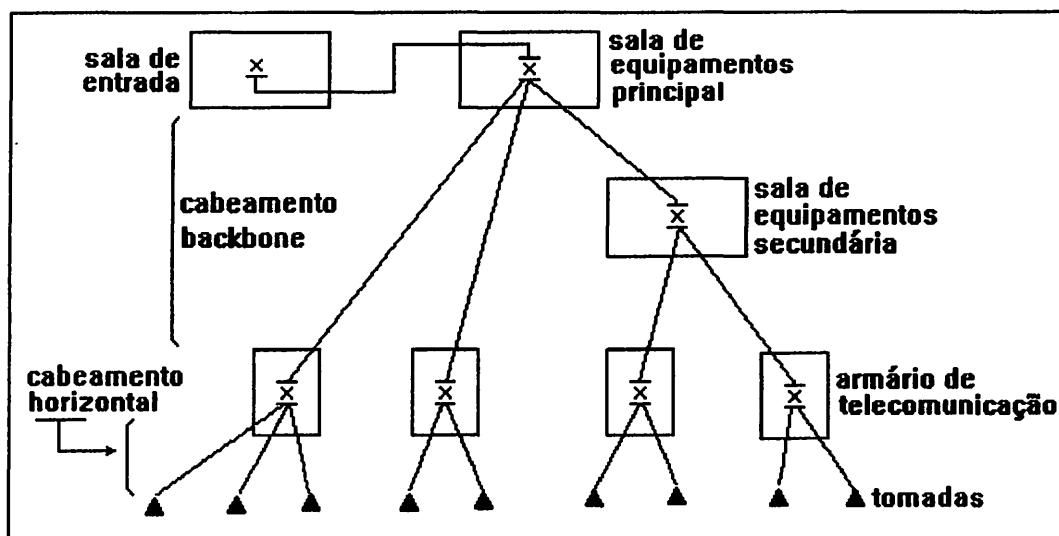
É o conector especificado para as instalações de cabo UTP. Esse conector, de 8 pinos, se tornou o padrão mundial nas instalações para comunicação de dados interna aos edifícios e, todos os padrões, citados a seguir, já o adotaram.

A próxima figura mostra como são alocados os pinos nos diversos padrões.

Padrão	1,2	3,6	4,5	7,8
Ethernet	✓	✓		
100baseTX	✓			✓
100baseT4	✓	✓	✓	✓
100VG-AnyLAN	✓	✓	✓	✓
Token Ring		✓	✓	
Multimidia 802.9	✓	✓		✓
TP-PMD	✓			✓
ATM	✓	✓	✓	✓

Topologia

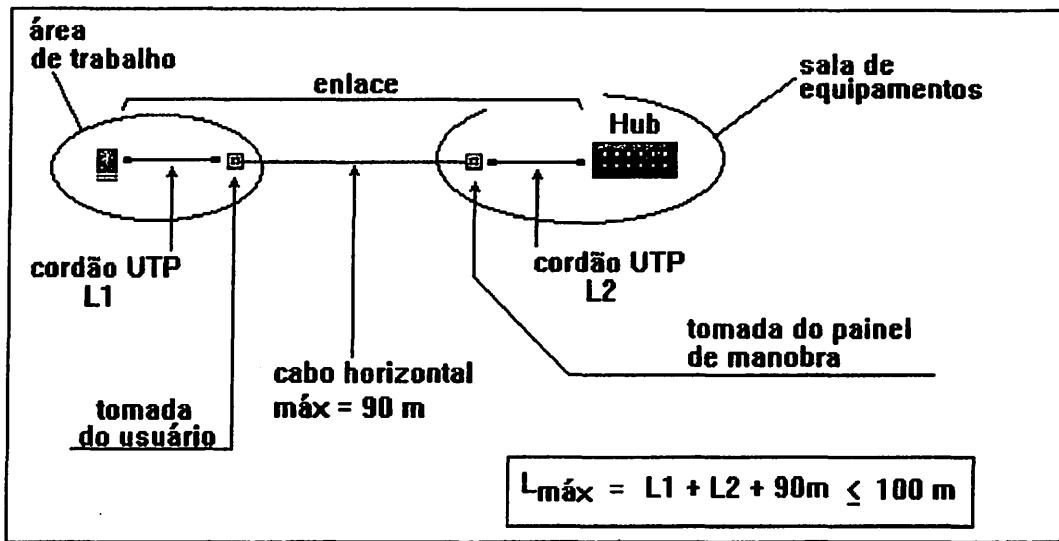
A instalação de cabeamento estruturado em um edifício, através da norma EIA-568A, prevê uma sala de entrada de cabos, uma sala principal de equipamentos e várias salas secundárias de equipamentos, conforme o caso.



As tomadas de dados ficam na área de trabalho, onde está o usuário. No caso de rede local de computadores, cada uma dessas tomadas deve ser ligada a uma outra, situada em um painel de manobra, que deve estar em um rack em uma sala de equipamentos, por meio de um cabo chamado "cabo horizontal".

As tomadas do painel de manobra serão ligadas a uma porta de equipamento (repetidor, switch, etc) por meio de um cordão de manobra confeccionado com cabo de 4 pares de fios multivias para permitir flexibilidade.

Da mesma forma, as estações dos usuários serão ligadas às tomadas com um cordão de manobra.



A interligação entre salas de equipamentos deve ser feita preferencialmente em fibra ótica.

Note que cada cabo UTP ou um par de fibras óticas, consegue transmitir os dados de um domínio de colisão. Em um projeto de cabeamento deve ser levado em conta a capilaridade dos domínios pelo edifício e, portanto, prever o dimensionamento correto dos cabos UTP e óticos nos backbones.

Utilização e congestionamento do domínio de colisão

O padrão Ethernet prevê um meio de transmissão compartilhado e disponibiliza uma banda de 10 Mbps para que as estações disputem no tempo.

Note que as velocidades de transmissão, 10 Mbps para o Ethernet e 100 Mbps para o Fast Ethernet, são as velocidades com que os bits de dados são transmitidos no meio.

Vimos, anteriormente, que a taxa real de transmissão, máxima, sem colisão, varia de 5,48 a 9,75 Mbps, devido aos tempos gastos com o intervalo entre pacotes e com os bits de controle.

Define-se "utilização do domínio de colisão" como sendo o percentual do tempo em que existe atividade no domínio. Em uma situação de baixa utilização a probabilidade de colisão é baixa, já que quando uma estação quer transmitir ela tem grande chance de encontrar o meio livre.

Conforme vai crescendo a utilização do domínio, vai crescendo a taxa real de transmissão e também a probabilidade de colisão. Em um dado momento o sistema satura e a taxa real de transmissão começa a cair, apesar da utilização continuar aumentando. Claro ! As colisões também cresceram ao ponto de tornarem o meio difícil de ser acessado.

Define-se eficiência de uma rede Ethernet como sendo:

$$e = \frac{TRT}{(Utilização)(velocidade)}$$

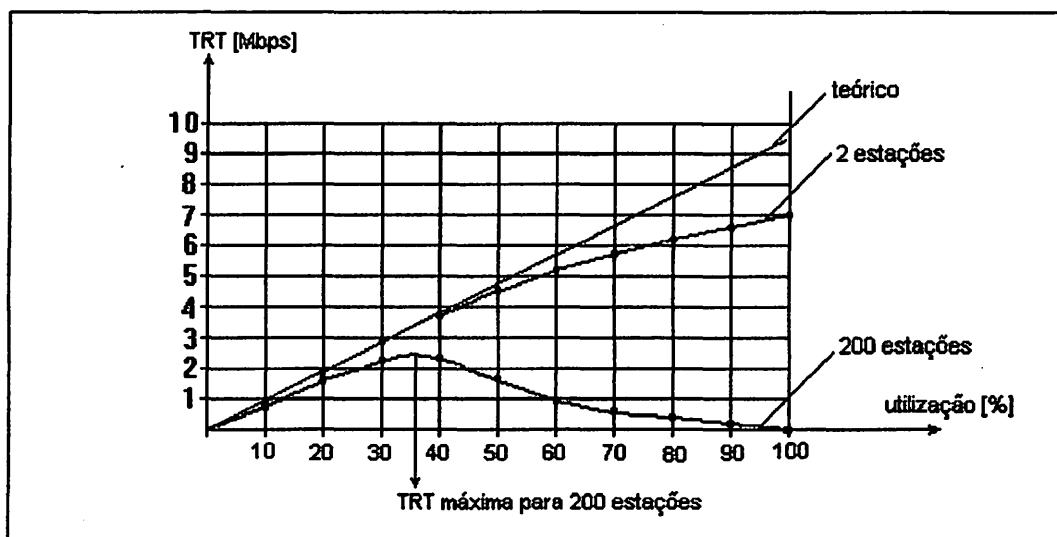
e= eficiência

velocidade = 10 ou 100 Mbps

Por exemplo: se uma rede apresenta uma TRT de 3 Mbps com uma utilização de 40%, então a eficiência é de 75%.

Note que a eficiência cai se a utilização aumenta. Note também que a medida de eficiência depende do tamanho do pacote que está sendo utilizado. Vimos que a eficiência teórica (sem colisões) varia de 54,8 a 97,5%.

A próxima figura ilustra o comportamento de duas redes: uma com 200 estações e outra com apenas duas estações, ambas operando sempre com pacotes de 1000 bytes de dados. Note que a TRT começa a cair quando a utilização chega a 37% e, nesse ponto, a TRT é máxima e igual a 2,5 Mbps. Note, também, que a eficiência teórica é 96,3%.



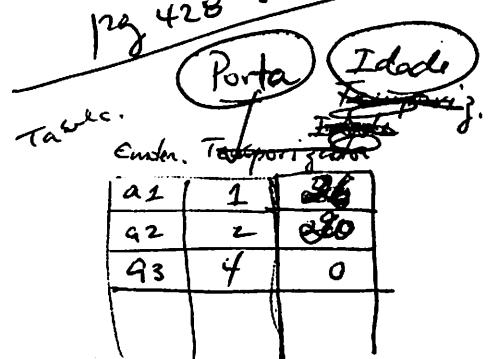
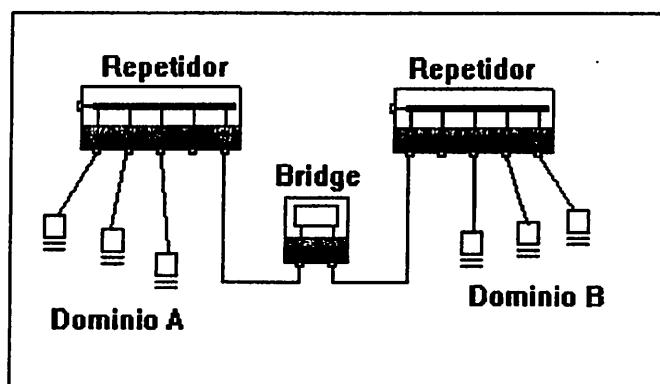
Bridge: segmentação de redes

Como melhorar a eficiência de uma rede quando ela já está saturada?

Uma solução é segmentar a rede em vários domínios de colisão e confinar os tráfegos regionais em cada um desses domínios. Isso vai gerar domínios com maior eficiência e, portanto, maior TRT. O tráfego que deve ser encaminhado para outro domínio será transportado por um equipamento especial, chamado de bridge.

A bridge, portanto, separa dois domínios de colisão, e se comporta como estação para os dois segmentos.

Imagine uma bridge com duas portas. Cada porta se liga a um domínio da rede. ~~Somente tra~~ A bridge deve filtrar (bloquear) os pings. ^{pag 428 Stalling}



A primeira atividade da bridge é o aprendizado.

A bridge lê os endereços, destinatário e remetente, de todos os pacotes que circulam em cada um dos domínios, pois esses pacotes aparecem nas portas dos repetidores aos quais a bridge está ligada.

A bridge possui ~~duas tabelas de aprendizado para cada domínio, onde ela mantém o endereço das estações desses domínios.~~ ^{uma memória onde cada porta} ~~registra~~ ^{Cada porta} possui ~~um endereço de remetente~~ ^{um endereço de destino} para cada domínio, onde ela mantém o endereço da respectiva estação desse domínio.

No seu aprendizado a bridge lê cada pacote e extrai o endereço do remetente; coloca esse endereço na tabela do respectivo domínio, se ainda não constar.

^{Idade recomendada = 30 segundos} A segunda atividade da bridge é filtrar ou transferir o pacote.

Digamos que a bridge recebeu um pacote na porta do domínio A.

A bridge lê o endereço do destinatário e procura na tabela do domínio B. Se essa estação constar como residente no domínio B, a bridge transfere o pacote; se o endereço constar da tabela do domínio A, a bridge filtra o pacote, ou seja, descarta o pacote.

A bridge pode ter várias portas, cada uma ligada a um domínio diferente. O procedimento da bridge será o mesmo, apenas terá que consultar várias tabelas para saber pra onde deve transferir o pacote; se o endereço do pacote

constar na tabela do domínio remetente, a bridge filtra e se não constar em nenhuma tabela ela transfere para todos os domínios.

Há duas técnicas básicas para operação da bridge:

- Store and forward
- Cut-through

Store and forward

A bridge armazena todo o pacote, verifica o CRC, analisa o endereço do destinatário e transfere ou filtra o pacote.

As vantagens da técnica store and forward são:

- Filtra os pacotes defeituosos (verificação do CRC)
- Tem a capacidade de fazer filtragens especiais (bridges de baixo custo não fazem)

Latência

É o tempo que o pacote demora para atravessar a bridge. É também chamado de latência FIFO ("First In First Out"). É a soma dos tempos de armazenagem e processamento do pacote.

A latência depende do tamanho do pacote pois a bridge deve armazenar todo o pacote e analisar o CRC.

A seguir veja as latências típicas de uma bridge, para o menor e o maior pacote Ethernet:

	Extensão	Duração	Latência
Menor pacote	72 bytes	67,2 µs	90 µs
Maior pacote	1526 bytes	1230,4 µs	1280 µs

Buffer de porta

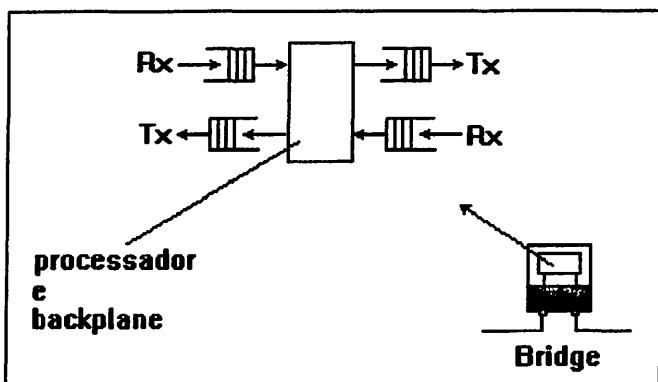
Uma bridge pode ser representada por um modelo que possui uma fila de entrada e outra de saída, para cada porta.

Um ou vários processadores internos fazem a análise dos pacotes e a transferência para a porta destino, através de um barramento de alta velocidade (backplane).

Imagine que uma bridge multiporta recebe muito tráfego (em várias portas), destinado a uma única porta. O tamanho dos buffers vão definir a

performance dessa bridge, pois se o buffer não conseguir armazenar os pacotes até as suas respectivas transmissões, os mesmos serão descartados.

Alguns protocolos atuais, como o Netware da Novell enviam até 16 pacotes seguidos do servidor para a estação, gerando cerca 24 kbyte de dados.



Dois parâmetros indicam a performance da bridge:

- Taxa de filtragem
- Taxa de transferência

A taxa de filtragem é a taxa máxima em que a bridge consegue inspecionar o pacote e decidir se ele deve ser filtrado ou transferido. Normalmente esse parâmetro indica a capacidade agregada de filtragem.

A taxa de transferência é a taxa máxima em que a bridge consegue inspecionar e transferir os pacotes. Também é normalmente informado como a capacidade agregada de transferir pacotes. A próxima tabela apresenta os dados de alguns equipamentos comerciais.

Fabricante	Modelo	Filtragem	Transferência
Allied Telesis	AT-6870	25.000	12.500
D-Link	DI-1100	20.000	12.000
Gandalf	LANline 5220	15.600	2.000
HP	28674A	29.760	29.760
Penril	1210	17.000	11.000
Retix	2200	12.000	8.400

Pode-se considerar 19.000 pps uma boa taxa de filtragem e 10.000 pps uma boa taxa de transferência. Quanto mais portas tiver a bridge, melhor deve ser sua performance pois haverá tráfego convergente em uma única porta.

Back pressure

Quando o buffer de entrada atinge seu limite de saturação e a bridge envia o sinal jam na porta para controlar o fluxo de entrada.

A back pressure pode estar ou não habilitada na bridge. Esse controle pode provocar a deterioração do domínio se a bridge não estiver conseguindo processar o tráfego de entrada. Por outro lado, se o controle estiver desabilitado, alguns pacotes que deveriam ser transferidos pela bridge serão perdidos.

Filtragem especial

A bridge pode ser programada para executar uma filtragem do pacote lido. Essa filtragem pode ser, por exemplo, de protocolo.

Cut-through

A técnica cut-through consiste na leitura parcial do pacote. Por exemplo, se a bridge ler somente os endereços do destinatário e remetente, vai ter uma latência muito menor que a bridge store&forward, mas como não vai verificar o CRC, os pacotes defeituosos vão passar. A próxima tabela apresenta as latências de alguns equipamentos disponíveis no mercado.

Fabricante	Modelo	Leitura	Latência
Netwiz	Turbo switch	DEST e REM	21 µs
Netwiz	Turbo switch	DEST	14 µs
Grand Junction	Fast Switch	DEST e REM	29 µs

Há também o modo de operação chamado de cut-through modificado, no qual a bridge lê os primeiros 512 bits do pacote. Se considerarmos uma rede dentro dos padrões, isso vai eliminar a transferência de pacotes defeituosos por colisão.

Tecnologia dos circuitos

- CPU: executa mais tarefas
- ASIC: opera mais rápido

Resumo

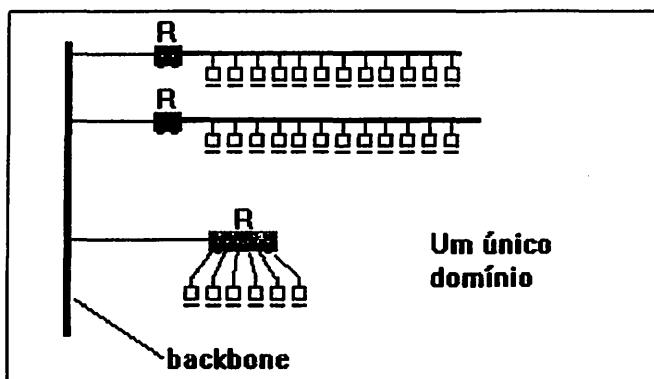
Bridge	store&forward	filtra pacotes defeituosos filtros especiais latência alta e variável
	cut-through	baixa latência passa pacotes defeituosos

Backbone colapsado

É uma estrutura de rede, cujo termo vem da semelhança dessa estrutura com uma espinha dorsal. Consiste de um cabo vertical onde se ligam as ramificações horizontais dos andares.

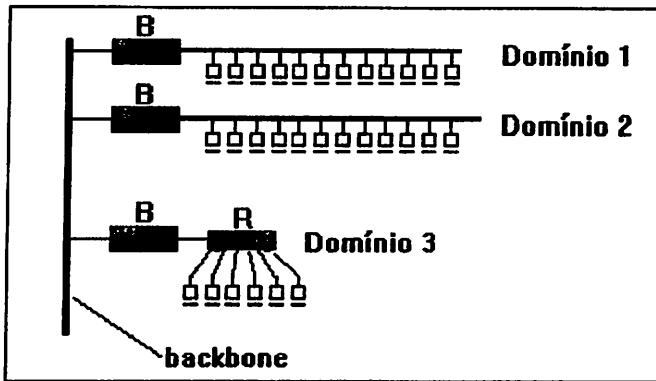
Essa estrutura é a mais antiga e tradicional, utilizada nas implementações de rede local em prédios de vários andares.

Uma vez instalada, o prédio inteiro forma um grande domínio de colisão, com um ou mais segmentos por andar (com cabo fino) e um segmento vertical implementado com cabo fino ou grosso.

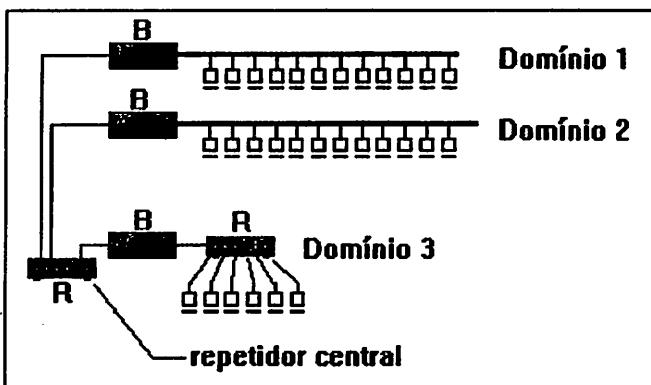


A forma imediata de segmentar uma rede com essa estrutura é instalar uma bridge em cada andar, criando-se, assim, um domínio de colisão por andar. Assim, o tráfego de cada andar fica confinado em seu domínio.

Essa segmentação melhora a performance da rede proporcionalmente ao percentual de confinamento dos tráfegos gerados nos diversos domínios.



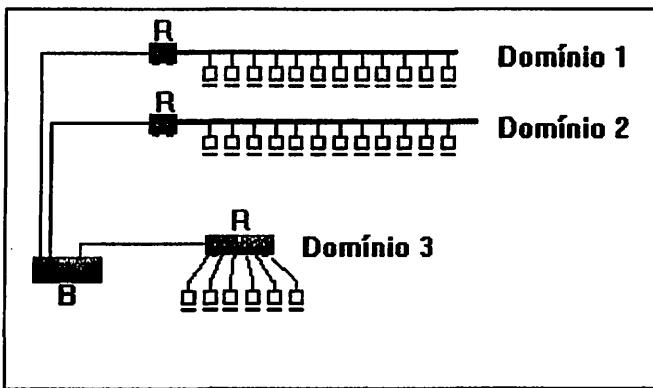
Outra forma de segmentar uma rede com essa estrutura, de efeito similar ao visto anteriormente, é substituir o backbone de cabo coaxial por cabos UTP ou fibra ótica, e instalar um repetidor em um dos andares, se ligando às diversas bridges dos andares. Nesse caso, o backbone colapsado foi transferido para dentro do repetidor central.



Outra forma, ainda, de segmentar essa rede, é instalar uma bridge com várias portas, em um dos andares, se ligando aos diversos repetidores de andar. Essa solução é melhor que a anterior se supormos que a bridge é capaz de estabelecer dois (ou mais) caminhos simultâneos entre os diversos domínios de colisão a ela ligados. No caso de quatro domínios, por exemplo, o domínio 1 pode estar se comunicando com o 2, ao mesmo tempo em que o domínio 3 se comunica com o 4.

Alguns autores chamam essa bridge de backbone colapsado, apesar de não o ser, pois a idéia de backbone cedeu lugar à idéia de concentração. Na verdade, algumas bridges possuem um backbone interno (barramento) de alta velocidade, que simula a operação simultânea. Quanto maior a velocidade desse barramento interno, melhor o desempenho da bridge.

Note que o backbone colapsado, em sua forma original, possui uma velocidade de 10 Mbps e todo o tráfego que circula entre os diversos domínios pode sofrer colisão.



Ethernet full-duplex

No link, entre uma porta de switch e um ETD, não seria preciso haver o sensoriamento de sinal ("carrier sense") pois há dois pares de fios, um exclusivo para transmissão e outro para recepção. Também não seria preciso detectar colisão (já que ela não vai existir), transmitir "jam" ou fazer o backoff.

Claro que se fosse feita essa alteração, o conceito básico do padrão Ethernet (acesso aleatório com possibilidade de colisão) estaria sendo violado. Porém, alguns fabricantes disponibilizam portas que podem operar full-duplex, ou simplesmente duplex.

Servidor de rede local

Servidor de arquivo

Computador que armazena os programas aplicativos que vão rodar nas estações, bem como os arquivos de dados dos diversos usuários.

Quando uma estação deseja processar um determinado trabalho, primeiro o servidor transfere o programa e depois o arquivo de dados para a estação. Assim funciona o sistema operacional Netware da Novell, por exemplo.

Esse tipo de servidor precisa ter um disco rígido com baixo tempo de acesso pois esse será seu maior trabalho. A capacidade do processador na verdade influí pouco (486 ou Pentium).

Servidor de utilitários

Computador hospedeiro de programas utilitários com por exemplo servidor de fax ou servidor de correio eletrônico.

Esse tipo de servidor precisam de processadores mais potentes e barramentos mais rápidos (PCI).

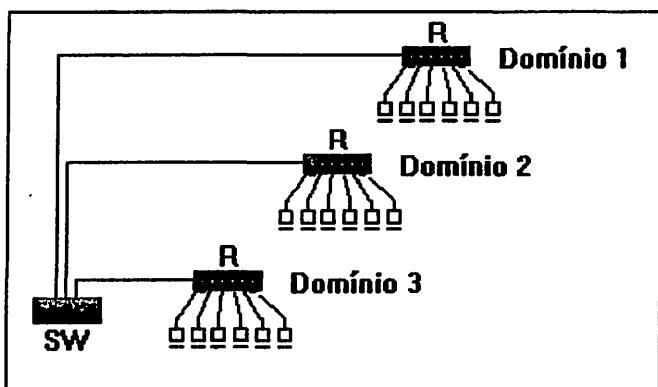
Switch Ethernet

Switch é apenas um nome mais moderno para a bridge. O nome "switch" sugere maior velocidade, e, talvez por questão de marketing, alguém começou a chamar bridge de switch e pegou.

Vimos que, dentre as técnicas "store & forward" e "cut-through", esta última é mais rápida. Alguns autores dizem que switch é o equipamento que opera em "cut-through". No entanto, atualmente, muitos equipamentos permitem selecionar esse modo de operação, inclusive dando opções intermediárias.

Vamos, agora, chamar esse equipamento de switch, para acompanhar a terminologia vigente.

A próxima figura, que mostra um switch como backbone da rede, na verdade apresenta a mesma solução da figura anterior, apenas trocando todos os cabos coaxiais dos andares por repetidores UTP, pois também essa é a tendência atual, se não dizer a única alternativa prática de implementação.



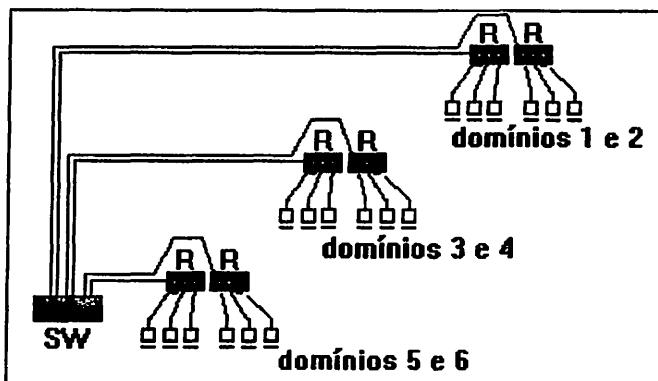
Digamos que a rede da figura anterior, apesar de segmentada com um switch no backbone, ainda apresenta desempenho insatisfatório e deseja-se melhorar sua performance.

Uma providência que pode ser tomada é segmentar mais a rede, aumentando a quantidade de domínios por andar ou onde existe possibilidade de confinar tráfego.

É fundamental a identificação de grupos de trabalho dentro da rede corporativa e colocar os participantes desse grupo dentro de um mesmo domínio.

A próxima figura ilustra essa multiplicação de domínios. Note que cada repetidor de andar foi dividido fisicamente na figura. No entanto, há repetidores, comercialmente disponíveis, que permitem se segmentar internamente. Normalmente os concentradores são segmentáveis por placa de expansão e alguns permitem multi-segmentos por placa. Normalmente os hubs

não são segmentáveis e, nesse caso, é preciso instalar outro hub para criar mais um domínio. Há, no entanto, hubs segmentáveis disponíveis no mercado e um dos mais comuns é o hub de 12 portas segmentável em três domínios de 4 portas.



Fast Ethernet

100baseTX

Norma publicada pelo IEEE, que define um protocolo para rede local com velocidade de 100 Mbps, operando em par trançado categoria 5.

Funciona exatamente da mesma forma que o padrão 10baseT, porém a uma velocidade dez vezes maior. Utiliza dois pares do cabo não blindado e o segmento pode ter até 100 metros, o que atende à norma de cabeamento estruturado EIA-568 já consagrada. Da mesma forma que no 10baseT, um par de fios é utilizado para transmissão e outro para recepção.

A tabela abaixo mostra os principais parâmetros 10baseT e 100baseTX.

Parâmetro	10baseT	100baseTX
Velocidade	10 Mbps	100 Mbps
Duração de um bit	0,1 µs	0,01 µs
Menor pacote (sem preambulo)	512 bits	512 bits
Maior retardo permitido	25,6 µs	2,56 µs

Note que o maior retardo permitido caiu na proporção de 10 vezes, o que vai acarretar em uma rede com um menor diâmetro.

A norma IEEE Fast Ethernet define dois tipos de repetidor, conforme o retardo interno deles:

- Classe I : retardo interno igual ou menor que 0,70 μ s
Classe II : retardo interno igual ou menor que 0,46 μ s

As placas de rede que operam Fast Ethernet apresentam um retardo interno da ordem de 0,25 μ s, menor que aquelas que operam 10baseT. Sabendo que o retardo de 100 metros de cabo UTP é 0,55 μ s, podemos concluir que em uma rede 100baseTX, podemos ter, no máximo, dois repetidores classe II em série, e o diâmetro da rede deve ser igual ou menor que 205 metros. Os dois repetidores devem estar ligados por um cabo UTP de, no máximo, 5 metros.

2 repetidores classe II	0,92 μ s
2 segmentos UTP	1,10 μ s
2 ETD	0,50 μ s
5 m de cabo UTP	<u>0,03 μs</u>
Retardo total Δt	2.55 μ s

Se forem utilizados repetidores classe I, somente será permitido um repetidor. Confira os retardos.

Exercício 1

Qual o comprimento máximo de fibra que podemos instalar em uma porta de um repetidor 100baseTX classe II, sendo que uma outra porta desse mesmo repetidor possui uma estação ligada por um cabo UTP de 100 metros?

Exercício 2

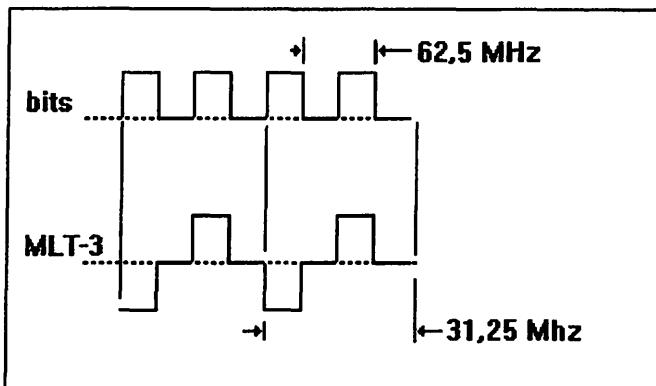
Com um repetidor 100baseTX classe II, qual a maior extensão de fibra ótica que pode haver entre duas estações?

O sinal de transmissão 100baseTX foi baseado na especificação ANSI TP-PMD, conhecida como CDDI (FDDI sobre cobre UTP).

A codificação do sinal de transmissão é a 4b/5b, que significa quatro bits de dados para cada 5 bits transmitidos. Como a velocidade dos dados é de 100 Mbps, a velocidade na linha é de 125 Mbps. A sequência de dados a transmitir é dividida em grupos de quatro bits ($2^4 = 16$ possibilidades) e cada grupo é transformado em um grupo de cinco bits ($2^5 = 32$ possibilidades).

As sequências de 5 bits geram um sinal de 62,5 MHz (dois bits por ciclo). Essa sequência é codificada segundo um algoritmo chamado de MLT-3, que agrupa quatro bits em um ciclo, reduzindo a frequência do sinal na linha para

31,25 MHz. O algoritmo MLT-3 gera uma transição, sempre no mesmo sentido, se o bit for "1" ou fica no estado anterior, se o bit for "0".



A norma 100baseTX inclui um tópico sobre auto-negociação da velocidade. Tanto o repetidor quanto o ETD podem ter a facilidade de negociação da velocidade (10 ou 100 Mbps). Se um dos dois tiver essa facilidade, a velocidade na linha será a maior suportada por ambos.

100baseT4

Norma publicada pelo IEEE, que define um protocolo para rede local com velocidade de 100 Mbps, operando em par trançado categoria 3. Utiliza o esquema de codificação 8B/6T, mais eficiente que a codificação Manchester do 10baseT. O objetivo da norma é apresentar uma solução de rede de alta velocidade para aquelas instalações antigas que foram montadas visando apenas telefonia ou dados a 10 Mbps.

Nesse caso as características elétricas são diferentes do Ethernet.

A 100baseT4 utiliza 4 pares de fios e o mesmo conector RJ45. Utiliza três pares simultaneamente para transmitir 25 Mbaud em cada, totalizando 75 Mbaud. Como cada baud transmite 4/3 bits (o código 8B/6T transmite 8 bits a cada 6 bauds), então a velocidade de transmissão é igual a:

$$(25 \text{ Mbaud})(3)(4/3 \text{ bit/baud}) = 100 \text{ Mbps}$$

Pares	Aplicação
1 e 2	Transmissão
3 e 6	Recepção
4 e 5	Bidirecional
7 e 8	Bidirecional

Como o 100baseT4 não possui pares fixos para transmissão e recepção, não é possível implementar o modo full-duplex.

100baseFX

Norma publicada pelo IEEE, que define um protocolo para rede local com velocidade de 100 Mbps, operando em fibra ótica multimodo 62,5/125 µm com um comprimento de onda de 1350 nm. O segmento possui duas fibras (uma para transmissão e outra para recepção) e é limitado a 412 metros. A atenuação do link, incluindo a fibra e os conectores, deve ser menor que 11 dB.

São permitidos três tipos de conectores: SC, ST e FDDI.

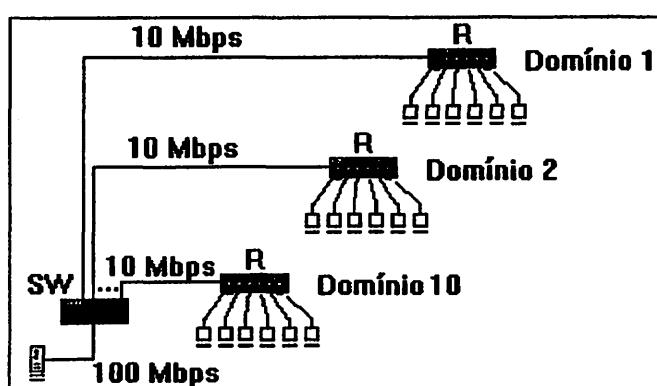
Exercício 3

Qual o comprimento máximo que pode ter um cabo de fibra para ligar um switch a uma estação, operando segundo a norma 100baseFX ?

Switch Ethernet 100/10 Mbps

Switch que possui portas tanto de 10 quanto de 100 Mbps.

A grande vantagem desse tipo de switch é que um equipamento da rede que precisa de alta vazão de dados, como um servidor de arquivo, por exemplo, conectado a uma porta de 100 Mbps, pode atender várias outras portas com segmentos compartilhados ou estações individuais, simultaneamente. Numa conta rápida, note que um servidor operando a 100 Mbps poderia atender a dez estações simultaneamente, operando a 10 Mbps, cada um ligado a uma porta de um switch 100/10.



Padrão Token Ring

Criado pela IBM, esse padrão se baseia em um funcionamento determinístico, completamente diferente do Ethernet. Foi publicado pelo IEEE como a norma 802.5.

O Token Ring utiliza a topologia lógica em anel, onde se transmite uma sequência específica de 24 bits, chamada de "Token", de uma estação para a próxima no anel. Se a estação que recebe o token, tiver dados a transmitir, o faz nesse instante.

Originalmente o Token Ring funcionava a 4 Mbps. Atualmente os dispositivos operam a 4 e 16 Mbps.

O pacote Token Ring possui endereços de destinatário e remetente com 6 bytes cada, mesmos comprimentos do pacote Ethernet.

Pacote Token Ring

Preamb	SD	AC	FC	DEST	REM	RIF	Dados	CRC	ED	FS
8	1	1	1	6	6	varia	0 a 4099	4	1	1

Formato do Token

Preamb	SD	AC	ED
8	1	1	1

Há três tipos de pacotes que circulam no anel: o token e pacotes de dados e gerenciamento.

Os três primeiros bits do campo AC definem a prioridade.

Se o quarto bit do campo AC (bit T) for "1" o pacote é um token; se for "0" o pacote é de dados ou de gerenciamento.

Quando uma estação recebe um token, se sua prioridade é maior que a do token e tem dados para transmitir, ela muda o bit T para "0" e junta o restante do pacote.

Apesar da topologia lógica ser um anel, a topologia física da instalação é em estrela.

O principal cabo utilizado em instalações Token Ring é o cabo com dois pares trançados e blindados, STP, que aceita uma distância de até 100 metros da estação até o concentrador. Cabos UTP e de fibra ótica também podem ser utilizados.

Padrão FDDI

Adota também a técnica do Token Ring, com transmissão de um token ou um pacote com informações, porém com dois anéis para prevenir contra qualquer interrupção do cabo.

O FDDI prevê a utilização de fibra ótica (mono-modo ou multi-modo) para a construção dos anéis.

O anel opera a 125 Mbps mas o sistema de codificação 4b/5b, leva a uma transmissão de 100 Mbps de dados.

Há dois tipos de encaixe no anel:

- simples: SAS ("Single Attached Station")
- duplo: DAS ("Dual Attached Station")

Há também dois tipos de concentradores:

- simples: SAC ("Single Attached Concentrator")
- duplos: DAC ("Dual Attached Concentrator")

Padrão CDDI

É a versão do FDDI para par trançado. Também transmite os dados a 100 Mbps.

Padrão ATM

Utiliza um pacote de tamanho fixo, chamado de célula, com 5 bytes de controle e 48 para dados. Pode operar em fibra ótica ou par trançado UTP.

Controle	Dados
5	48

A publicação UNI, do Forum ATM, especifica diversas velocidades para o ATM, dentre elas:

- 45 Mbps
- 155 Mbps

O estabelecimento do ATM como protocolo de comunicação está sendo considerado por muitos especialistas como uma mudança de paradigma em comunicação de dados, principalmente por dois motivos: uma célula ATM pode ser transportada tanto em rede local quanto em rede de longa distância, eliminando as conversões de protocolo hoje utilizadas, e é uma tecnologia escalonável, ou seja, o usuário pode facilmente aumentar a velocidade de seus canais agregando as inovações dos fabricantes.

O equipamento que recebe os dados do usuários, que pode estar em um dos protocolos atualmente utilizados como TCP/IP em Ethernet, Token Ring, etc, e transforma em células, se comporta de forma similar aos multiplexadores estatísticos. Os multiplexadores estatísticos montam os dados de entrada em pacotes de tamanhos variáveis, conforme a forma original desses dados, o que pode deixar pequenas informações de entrada, com alta prioridade, muito tempo em espera até ser transmitida. Essa espera variável gera um efeito de jitter inaceitável para transmissões de voz e vídeo. A célula de tamanho fixo de 53 bytes do ATM soluciona essa dificuldade.

Digamos que duas informações entram em um adaptador ATM ao mesmo tempo, sendo uma delas um sinal de voz digitalizado, que é sensível às variações do retardo. O equipamento pode transmitir mais células do sinal de voz, mas intercalando algumas do outro sinal (menos crítico), conseguindo assim atender aos requisitos de retardo para o sinal de voz, deixando o sinal menos crítico com uma espera maior porém sem consequências.

Switch com conversão de padrão de rede

Vimos os padrões Ethernet, Fast Ethernet, Token Ring, FDDI, CDDI e ATM. A primeira forma de se implementar uma rede é utilizar um único padrão para toda a rede e normalmente é assim que começa. No entanto, com o passar do tempo surge a necessidade de se implementar outro padrão e interconectar ao já implementado, seja por razões logísticas ou por necessidade de aumentar a capacidade de transmissão da rede.

Os equipamentos tradicionais de segmentação de redes, os roteadores, e atualmente os switches, possuem a capacidade de converter um padrão em outro. Uma switch operando no modo cut-through não consegue fazer

conversão de padrões porque para isso é preciso analisar e reformatar os pacotes.

Com o advento do switch, como era de se esperar, veio também um pacote de termos específicos à nova tecnologia, como é o caso de "up-link".

Up-link

É uma porta do switch, com velocidade maior que as demais e, normalmente, em um padrão diferente, com a finalidade de ligar o switch a um canal de velocidade mais alta. Nesse caso o switch vai converter o sinal recebido no padrão das portas de baixa velocidade para o padrão do up-link e vice versa.

Essa porta de alta velocidade tem duas aplicações básicas:

- Acesso um servidor de alta velocidade:

Instala uma NIC de alta velocidade (CDDI, FDDI, 100bTX, 100bFX ou ATM) no servidor e o conecta no up-link. Conecta os hubs nas portas de baixa velocidade.

- Acesso a um backbone de alta velocidade:

Conecta o up-link no switch que estiver sendo utilizado como backbone, ou no anel FDDI.

É semelhante a uma multiplexação dos canais de baixa velocidade no de alta (up-link).

Normalmente os equipamentos com capacidade de up-link possuem um slot para encaixar o módulo de alta velocidade, que pode ser escolhido dentre alguns padrões disponíveis. Como exemplo veja os equipamentos distribuídos pela Zetha:

Equipamento	Fabricante	Portas 10 M	Slots	Up-link
PizzaSwitch-10	Xylan	12	2	FDDI-DAS(MIC-multimodo), FDDI-DAS(SC-monomodo), CDDI(4p), 100bTX, 100bFX, ATM-155(SC), ATM-DS3(BNC)
PizzaSwitch-10U	Xylan	0-8	2	idem acima
Fast-Pipes	Networth	12	1	FDDI(SAS e DAS), CDDI, 100bTX
AT-TS95TR	Allied Tel	8	1	ATM-155
AT-TS90TR	Allied Tel	8	1	100bTX
AT-4016	Allied Tel	16	1	ATM-155

Switch de chassis

É um equipamento de porte maior que aqueles fixos. Esse tipo de switch possui placas de expansão opcionais que se encaixam no chassis, oferecendo diversas opções de padrões e superando a quantidade de portas dos modelos fixos. As placas se comunicam via um barramento de alta velocidade, do chassis. Quanto maior a velocidade desse barramento maior a capacidade de transferência de dados do equipamento.

Como exemplo vamos analisar o OmniSwitch, fabricado pela Xylan e distribuído no Brasil pela Zetha.

O equipamento é oferecido em quatro modelos: dois chassis com e sem capacidade de switching ATM. O equipamento adota a filosofia de processamento distribuído, com um microprocessador RISC e dois ASICs no chassis e cada placa de expansão possui dois RISC e cinco ASICs. Cada placa de expansão tem capacidade para 1000 endereços MAC ou 2000 se for adicionada memória extra (opcional).

Para executar todas as conversões de padrões de rede, o equipamento possui três barramentos internos: um de pacotes operando a 1 GBps, um de células operando a 13,2 Gbps e um de gerenciamento operando a 120 Mbps. O barramento de células só existe nos modelos terminados com "X", que fazem chaveamento ATM.

Modelo	Slots exp.	SW ATM	Placas de expansão	Descrição da placa
Omni-5	4	-	ESM-C-12	12 portas Ethernet 10M UTP
Omni-9	8	-	ESM-F-8	8 portas Ethernet 10M Fibra
Omni-5X	4	sim	ESM-U-6	6 portas Ethernet 10M (selec)
Omni-9X	8	sim	ESM100-C-8	8 portas Ethernet 100M UTP
			ESM-100F-2	2 portas Ethernet 100M fibra multi
			FSM-M-2	2 portas FDDI DAS fibra monomodo
			FSM-S-2	2 portas FDDI DAS fibra multimodo
			FSM-C-8	8 portas (2 anéis) CDDI UTP
			TSM-C-6	6 portas Token Ring UTP ou STP
			ASM-155C-2	2 portas ATM 155M UTP
			ASM-155FM-2	2 portas ATM 155M fibra multimodo

Implementações de rede

Podemos dividir as redes em categorias, conforme a sua capacidade agregada total de transferência de dados, a soma das transferências simultâneas que podem ocorrer na rede. Vamos tomar como base equipamentos de 12 portas, apenas para visualizar a capacidade das diferentes categorias.

A primeira da lista é uma rede de 10 Mbps compartilhado, com um único domínio de colisão, ou seja, possui um ou mais repetidores interligados, proporcionando um agregado total de 10 Mbps.

A segunda é uma rede toda em 100 Mbps compartilhado, onde servidores e estações disputam um segmento de 100 Mbps.

A terceira da lista é uma rede com um switch Ethernet de 12 portas de 10 Mbps, dividindo a rede em vários domínios de colisão. Nesse caso o agregado da rede sobe para 120 Mbps. Essa implementação é indicada para ambientes onde existe grupos de trabalho, cujos tráfegos são, digamos, 80 % confináveis.

A quarta é uma rede com um switch com um up-link de 100 Mbps e 12 portas de 10 Mbps para atender aos grupos de usuários. Indicada para aplicações onde existe um servidor corporativo, que precisa de alta demanda de dados, atendendo a alguns grupos de usuários. Nesse caso instala-se o servidor no up-link de 100 Mbps.

A quinta é uma rede com um switch Ethernet de 12 portas de 100 Mbps, dividindo a rede em 12 domínios de 100 Mbps.

A sexta é uma rede com um switch com um up-link ATM de 155 Mbps e 12 portas de 100 Mbps para atender aos grupos de usuários. Indicada para aplicações onde existe um servidor corporativo, que precisa de alta demanda de dados, atendendo a alguns grupos de usuários. Nesse caso instala-se o servidor no up-link ATM. Esta categoria é similar à quarta.

A sétima é uma rede com backbone chaveado em ATM 155 Mbps e 12 switches com up-link ATM e portas Fast Ethernet, Ethernet ou outra tecnologia nas pontas.

	Categoria	Agregado	Total [Mbps]
1	Ethernet 10M compartilhado	1x10	10
2	Ethernet 100M compartilhado	1x100	100
3	Ethernet 10M chaveado	12x10	120
4	Up-link Ethernet 100M e 10M chaveado	100 + 12x10	220
5	Ethernet 100M chaveado	12x100	1.200
6	Up-link ATM 155M e 100M chaveado	155 + 12x100	1.355
7	ATM 155 Mbps chaveado	12x155	1.860

Uma rede pode ter em sua estrutura, uma ou mais categorias. Naturalmente, pode-se também definir outras categorias, principalmente com o advento do ATM a 622 Mbps.

A seguir vamos analisar algumas implementações.

Rede 1: Servidores corporativos

- Agrupados em FDDI
- Agrupados em CDDI
- Agrupados em 100baseTX
- Ligados em portas ATM

Rede 2: Prédio com vários andares - backbone de alta velocidade

Um switch central funciona como um backbone, distribui canais de alta velocidade para os andares:

- Canais 100baseFX
- Canais ATM

Rede 3: Prédios ligados por alta velocidade

- Anel FDDI
- Backbone ATM

Exercício

Desenhar uma rede, especificando os equipamentos e suas interconexões, para um prédio de 5 andares (térreo e mais 4). Cada andar tem 120 m² de área, com 200 usuários por andar. Na sala de equipamentos do térreo ficam 4 servidores corporativos. O quarto andar possui uma estação de CAD/CAM que se comunica intensamente com um dos servidores que ficam no térreo.

Sub-redes virtuais: VLAN

É uma rede, implementada logicamente por intermédios de switches, onde os usuários podem estar em qualquer porta de qualquer switch e as transmissões entre eles somente fica restrita ao protocolo camada 2, ou seja, entre duas estações da mesma VLAN somente há switching. Entre duas estações localizadas em VLANs diferentes haverá roteamento.

As bridges e switches possuem a limitação natural de deixar passar os pacotes de broadcasting de um domínio de colisão a outro, pois como o endereço é especificado no pacote da camada 2 (Ethernet, etc), a bridge o trata como uma estação desconhecida. Para contornar esse problema os roteadores tem sido utilizados como backbone das redes locais, apesar do alto retardo introduzido.

A técnica de VLAN busca resolver essa limitação nas grandes redes locais, onde usuários do mesmo grupo de trabalho podem estar geograficamente distantes. Uma VLAN confina os pacotes de broadcasting, funcionando como uma rede convencional, porém com os roteadores definidos logicamente entre as VLANs.

Em um rede grande, separada por roteadores (sub-redes), cada estação possui um endereço no protocolo da camada 3. Se uma estação mudar de sub-rede o administrador deve modificar o endereço dessa estação para que ela se comunique. Nesse tipo de rede convencional, cada sub-rede é limitada fisicamente e tem um endereço.

Com as redes virtuais essa dificuldade é superada. Uma porta de switch pode conter estações de várias VLANs.

Há várias formas de se estabelecer VLANs:

Sub-rede virtual por porta

É a forma mais simples de se estabelecer sub-redes virtuais. Um conjunto de portas de switches (em uma ou várias switches) formam uma VLAN.

Inicialmente é muito fácil de definir, mas possui algumas limitações. Por exemplo, se for desejável estabelecer mais de uma VLAN em um repetidor, ele deve ser segmentado. Se um servidor ou estação quiser participar de mais uma VLAN deve ter mais uma placa de rede. Se uma estação muda fisicamente de porta de switch, seu endereço da camada 3 deve ser alterado. Se uma estação se muda para uma porta de switch onde existe um repetidor compartilhando outras tantas estações, ela terá que se filiar a essa VLAN.

Sub-rede virtual por endereço MAC

Define-se uma VLAN como sendo um conjunto de estações especificadas pelos seus endereços MAC.

Isso resolve algumas limitações que haviam na sub-rede por porta, como por exemplo estabelecer várias VLANs em um mesmo repetidor e evitar reconfiguração quando uma estação se muda pra outra porta de switch. Mas o problema de uma estação ou servidor participar de mais de uma VLAN ainda persiste.

Sub-rede virtual por endereço da camada 3

Utiliza o mesmo critério das sub-redes convencionais implementadas com roteadores, como por exemplo os subnets do IP.

Sub-rede virtual por mascaramento

É a forma mais versátil de se estabelecer sub-redes virtuais. Define-se uma máscara para cada sub-rede, com um comprimento fixo em bits e que pode se posicionar em qualquer parte do pacote. Dessa forma podemos criar sub-redes virtuais por grupo de endereços da camada 2 ou 3, pelo tipo de pacote Ethernet, etc.

Interconexão de duas redes locais

Imagine duas redes locais, cada uma em uma cidade diferente, cada uma com um servidor de arquivos atendendo às estações locais. Digamos que os usuários de uma rede precisem consultar arquivos que estão no servidor da outra rede. Devido à distância entre as redes, será preciso estabelecer um canal de dados de longa distância entre as duas localidades com equipamentos de transmissão de dados, como por exemplo, um par de modems operando a 28.800 bps, um enlace satélite operando a 64 kbps ou um canal digital de 2 Mbps estabelecido com fibra ótica.

De qualquer forma, será preciso um equipamento que converta o protocolo Ethernet, que trafega na rede local, para um protocolo de interface serial, a fim de transmitir os dados pela rede de longa distância (WAN).

As interfaces de rede WAN mais comuns são EIA-232 e V.35.

Há dois equipamentos que executam essa função: a Bridge e o Roteador.

Bridge remota

Vimos como funciona a bridge que interliga dois segmentos de rede local. Essa bridge é também chamada de bridge local para diferenciar da bridge que veremos agora: a bridge remota.

Na configuração mais simples, possui uma porta LAN (Ethernet, Token Ring, etc) que se conecta a um segmento de rede, e uma porta WAN (interface serial), que se conecta a um equipamento de transmissão. Esse tipo de bridge adota um protocolo de enlace na porta serial para garantir a integridade dos dados, tipo HDLC, por exemplo.

A aplicação é conectar dois segmentos de rede, distantes.

O funcionamento da bridge remota é similar ao da bridge local.

A bridge remota, após concluir que deve transferir o pacote para a interface serial, deve utilizar um determinado protocolo de WAN (como HDLC, X.25, Frame Relay, etc) para enviar os dados. Se a porta serial tiver uma velocidade muito baixa, e a bridge não tiver capacidade de armazenar os dados a transferir, haverá perda de pacotes.

Da mesma forma que a bridge local, a bridge remota pode ter várias portas de LAN e WAN.

A bridge remota é simples de instalar e o efeito é que cada uma das redes passa a ter mais servidores disponíveis.

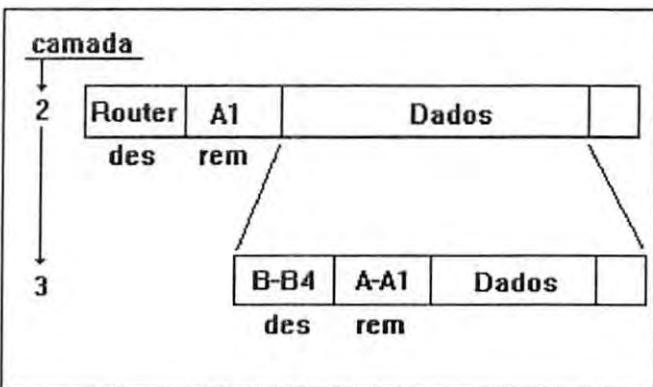
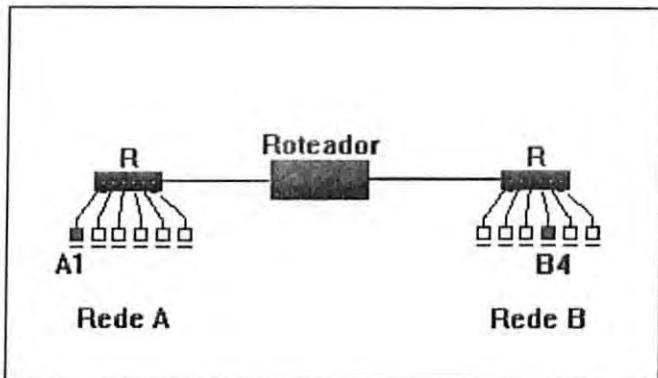
Roteador multiprotocolo

O roteador atual em uma camada superior, na escala hierárquica dos protocolos: a camada de rede.

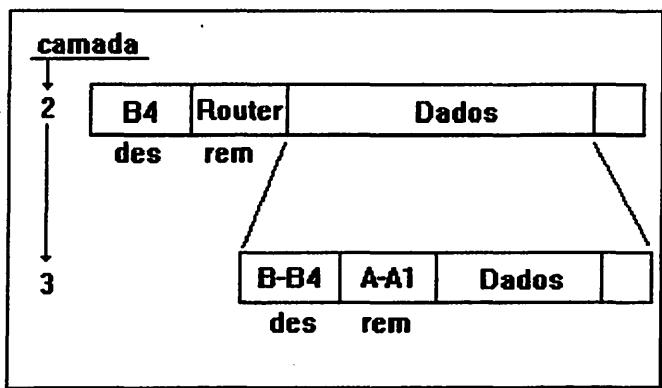
O roteador analisa o campo de dados do pacote da rede local (pacote Ethernet, por exemplo) e verifica os endereços utilizados pelo protocolo de nível superior (TCP/IP, por exemplo).

Imagine duas redes: A e B. Cada uma tem suas estações: A1, A2, A3..., B1, B2, B3....etc. As duas redes estão ligadas por um roteador "R".

Suponha que a estação A1 deseja enviar dados para a estação B4.



- 1) No protocolo da camada 3 (nível superior ao Ethernet), a estação A1 envia um pacote pra estação B4, colocando o endereço "B-B4" como destinatário e "A-A1" como remetente. Os endereços do protocolo da camada 3 possuem duas partes: endereço da rede (A e B) e endereço da estação dentro da rede (A1 e B4).
- 2) O protocolo da camada 3, sabendo que a estação B-4 fica fora da rede local, monta o pacote Ethernet direcionando-o para o roteador e coloca "A1" como remetente no pacote Ethernet.
- 3) O roteador recebe o pacote e remove as informações da camada 2 (MAC).
- 4) O roteador consulta sua tabela interna e define o melhor caminho para o pacote (em que porta deve sair).
- 5) O roteador monta o cabeçalho do pacote a transmitir, encaminhando-o ao próximo roteador ou para a estação destinatária.
- 6) Estação destinatária recebe o pacote, retira o cabeçalho da camada 2 e envia os dados para o protocolo da camada 3.



Glossário

ANSI	"American National Standards Institute"
BNC	"Bayonet Neill-Concelman". Tipo de conector de encaixe.
CDDI	"Cooper Distributed Data Interface"
CRC	"Cyclic Redundancy Check". Verificação cíclica de redundância.
FDDI	"Fiber Distributed Data Interface"
LAN	"Local Area Network". Rede de área local. Rede local.
NEXT	"Near End cross(X) Talk"
PARC	"Palo Alto Research Center". Laboratório de pesquisas da Xerox.
STP	"Shielded Twisted Pair". Par trançado blindado.
UTP	"Unshielded Twisted Pair". Par trançado sem blindagem.
WAN	"Wide Area Network". Rede de longa distância.

Solução exercício 1

1 repetidor classe II	0,46 µs
1 segmento UTP 100m	0,55 µs
2 ETD	0,50 µs
Retardo total Δt	1,51 µs

Retardo restante para ser utilizado pela fibra = $2,56 - 1,51 = 1,05 \mu s$

Comprimento = $(1,05 \mu s) / (0,48 \mu s) / 100 = 219 \text{ metros}$

Solução exercício 2

1 repetidor classe II	0,46 µs
2 ETD	0,50 µs
Retardo total Δt	0,96 µs

Retardo restante para ser utilizado pela fibra = $2,56 - 0,96 = 1,60 \mu s$

Comprimento = $(1,60 \mu s) / (0,48 \mu s) / 100 = 330 \text{ metros}$

Solução exercício 3

2 ETD	0,50 µs
Retardo total Δt	0,50 µs

Retardo restante para ser utilizado pela fibra = $2,56 - 0,50 = 2,06 \mu s$

Comprimento = $(2,06 \mu s) / (0,48 \mu s) / 100 = 429 \text{ metros}$