

Cap. 05 – Camada de Enlace

5.1 – Introdução e Serviços

5.2 – Detecção e Correção de Erros

5.2.1 – Verificação por Paridade

5.2.2 – Método de Soma Verificação

5.2.3 – Verificação de Redundância Cíclica (CRC)

5.3 – Protocolos de Acesso Múltiplo

5.3.1 – Protocolos de Divisão de Canal

5.3.2 – Protocolos de Acesso Aleatório

5.3.3 – Protocolos de Revezamento

... Cap. 05 – Camada de Enlace

5.4 – Endereçamento da Camada de Enlace

5.4.1 - Endereço MAC

5.4.2 - Address Resolution Protocol – ARP

5.5 – IEEE 802.3 ou Ethernet

5.5.1 - Estrutura do Quadro Ethernet

5.5.2 – Protocolo de Acesso Múltiplo CSMA/CD

5.5.3 – Tecnologias Ethernet

5.6 – Comutadores da Camada de Enlace

5.6.1 –

... Cap. 05 – Camada de Enlace

5.6 – Comutadores da Camada de Enlace

5.6.1 – Repasse e Filtragem

5.6.2. - Aprendizagem Automática

5.6.3 – Propriedades do Switch

5.6.4 – Switch vs Roteador

5.7 – Protocolo P2P

5.7.1 – P2P: Quadro de Dados

5.7.2 – P2P: Byte Stuffing

5.8 – Virtualização de Enlace - MPLS

Referências Bibliográficas

- James F. Kurose; Keith W. Ross – Redes de Computadores ea Internet: Uma Abordagem Top-Down – Pearson São Paulo; 5ª Edição; 2010; ISBN: 978-85-88639-97-3.
- ... Lectures dos autores James F. Kurose; Keith W. Ross (“www.pearsonhigherd.com/kurose-ross/”)
- Notas de Aula do Prof. Maurício Magalhães e Eleri Cardozo da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (FEEC) da UNICAMP “www.dca.feec.unicamp.br/” [~mauricio/~elери].

5 Camada de Enlace

Objetivos e Motivações

- Entender os princípios dos serviços da camada de enlace:
 - detecção e correção de erro;
 - canal de “broadcast” e canal ponto-a-ponto;
 - endereçamento da camada de enlace;
 - transferência de dados confiável bem como o controle de fluxo.
- Instanciação de várias tecnologias da camada de enlace;
- Implementação de várias tecnologias da camada de enlace.

5.1 - Introdução e Serviços

- “hosts” e roteadores serão tratados de nós, pois não irá fazer diferença se a origem é um “host” ou roteador;
- “enlace” - canal de comunicação que se conecta ao nó adjacente pelo caminho de comunicação;
 - enlaces cabeados; enlaces “wireless”; LANs
- “protocolo da camada de enlace” - usado para transportar um quadro de dados de um nó ao nó adjacente por um enlace.
- “frame” - unidade de dados trocada pelo protocolo de camada de enlace e que encapsula um pacote de camada de rede.
- Obs.: ... um datagrama pode ser transportado por diferentes protocolos de enlace nos diferentes enlaces do caminho !

... 5.1 - Introdução e Serviços

- ... embora o serviço básico seja o transporte de um datagrama de um nó até um nó adjacente por um único enlace de comunicação, serviços podem variar de protocolo para protocolo;
- Serviços normalmente oferecidos pela camada de enlace:
 - enquadramento de dados;
 - acesso ao enlace;
 - entrega confiável;
 - controle de fluxo;
 - detecção de erros; correção de erros;
 - half-duplex ou full-duplex

5 Camada de Enlace – 5.1 Introdução e Serviços

... 5.1 - Introdução e Serviços

- enquadramento, acesso ao enlace:
 - encapsula datagrama no quadro, incluindo cabeçalho, trailer.
- acesso ao canal (meio físico) de meio compartilhado;
 - endereços “MAC” usados nos cabeçalhos de quadro para identificar a origem e destino: diferente do endereço IP!
- entrega confiável entre nós adjacentes
 - raramente usado em enlace com pouco erro de bit como p.ex., fibra ótica, alguns pares trançados, etc.
 - enlaces sem fio (altas taxas de erro) - sugere o serviço confiável de entrega de dados em vez de forçar a retransmissão na camada de transp.
 - ... por que confiabilidade em nível de enlace e fim a fim?

5 Camada de Enlace – 5.1 Introdução e Serviços

... 5.1 - Introdução e Serviços

- controle de fluxo:
 - controle entre nós de emissão e recepção adjacentes para evitar que um lado do enlace congestionue o nó receptor do outro lado do enlace.
- detecção de erro:
 - erros causados por atenuação de sinal e por ruído;
 - receptor detecta presença de erros e, assim, pode pedir ao remetente para retransmitir, senão deverá descartar o quadro;
 - embora seja também contemplada nas camadas de transporte e de rede, detecção de erros na camada de enlace são geralmente mais sofisticadas e implementadas em “hardware” (rápidas e mais eficientes).

5 Camada de Enlace – 5.1 Introdução e Serviços

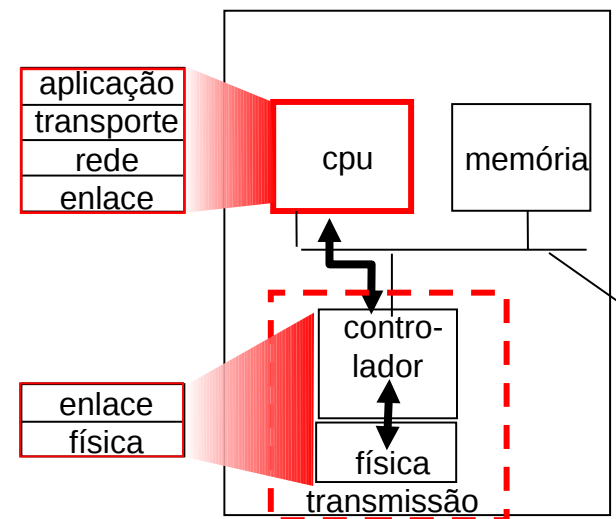
... 5.1 - Introdução e Serviços

- correção de erro:
 - semelhante a detecção, exceto que um receptor não somente detecta quando ocorrerem erros, mas também determina exatamente em que lugar do quadro os erros ocorreram e, então, os corrige;
 - receptor identifica e corrige erro(s) de bit sem lançar mão da retransmissão, tornando o processo mais eficiente.

- “half-duplex” e “full-duplex”:
 - nós em ambos os lados do enlace podem transmitir ao mesmo tempo no modo “full-duplex”, enquanto que no modo “half-duplex” apenas um dos nós transmite e recebe pacotes ao mesmo tempo.

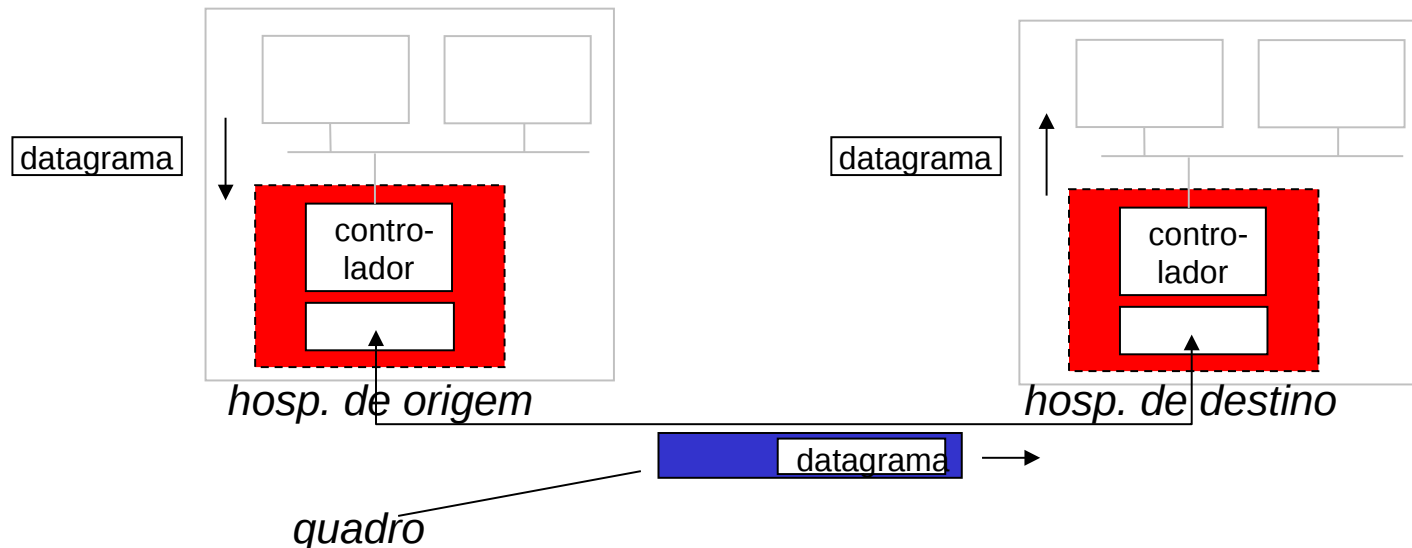
5 Camada de Enlace – 5.1 Introdução e Serviços ... 5.1 - Introdução e Serviços

- “camada de enlace” - implementada no adaptador ou na placa de interface de rede (NIC - “Network Interface Card”):
 - Placa Ethernet; Placa PCMCIA (PC Card); Placa 802.11.
 - normalmente implementa Camada de Enlace e Física.
 - responsável pela conexão ao barramento de sistema do “host”;
 - combinação de “hardware”, “software” e “firmware”.



5 Camada de Enlace – 5.1 Introdução e Serviços ... 5.1 - Introdução e Serviços

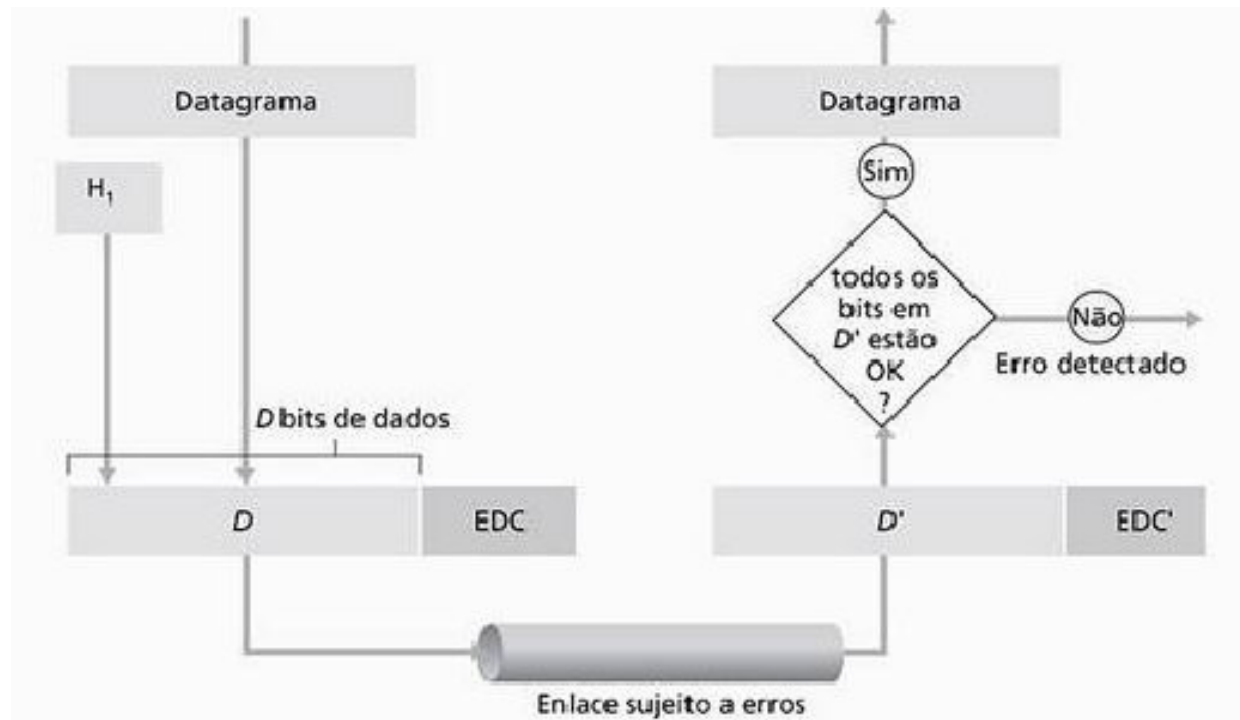
- “lado emissor” - encapsula datagrama no quadro
 - inclui bits de verificação de erro, transf. confiável, controle de fluxo, etc.
- “lado receptor” - extrai datagrama e passa à camada superior
 - procura erros, transf. confiável, controle de fluxo, etc.



5 Camada de Enlace – 5.2 Detecção e Correção de Erros

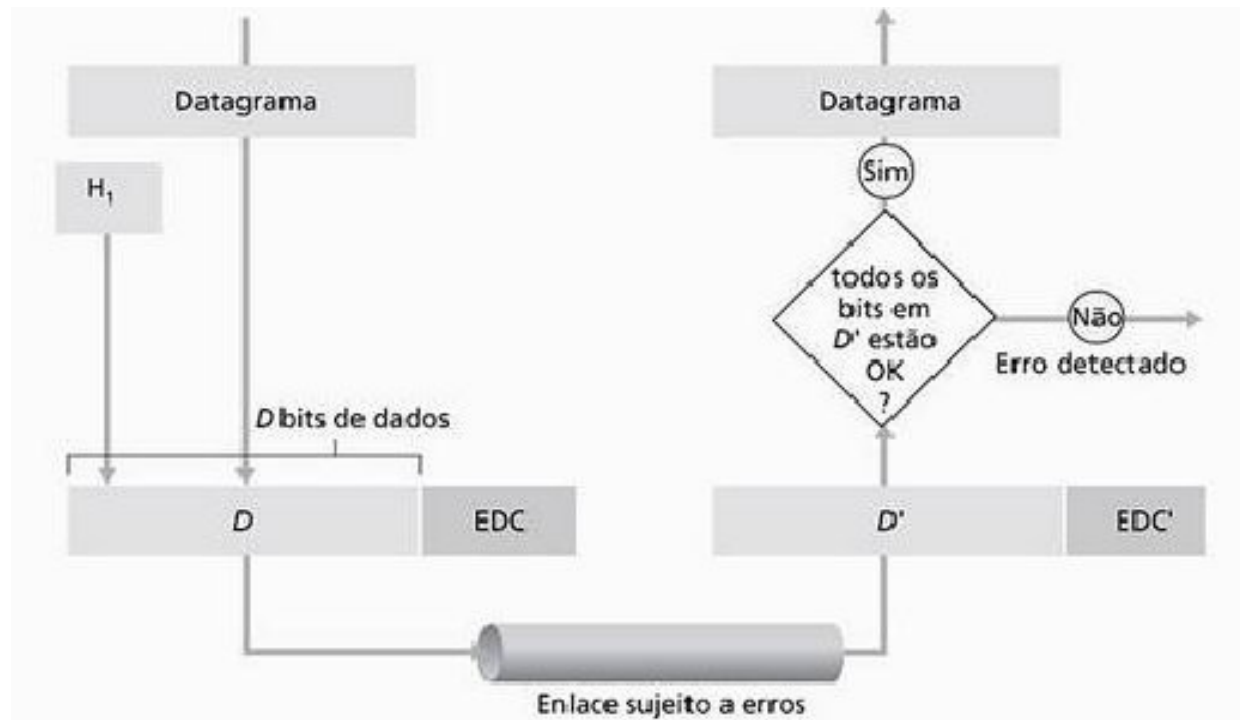
5.2 – Detecção e Correção de Erros

- EDC “Error Detection and Correction” - bits de detecção e correção de erros (contemplam “bits” de redundância);
- “D” bits de dados estão protegidos por verificação de erro, podendo ou não incluir campos de cabeçalho da mensagem.



5 Camada de Enlace – 5.2 Detecção e Correção de Erros ... 5.2 – Detecção e Correção de Erros

- Detecção de erro não é 100% confiável !
 - protocolo pode perder alguns erros, embora raramente ocorra;
 - maior campo EDC gera melhor detecção e correção => maior “overhead”.

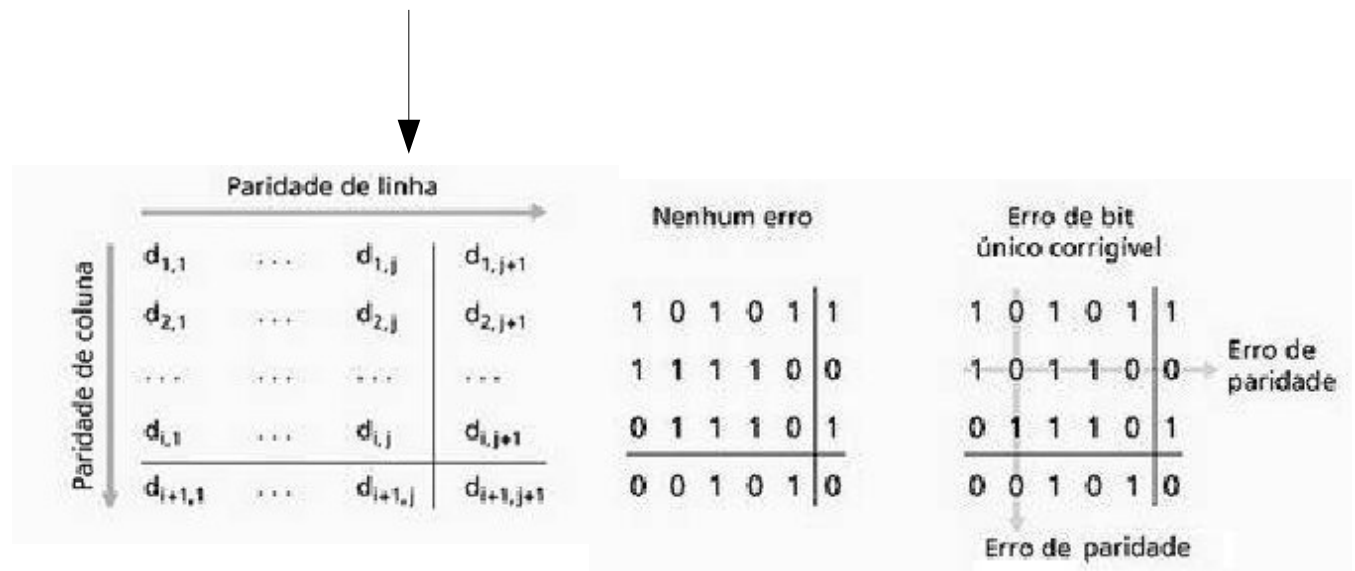
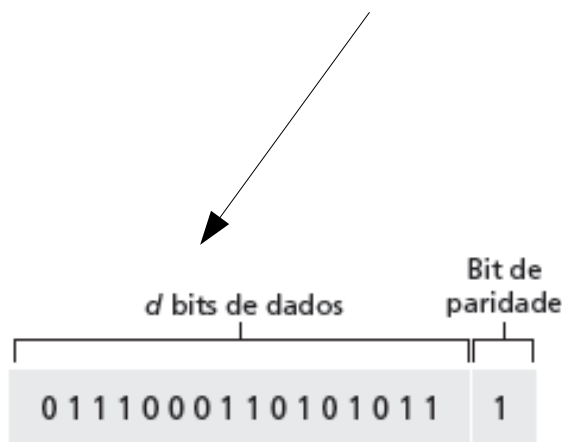


5 Camada de Enlace – 5.2 Detecção e Correção de Erros

5.2.1 – Verificação por Paridade

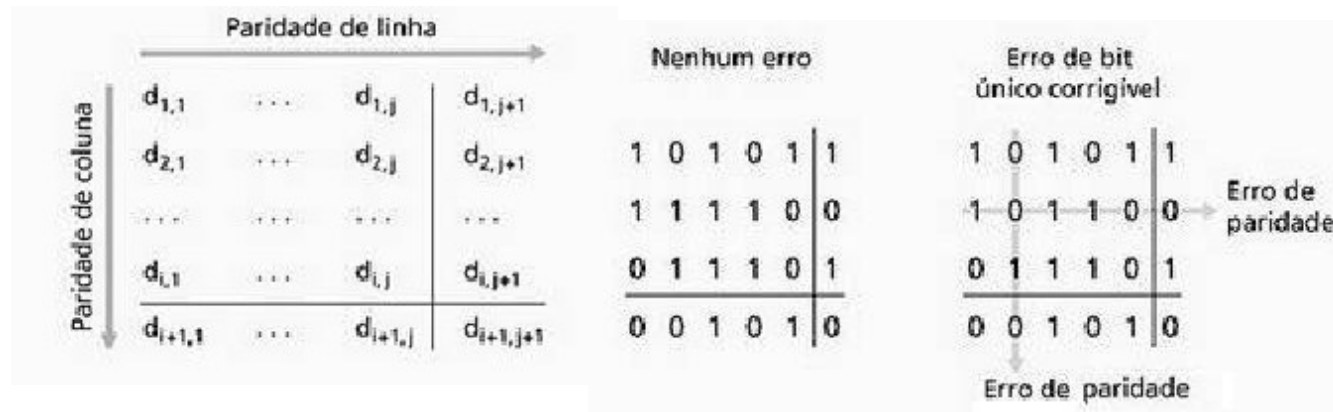
- Códigos de Detecção por Paridade:

- paridade “par” - inclui “bit” adicional de modo que o nro total de “1s” nos “bits” “d+1” (informação original + paridade) seja igual a “par”;
- paridade “ímpar” - inclui “bit” adicional de modo que o nro total de “1s” nos “bits” “d+1” (informação original + paridade) seja igual a “ímpar”;
- paridade de um único “bit” ou paridade bidimensional.



5 Camada de Enlace – 5.2 Detecção e Correção de Erros ... 5.2.1 – Verificação por Paridade

- Códigos de Detecção por Paridade:
 - paridade bidimensional - “d” “bits” de dados são divididos em “i” filas e “j” colunas e na sequência o bit de paridade é calculado para fila e coluna;
 - “i+j” “bits” de paridade resultantes compreendem os “bits” de detecção de erros do quadro da camada de enlace.



5.2.2 – Soma Verificação

- “soma verificação - “d” bits de dados são tratados como uma sequência de números inteiros de “k” bits;
- ... utilizada para detectar “erros”, p.ex., bits invertidos, no pacote transmitido (Camada Transporte da Arq. TCP/IP)
- “emissor”
 - trata conteúdo do segmento como sequência de inteiros de 16 bits;
 - soma de verificação = soma no complemento de 1 do conteúdo do seg.;
 - colocar soma de verificação no campo de soma de verificação UDP.
- “receptor”
 - calcula soma verificação do segmento recebido;
 - verifica se soma verificação calculada é igual ao valor recebido: NÃO => erro detectado; SIM => nenhum erro detectado, mas pode haver erros.

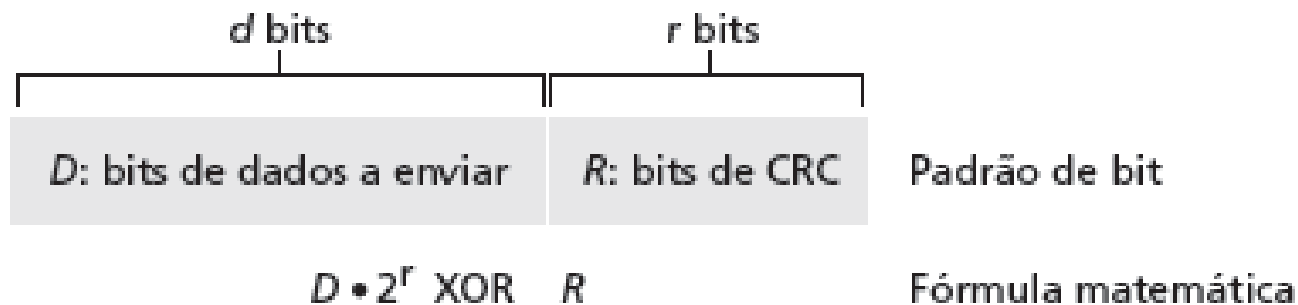
... 5.2.2 – Soma Verificação

- “soma verificação” - calcula os complementos de 1 da soma dos dados recebidos (inclusive a soma verificação) e verifica se o resultado contém somente bits “1”;
- ... se qualquer um dos bits é “0” => erro !!
- Soma Verificação na Arq. TCP/IP:
 - Protocolo UDP – calcula-se a soma verificação sobre todos os campos, incluindo os campos de cabeçalho e dados;
 - Protocolo IP – calcula-se a soma verificação somente sobre o cabeçalho, ou seja, o campo de dados não é considerado.

5 Camada de Enlace – 5.2 Detecção e Correção de Erros

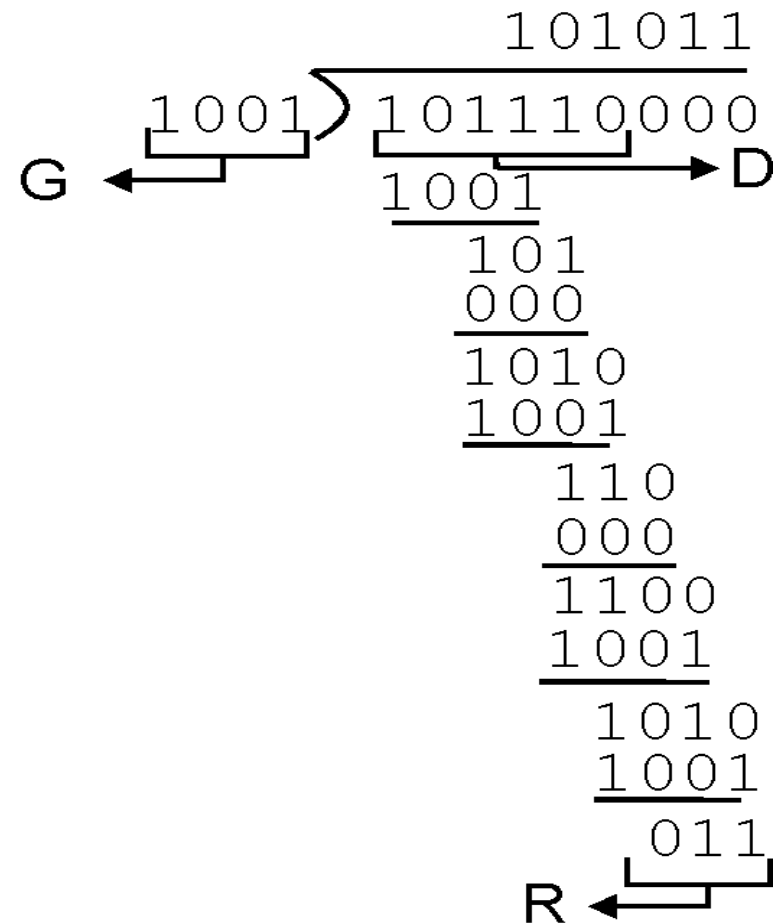
5.2.3 – Código de Redundância Cíclica

- “Código de Redundância Cíclica” (CRC) – dado um padrão de bits formados por “ $r+1$ ” bits denominado Polinômio Gerador “ G ”, calcula-se “ R ” de modo que “ $D \cdot 2^r \text{ XOR } R$ ” seja divisível por “ G ”;
 - ... tanto remetente quanto receptor conhecem “ G ”, assim receptor verifica se o resto da divisão de $\langle D, R \rangle$ por “ G ” = zero \Rightarrow nenhum erro!
 - ... utilizado no Padrão Ethernet, 802.11, ATM;



5 Camada de Enlace – 5.2 Detecção e Correção de Erros ... 5.2.3 – Código de Redundância Cíclica

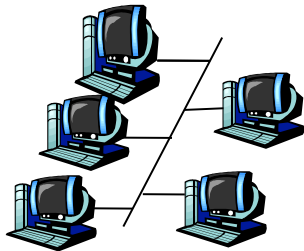
- queremos obter: $D * 2^r \text{ XOR } R = nG$
- de modo equivalente: $D * 2^r = nG \text{ XOR } R$
- $D * 2^r / G \Rightarrow Q + \text{resto "R"}$



5 Camada de Enlace – 5.3 Protocolo de Acesso Múltiplo

5.3 – Protocolos de Acesso Múltiplo

- 02 tipos de enlaces: “Ponto a Ponto” (PPP) e “Broadcast”
- “Ponto a Ponto”
 - ... consiste em um único remetente em uma extremidade do enlace e um único receptor na outra extremidade do enlace;
 - ... PPP para acesso discado; PPP entre Computador Ethernet e “host”.



fio compartilhado (p. e.,
Ethernet cabeado)



RF compartilhada
(p. e., WiFi 802.11)



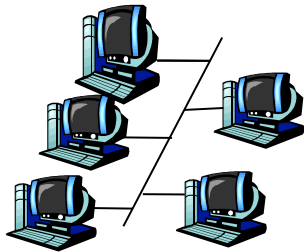
RF compartilhada
(satélite)



humanos em uma festa
(ar e acústica
compartilhados)

5 Camada de Enlace – 5.3 Protocolo de Acesso Múltiplo ... 5.3 – Protocolos de Acesso Múltiplo

- 02 tipos de enlaces: “Ponto a Ponto” (PPP) e “Broadcast”
- “Broadcast” - fio ou meio compartilhado
 - ... pode acomodar vários remetentes e receptores, todos conectados ao mesmo canal de transmissão único e compartilhado;
 - ... HFC; LAN 802.3 ou Ethernet; LAN Wireless 802.11;
 - ... muito utilizados em redes locais, redes que estão geograficamente concentradas em um único edifício, p.ex., empresa ou campus.



fio compartilhado (p. e.,
Ethernet cabeado)



RF compartilhada
(p. e., WiFi 802.11)



RF compartilhada
(satélite)



humanos em uma festa
(ar e acústica
compartilhados)

5 Camada de Enlace – 5.3 Protocolo de Acesso Múltiplo ... 5.3 – Protocolos de Acesso Múltiplo

- “Protocolo MAC (Media Access Control) - único canal de “broadcast” é compartilhado, assim, 02 ou mais transmissões simultâneas causam interferência entre os nós;
- ... algoritmo distribuído que determina como os nós compartilham canal, ou seja, determina quando o nó pode transmitir;
- ... comunicação sobre compartilhamento de canal deve usar o próprio canal – não há canal fora-de-banda para coordenação.

5 Camada de Enlace – 5.3 Protocolo de Acesso Múltiplo ... 5.3 – Protocolos de Acesso Múltiplo

- Considere um canal de “broadcast” de “ R ” bps:
 - 1) quando um nó quer transmitir, ele pode enviar na velocidade “ R ”;
 - 2) quando M nós querem transmitir, cada um pode enviar na velocidade média de transmissão “ R/M ”;
 - 3) totalmente descentralizado, ou seja, nenhum nó coordena as transmissões e não há sincronização de “clocks”.

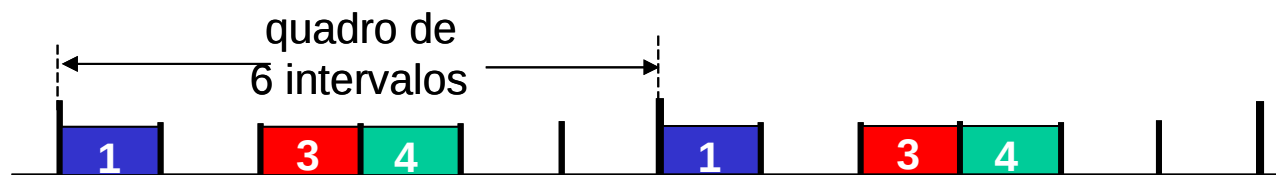
5 Camada de Enlace – 5.3 Protocolo de Acesso Múltiplo ... 5.3 – Protocolos de Acesso Múltiplo

- 03 categorias de Protocolos de Acesso Múltiplo:
- Protocolo de Divisão de Canal - divide o canal em “pedaços menores” (intervalos de tempo, frequência, código) e aloca o pedaço ao nó para uso exclusivo.
- Protocolo de Acesso Aleatório - canal não é dividido e, assim, permite colisões e se “recupera” de colisões.
- Protocolo de Revezamento - os nós se revezam, mas os nós com mais a enviar podem receber mais tempo.

5 Camada de Enlace – 5.3 Protocolo de Acesso Múltiplo

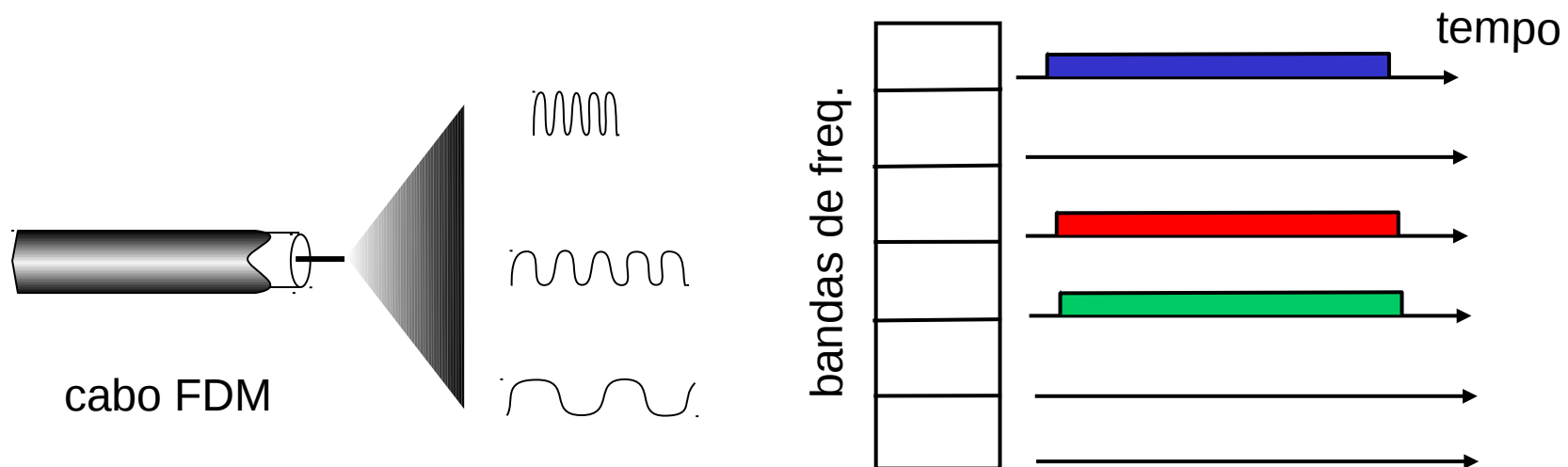
5.3.1 – Protocolos de Divisão do Canal

- Parcionamento do Canal no Protocolo MAC – TDMA
 - acesso ao canal em “rodadas”;
 - cada estação recebe intervalo de tamanho fixo (tamanho = tempo transmissão de pacote) a cada rodada;
 - intervalos não usados ficam ociosos, mas concede-se a cada estação a possibilidade de transmitir de forma determinística.
- e.g., LAN de 6 estações:
 - estações 1, 3, 4 têm pacote para transmitir;
 - estações 2, 5 e 6 não têm pacotes para transmitir, ou seja, os intervalos correspondentes ficaram ociosos (2, 5 e 6).



5 Camada de Enlace – 5.3 Protocolo de Acesso Múltiplo ... 5.3.1 – Protocolos de Divisão do Canal

- Particionamento do Canal no Protocolo MAC – FDMA
 - espectro do canal dividido em bandas de frequência;
 - cada estação recebe banda de frequência fixa;
 - tempo de transmissão não usado nas bandas de frequência fica ocioso.
- e.g., LAN de 6 estações, 1, 3, 4 têm pacote, bandas de frequência 2, 5, 6 ociosas



5 Camada de Enlace – 5.3 Protocolo de Acesso Múltiplo ... 5.3.1 – Protocolos de Divisão do Canal

- Parcionamento do Canal no Protocolo MAC – CDMA
 - ... enquanto TDMA e FDMA atribuem aos nós intervalos de tempo e frequências às estações, CDMA atribui um código diferente a cada nó;
 - ... cada estação utiliza este código exclusivo para codificar os bits de dados e transmitir os dados codificados;
 - ... tendo-se o cuidado na escolha destes códigos, nós diferentes irão transmitir simultaneamente e os seus receptores irão receber corretamente os bits de dados codificados pelos respectivos remetentes.

5 Camada de Enlace – 5.3 Protocolo de Acesso Múltiplo

5.3.2 – Protocolos de Acesso Aleatório

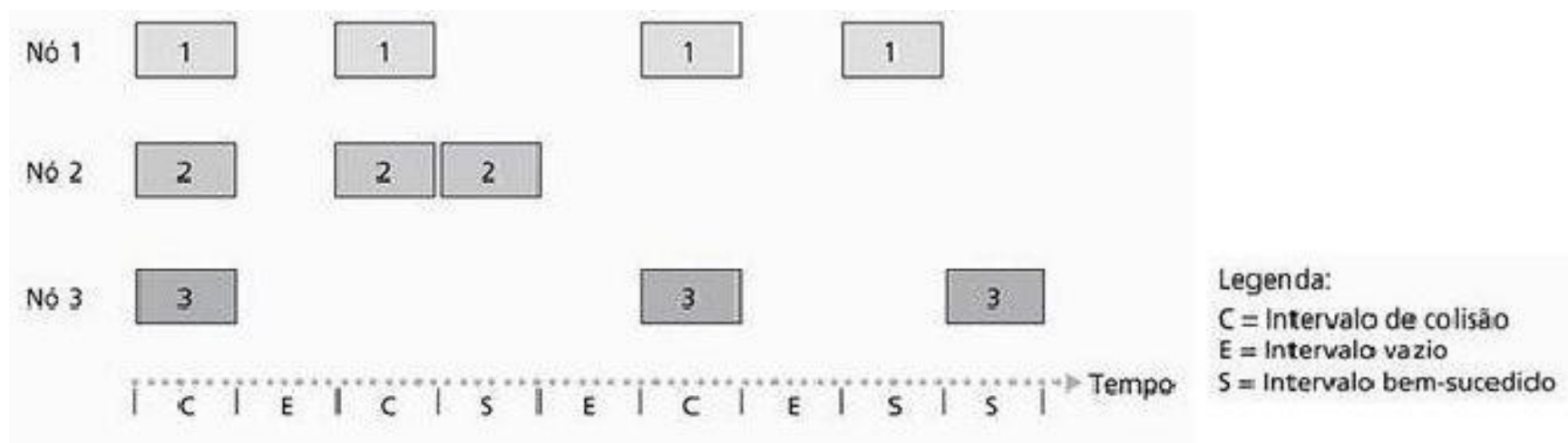
- Protocolo de Acesso Aleatório - quando o nó tem um pacote a enviar, o nó transmite na velocidade “R” total do canal;
- ... não há a coordenação “a priori” entre nós, assim, dois ou mais nós transmitindo simultaneamente → “colisão”;
- ... protocolo de acesso aleatório especifica como detectar colisões bem como recuperar-se de colisões (p.ex., através de retransmissões adiadas).
- Exemplos de protocolos MAC de acesso aleatório:
 - Slotted ALOHA; ALOHA; CSMA, CSMA/CD, CSMA/CA.

5 Camada de Enlace – 5.3 Protocolo de Acesso Múltiplo ... 5.3.2 – Protocolos de Acesso Aleatório

- Suposições do “Slotted ALOHA” :
- tempo particionado em intervalos de mesmo tamanho - “slotted” - sendo que 01 “slot” permite a transmissão de 01 quadro;
- todos os quadros do mesmo tamanho - “L” bits;
- como o tempo é particionado em “slots” de mesmo tamanho, os nós começam a transmitir somente no início de cada “slot”;
- nós são sincronizados, pois transmitem no início do “slot” e, assim, sabem onde os intervalos começam;
- se 2 ou mais nós transmitem no mesmo intervalo, a sobreposição dos sinais gera colisão que todos os nós detectam.

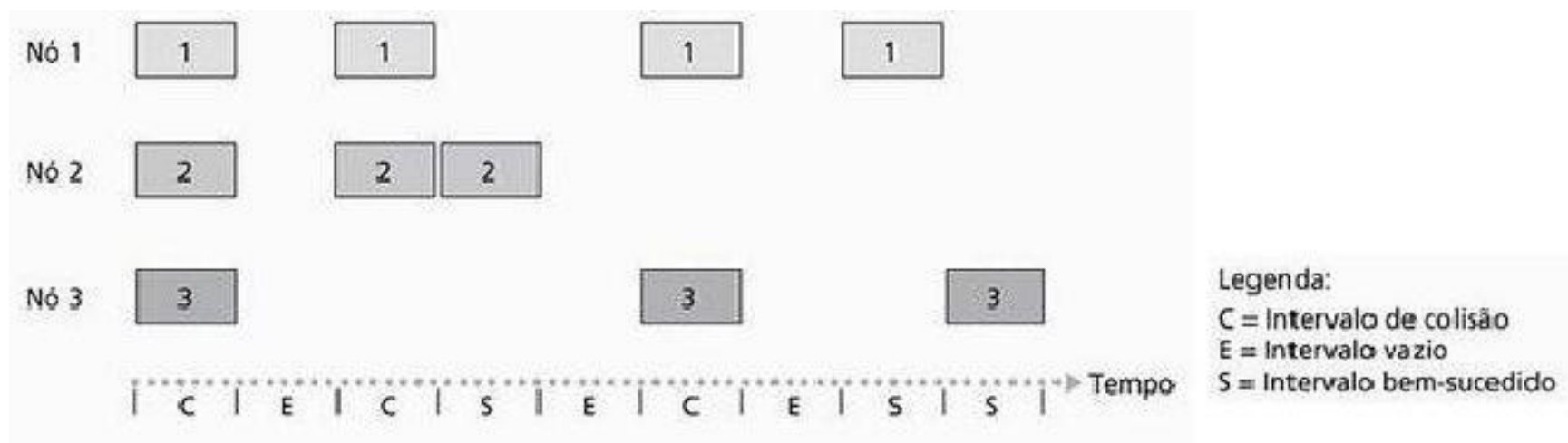
5 Camada de Enlace – 5.3 Protocolo de Acesso Múltiplo ... 5.3.2 – Protocolos de Acesso Aleatório

- Operação do Slotted ALOHA:
- ... quando nó obtém quadro novo, transmite no próximo intervalo;
- ... se não houver colisão, nó pode enviar novo quadro no próximo “slot” de tempo até finalizar;
- ... se houver colisão, nó retransmite quadro em cada “slot” de tempo subsequente com probabilidade “p” até que haja sucesso.



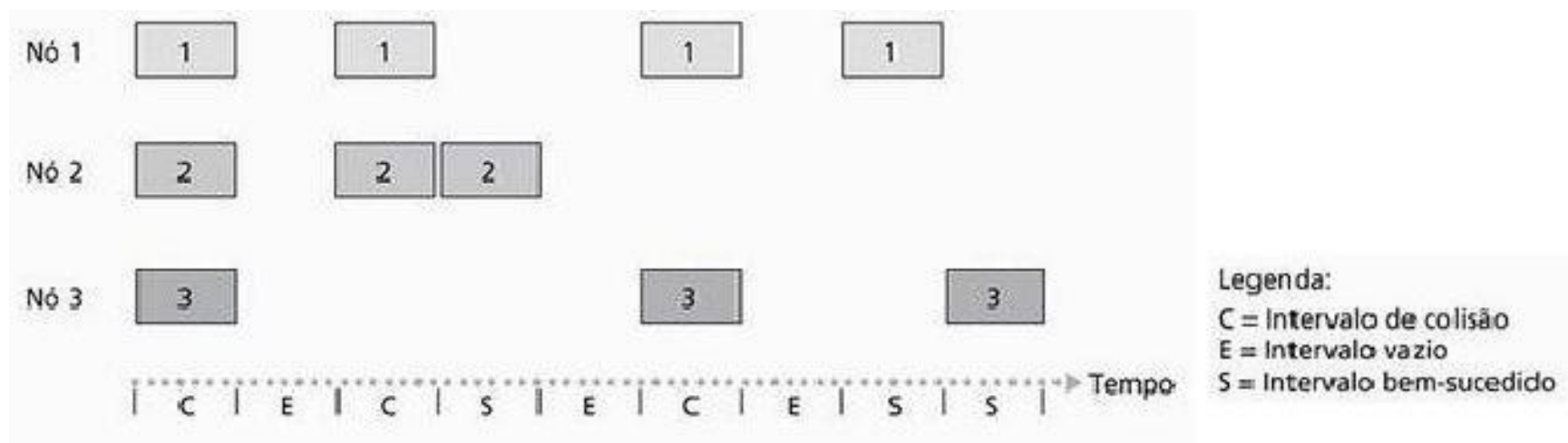
5 Camada de Enlace – 5.3 Protocolo de Acesso Múltiplo ... 5.3.2 – Protocolos de Acesso Aleatório

- Operação do Slotted ALOHA:
- “p” - probabilidade que a retransmissão será realizada no próximo intervalo ou não será realizada => salta próx. intervalo;
- ... protocolo permite que um único nó transmita na velocidade total do canal, desde que seja o único nó ativo.



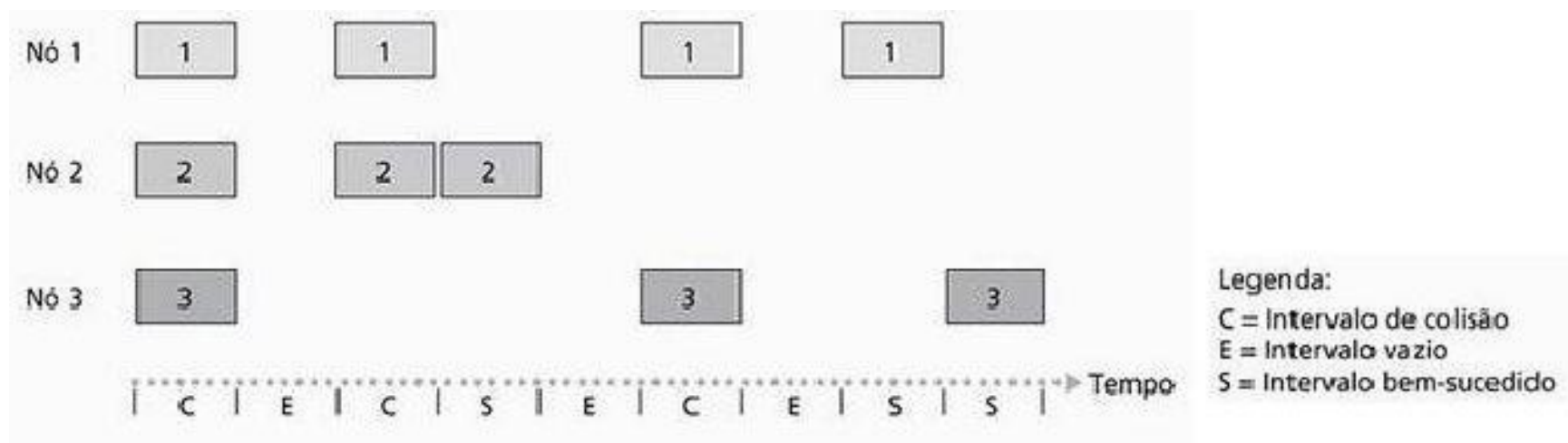
5 Camada de Enlace – 5.3 Protocolo de Acesso Múltiplo ... 5.3.2 – Protocolos de Acesso Aleatório

- Vantagens do “Slotted” ALOHA:
 - único nó ativo pode transmitir continuamente na velocidade plena do canal;
 - altamente descentralizado, pois somente intervalos nos nós precisam se encontrar em sincronismo;
 - protocolo simples de implementar.



5 Camada de Enlace – 5.3 Protocolo de Acesso Múltiplo ... 5.3.2 – Protocolos de Acesso Aleatório

- Desvantagens do “Slotted” ALOHA:
 - intervalos com colisões são desperdiçados;
 - intervalos ociosos (nenhum nó transmitindo);
 - sincronismo de “clock” é necessário para marcação dos “slots”;
 - nós podem detectar colisão em tempo menor do que tempo p / transmitir;

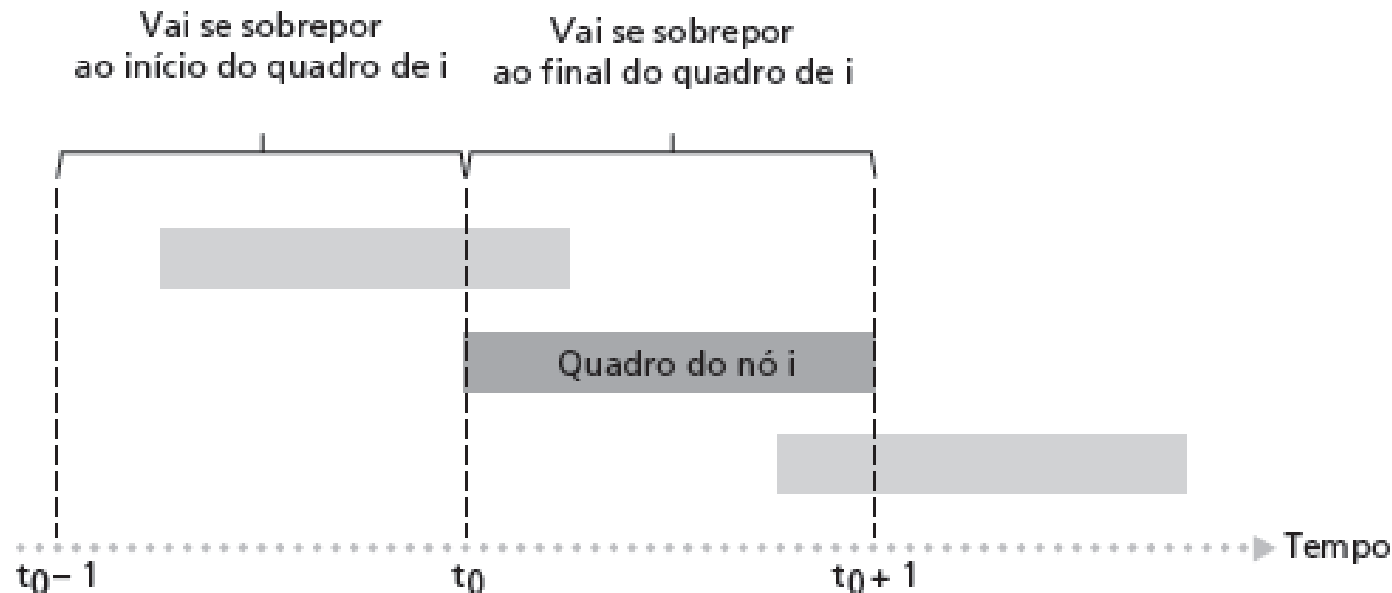


5 Camada de Enlace – 5.3 Protocolo de Acesso Múltiplo ... 5.3.2 – Protocolos de Acesso Aleatório

- Eficiência do “Slotted ALOHA” - fração durante um longo tempo de “slots” bem sucedidos em um cenário com muitos nós e com todos os nós com muitos quadros para transmitir.
 - suponha “N” nós com muitos quadros a transmitir, cada um transmitindo no “slot” de tempo com probabilidade “p”;
 - probabilidade de um nó ter sucesso no “slot” é “ $p \cdot (1-p)^{(N-1)}$ ”
 - probabilidade de qualquer nó ter sucesso é “ $N \cdot p \cdot (1-p)^{(N-1)}$ ”
 - eficiência máxima, ou seja, ache p^* que maximiza “ $N \cdot p \cdot (1-p)^{(N-1)}$ ”
 - para muitos nós, com limite de “ $N \cdot p^* \cdot (1-p^*)^{(N-1)}$ ” enquanto “N” tende ao infinito, obtem-se: “ $1/e$ ” = 0,37 ou 37%.
- Melhor das Hipóteses – uso do canal com transmissões é de até 37% dos intervalos de tempo para transmissões com sucesso !

5 Camada de Enlace – 5.3 Protocolo de Acesso Múltiplo ... 5.3.2 – Protocolos de Acesso Aleatório

- Protocolo ALOHA – protocolo mais simples do que o Slotted ALOHA, permite a transmissão tão logo um nó deseje.
- ... como não há sincronismo, a probabilidade de colisão aumenta, pois o quadro enviado em t_0 irá colidir com outros quadros que sejam enviados no intervalo $[t_0-1, t_0+1]$.



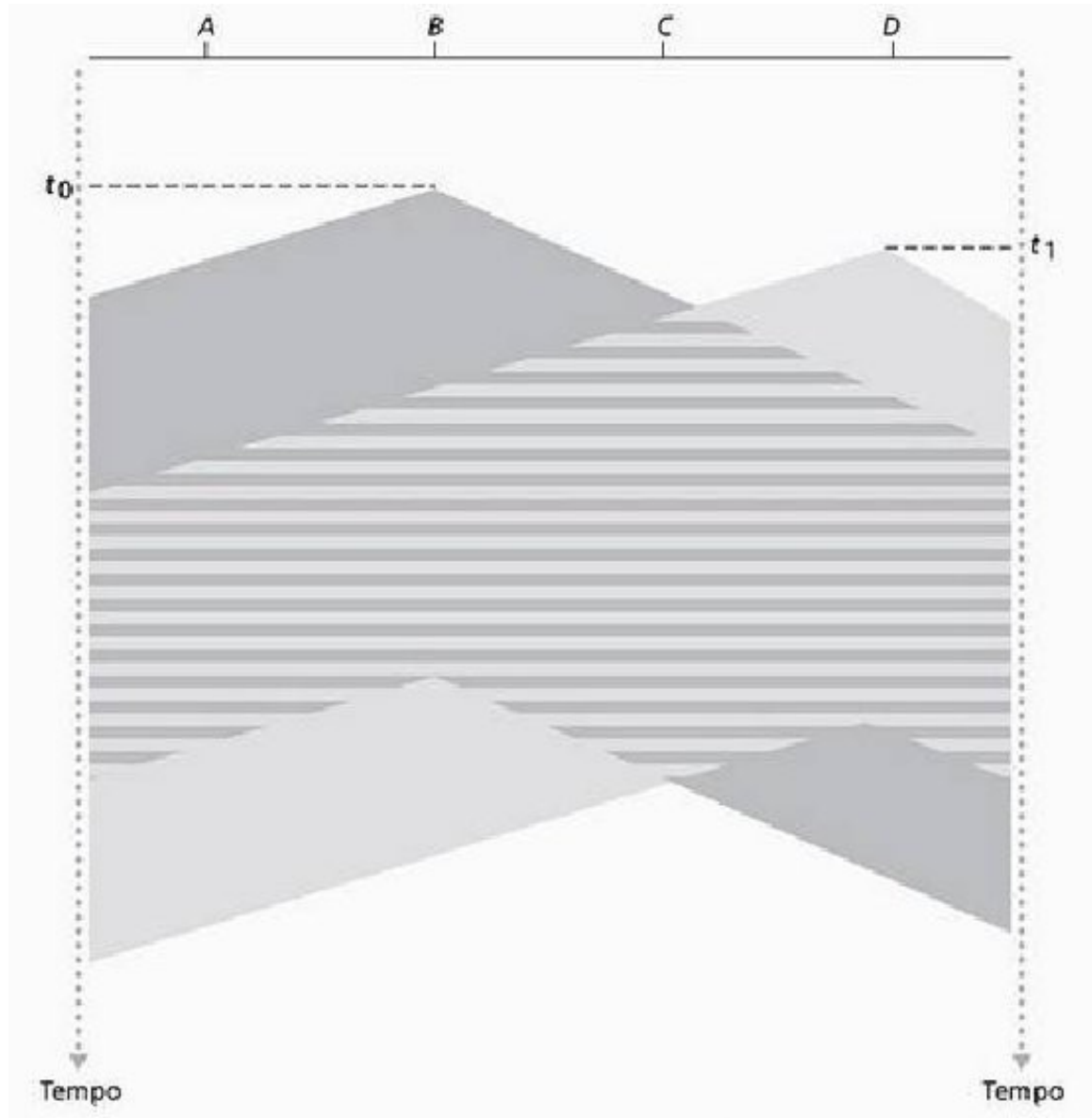
5 Camada de Enlace – 5.3 Protocolo de Acesso Múltiplo
... 5.3.2 – Protocolos de Acesso Aleatório

- Eficiência do ALOHA Puro – para este cálculo é necessário conhecer a probabilidade de sucesso de um determinado nó;
 - probabilidade do nó transmitir (vezes)
 - probabilidade de nenhum outro nó transmitir em $[t_0-1, t_0]$ (vezes)
 - probabilidade de nenhum outro nó transmitir em $[t_0, t_0+1]$.
- ... ou seja, $p \cdot (1-p)^{(N-1)} \cdot (1-p)^{(N-1)} = p \cdot (1-p)^{2 \cdot (N-1)}$
- ... escolhendo-se “p” e variando-se “N”, obtém-se: $1/2e = 0,18$.
- Eficiência do ALOHA Puro = 18% (pior que Slotted ALOHA).

5 Camada de Enlace – 5.3 Protocolo de Acesso Múltiplo ... 5.3.2 – Protocolos de Acesso Aleatório

- Protocolo CSMA (Carrier Sense Multiple Access) - ouça antes de falar, se perceber o canal ocioso => transmite quadro inteiro, se perceber canal ocupado => adie a transmissão.
- Colisões no CSMA:
- colisões podem ocorrer - atraso de propagação significa que dois nós podem não ouvir a transmissão um do outro, assim, ao iniciarem a transmissão a mesma irá gerar colisão;
- na colisão o tempo de transmissão de pacote é desperdiçado e, assim, todo o processo de acesso ao meio deve ser reiniciado.

5 Camada de Enlace – 5.3 Protocolo de Acesso Múltiplo ... 5.3.2 – Protocolos de Acesso Aleatório



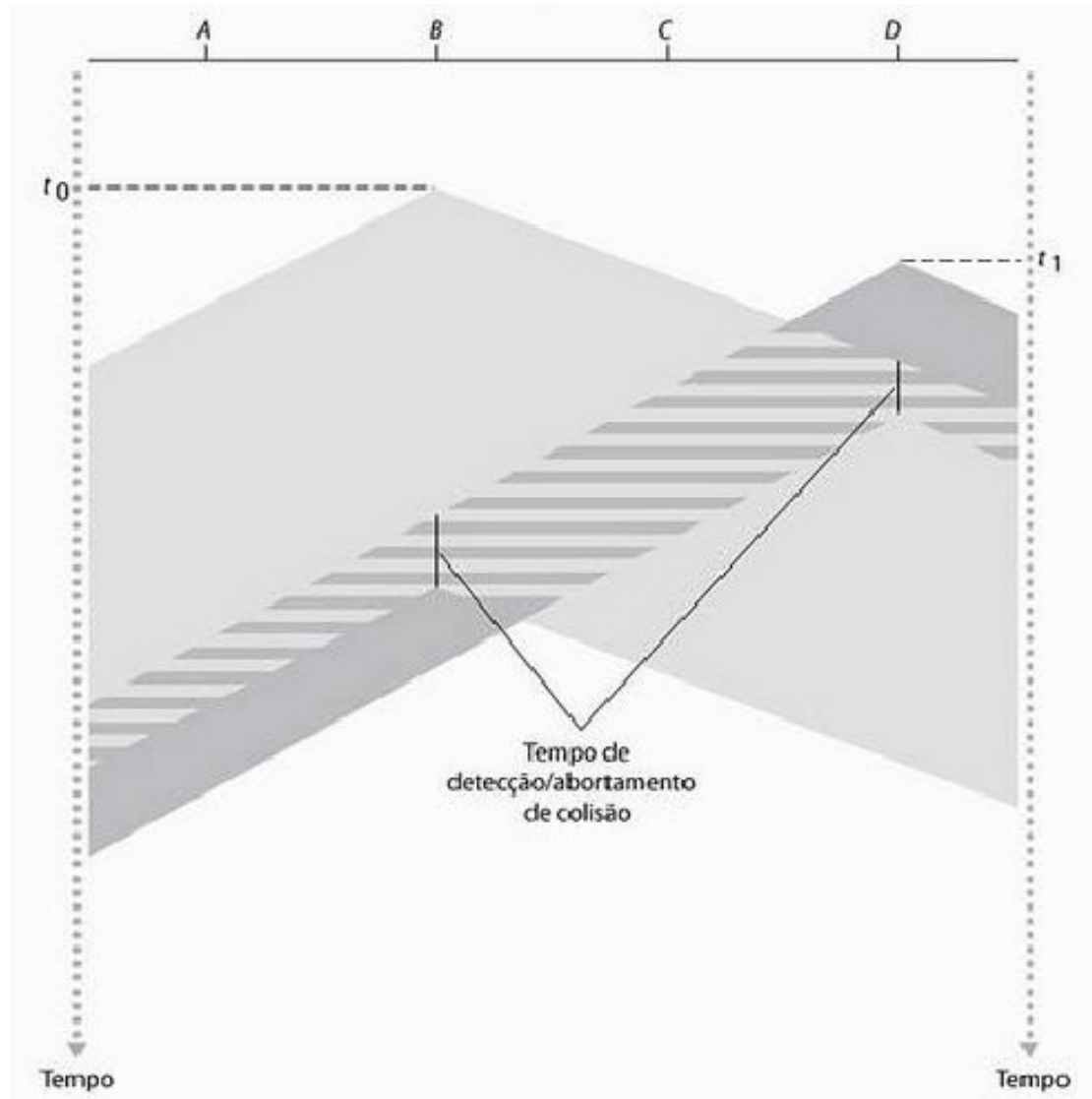
5 Camada de Enlace – 5.3 Protocolo de Acesso Múltiplo ... 5.3.2 – Protocolos de Acesso Aleatório

- “propagação fim a fim de canal” - tem que leva para que um sinal se propague de um dos extremos do canal para o outro.
- ... é evidente que o tempo de propagação fim a fim de canal para um canal “broadcast” desempenhará um papel crucial na determinação do seu desempenho;
- ... quanto mais longo for este atraso de propagação, maior será a chance de um nó que detecta portadora ainda não poder perceber uma transmissão que já começou em outro nó da rede.

5 Camada de Enlace – 5.3 Protocolo de Acesso Múltiplo ... 5.3.2 – Protocolos de Acesso Aleatório

- CSMA/CD – CSMA com “Collision Detection”
- colisões são detectadas dentro de pouco tempo, assim, transmissões colidindo são abortadas, reduzindo desperdício do canal;
- detecção de colisão em redes cabeadas - possível medindo-se a intensidade do sinal no meio compartilhado e comparando com o sinal que está sendo transmitido;
- detecção de colisão em redes sem fio – difícil de detectar, pois a intensidade do sinal recebido pode ser abafada pela intensidade do sinal que está sendo transmitido.

5 Camada de Enlace – 5.3 Protocolo de Acesso Múltiplo ... 5.3.2 – Protocolos de Acesso Aleatório



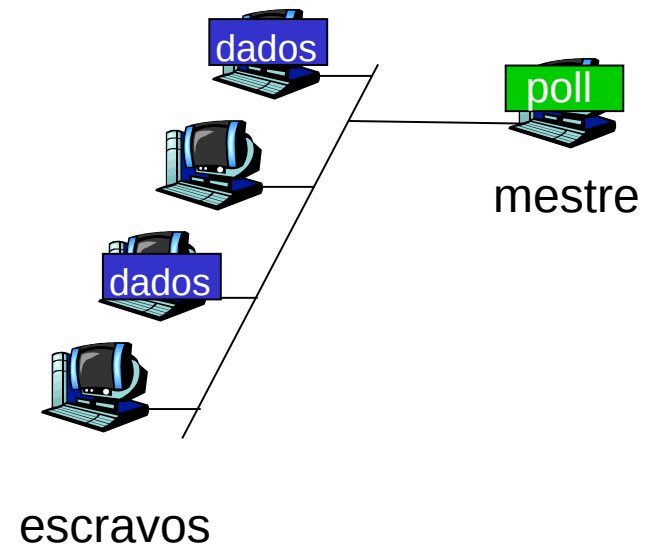
5 Camada de Enlace – 5.3 Protocolo de Acesso Múltiplo

5.3.3 – Protocolos de Revezamento

- Protocolos MAC de Particionamento de Canal:
 - compartilham canal de modo eficaz e justo com alta carga;
 - ineficaz com baixa carga: atraso no acesso ao canal, $1/N$ largura de banda alocada mesmo que apenas 1 nó ativo!
- Protocolos MAC de Acesso Aleatório:
 - eficaz com baixa carga: único nó pode utilizar o canal totalmente;
 - alta carga: sobrecarga de colisão.
- “Revezando” Protocolos MAC:
 - ... procure o melhor dos dois mundos, ou seja, vantagens de cada um e elimine ou atenuar as desvantagens ao combiná-los !

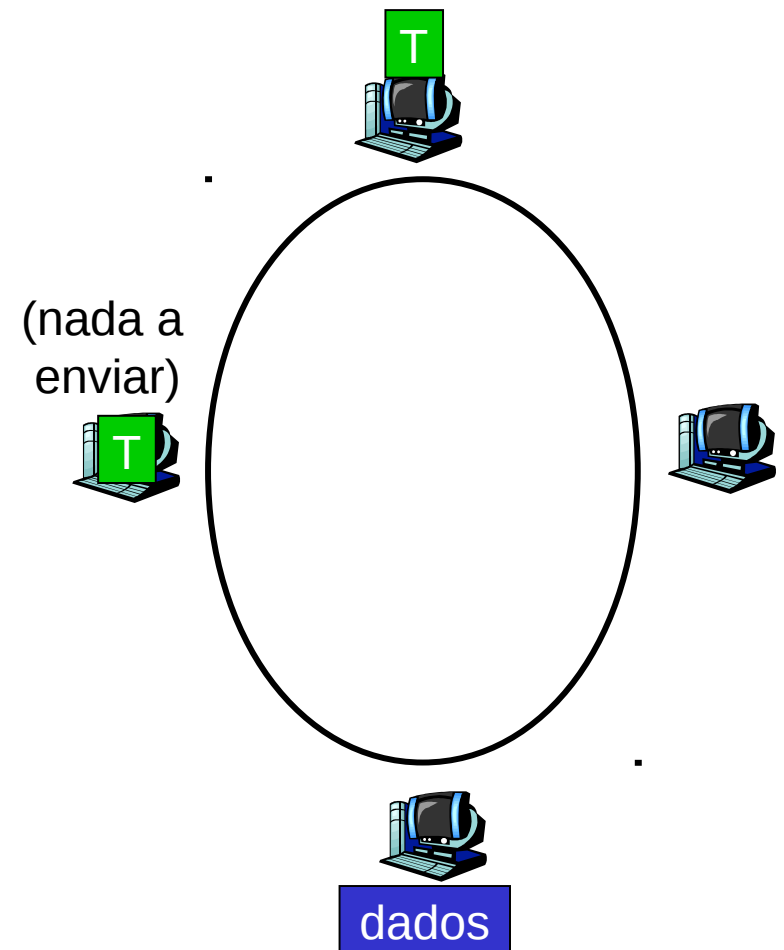
5 Camada de Enlace – 5.3 Protocolo de Acesso Múltiplo ... 5.3.3 – Protocolos de Revezamento

- “Polling” / Seleção - nó mestre “convida” nós escravos a alterarem a transmissão
 - normalmente usado com dispositivos escravos “burros”
- desvantagens / preocupações:
 - sobrecarga da seleção
 - latência
 - único ponto de falha (mestre)



5 Camada de Enlace – 5.3 Protocolo de Acesso Múltiplo ... 5.3.3 – Protocolos de Revezamento

- Passagem de Permissão - permissão de controle é passada de um nó para o próximo em ordem sequencial;
- Desvantagens / Preocupações:
 - sobrecarga da permissão
 - latência
 - único ponto de falha (permissão)



5 Camada de Enlace – 5.3 Protocolo de Acesso Múltiplo ... 5.3.3 – Protocolos de Revezamento

- Resumo do Protocolo MAC:
- ... particionamento do canal por tempo, por frequência ou por código (Time Division, Frequency Division);
- ... acesso ao meio é aleatório (dinâmico)
 - ALOHA, S-ALOHA, CSMA, CSMA/CD
 - percepção de colisão é fácil em redes cabeadas e difícil em “wireless”;
 - CSMA/CD usado na Ethernet; CSMA/CA usado na 802.11.
- ... revezamento
 - polling do site central, passagem de permissão;
 - Bluetooth, FDDI, IBM Token Ring

5.4 – Endereçamento na Camada de Enlace

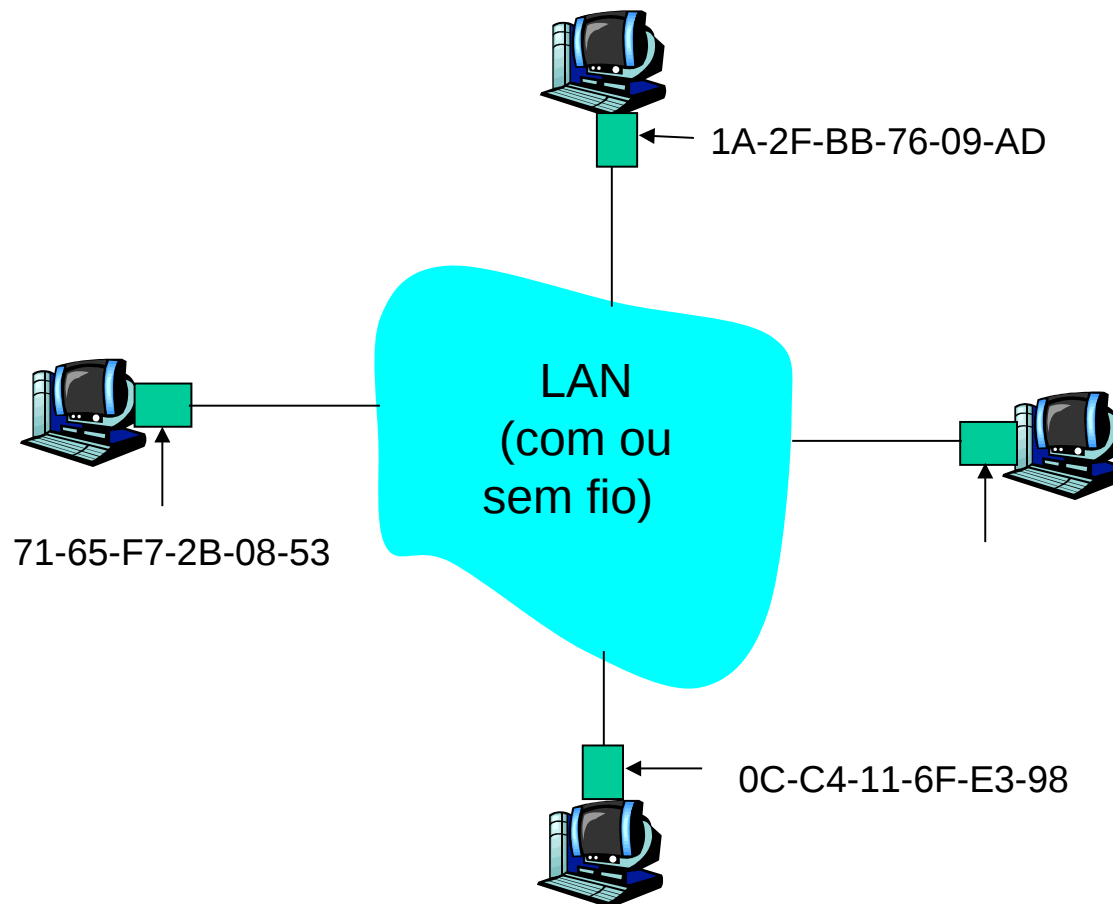
- “hosts” e comutadores de camada de enlace e de rede têm endereços de camada de enlace !? ... qual a necessidade ?!
- ... necessidade advém do fato de que é imprescindível localizar a entidade para que se possa encaminhar a informação;
- ... por outro lado, é melhor afirmar que os adaptadores ou as interfaces de rede é que possuem endereço de enlace e não os “hosts” ou comutadores de rede e de enlace;
- ... ou seja, um endereço de camada de enlace para cada NIC.

5.4.1 – Endereço MAC

- “endereço na camada de enlace” - também referenciado “endereço de rede local”; “endereço físico” ou “endereço MAC”;
- ... tem por função levar o quadro de uma NIC para outra NIC conectada fisicamente na mesma sub-rede;
- ... endereço MAC contém 48 bits para a maioria das redes locais, gravado na memória ROM da interface de rede, podendo às vezes ser configurado por software;
- ... já o endereço IP de 32 bits é o endereço da camada de rede usado para obter datagrama até sub-rede IP de destino.

5 Camada de Enlace – 5.4 Endereçamento na Camada de Enlace ... 5.4.1 – Endereço MAC

- cada adaptador de rede local tem um endereço exclusivo, ou seja, não se repete em nenhuma outra interface de rede.



5 Camada de Enlace – 5.4 Endereçamento na Camada de Enlace ... 5.4.1 – Endereço MAC

- IEEE administra a alocação de endereços MAC – fabricantes de NICs compram parcela do espaço de endereços MAC;
 - ... IEEE fixa os primeiros 24 bits de um endereço MAC e, assim, permite que a empresa crie combinações exclusivas com os últimos 24 bits.
- Endereço MAC tem estrutura linear (plano):
 - uma interface de rede pode ser retirada de um “host” e instalada em um outro “host” de uma outra sub-rede, já o endereço IP é hierárquico;
 - cada adaptador que recebe um quadro, verifica se o endereço MAC de destino combina com o seu endereço MAC;
 - se combinarem, o adaptador extrai o datagrama do quadro e o repassa para a camada de rede da pilha de protocolos.

5 Camada de Enlace – 5.4 Endereçamento na Camada de Enlace ... 5.4.1 – Endereço MAC

- “broadcast” - as vezes um adaptador remetente quer que todos os outros adaptadores na rede local recebam e processem o quadro que ele está prestes a enviar – endereço especial;
 - ... endereço de “broadcast” é um cadeia de 48 bits de “1” consecutivos, isto é, FF:FF:FF:FF:FF:FF₁₆
- “multicast address” - identificador lógico para um grupo de “hosts” em uma rede local, que estão disponíveis para processar pacotes ou quadros cujo destino é um serviço de rede designado;
- ... podem ser usados na camada de enlace, p.ex., Ethernet e na camada de rede, p.ex., IPv4 ou IPv6 multicast.

5 Camada de Enlace – 5.4 Endereçamento na Camada de Enlace ... 5.4.1 – Endereço MAC

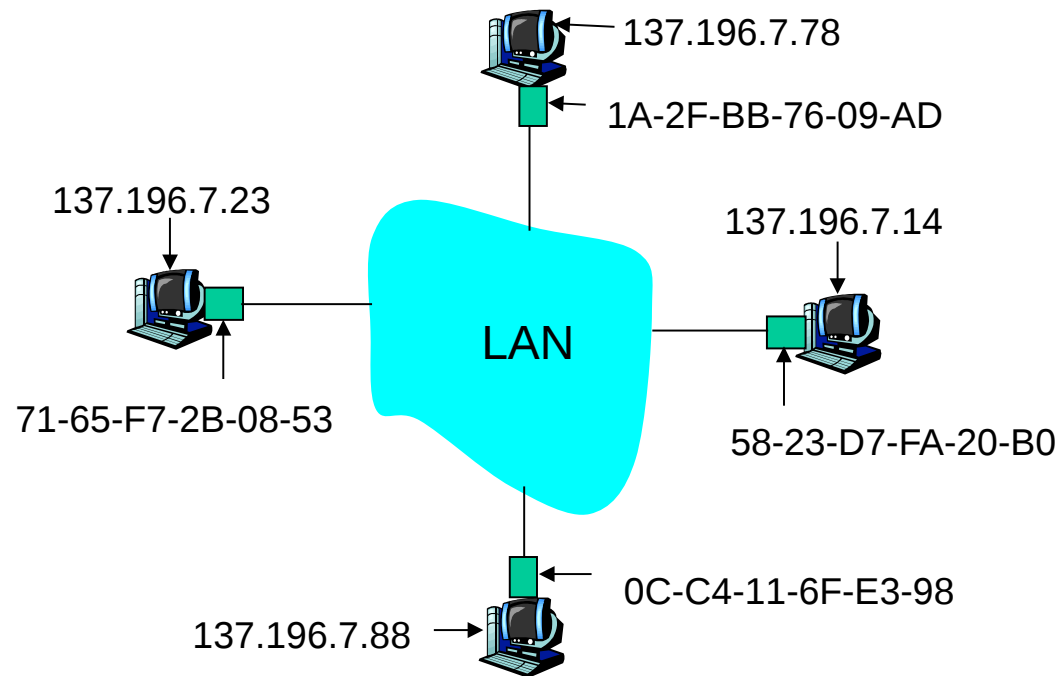
- e.g., quadros ethernet com o valor “1” no bit mais significativo do 1º octeto do endereço destino são tratados como quadros “multicast” e são encaminhados para todos os pontos da rede;
 - 01:00:0C:CC:CC:CC - CDP (Cisco Discovery Protocol);
 - 01:00:0C:CC:CC:CC - VTP (VLAN Trunking Protocol);
 - 01:00:0C:CC:CC:CD - Cisco Shared Spanning Tree Protocol Address;
 - 01:80:C2:00:00:00 - Spanning Tree Protocol (for bridges) IEEE 802.1D;
 - 01:80:C2:00:00:[00;03;0E] - Link Layer Discovery Protocol;
 - 01:80:C2:00:00:01 - Ethernet flow control (Pause frame) IEEE 802.3x;
 - 01:00:5E:xx:xx:xx - IPv4 Multicast (RFC 1112);
 - 33:33:xx:xx:xx:xx - IPv6 Multicast (RFC 2464).

5.4.2 – Address Resolution Protocol

- Como determinar o endereço MAC de “B” conhecendo-se o endereço IP (Camada de Rede) de “B” ??
- ... cada “host” ou roteador na rede local tem tabela ARP, ou seja, tabela na qual se mapeia o endereço IP; o correspondente MAC e o TTL para alguns nós da rede local:
 - ... 3-túplas < IP Address; MAC Address; TTL >;
 - ... onde TTL (Time To Live) é o tempo após o qual o mapeamento do respectivo endereço será esquecido, normalmente 20 minutos.

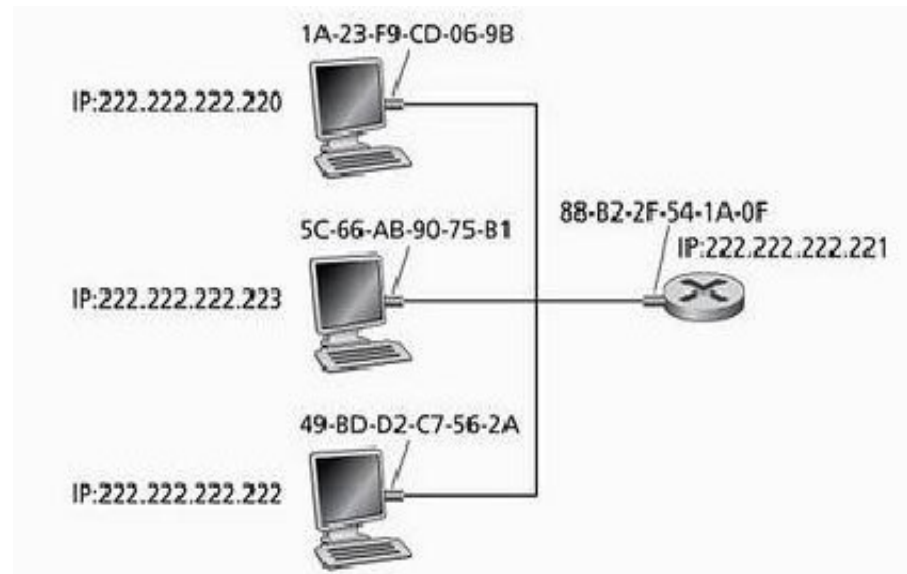
5 Camada de Enlace – 5.4 Endereçamento na Camada de Enlace ... 5.4.2 – Address Resolution Protocol

- ... cada “host” ou roteador na rede local tem tabela ARP, ou seja, tabela na qual se mapeia o < IP Address; MAC Address; TTL > para alguns nós da rede local.



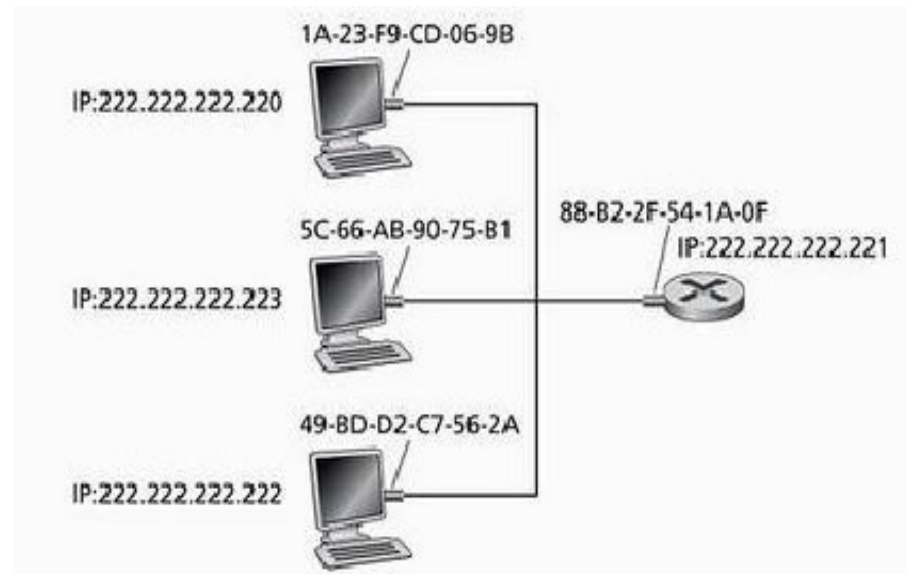
5 Camada de Enlace – 5.4 Endereçamento na Camada de Enlace ... 5.4.2 – Address Resolution Protocol

- **“problema”** - “A” quer enviar datagrama a “B”, mas endereço MAC de “B” não está na tabela ARP de “A”;
 - ... “A” envia por “broadcast” pacote de consulta ARP, contendo endereço IP de “B”, ou seja, endereço MAC de destino será: FF:FF:FF:FF:FF:FF (endereço de “broadcast” no enlace);
 - ... todas as máquinas na rede local recebem consulta ARP;



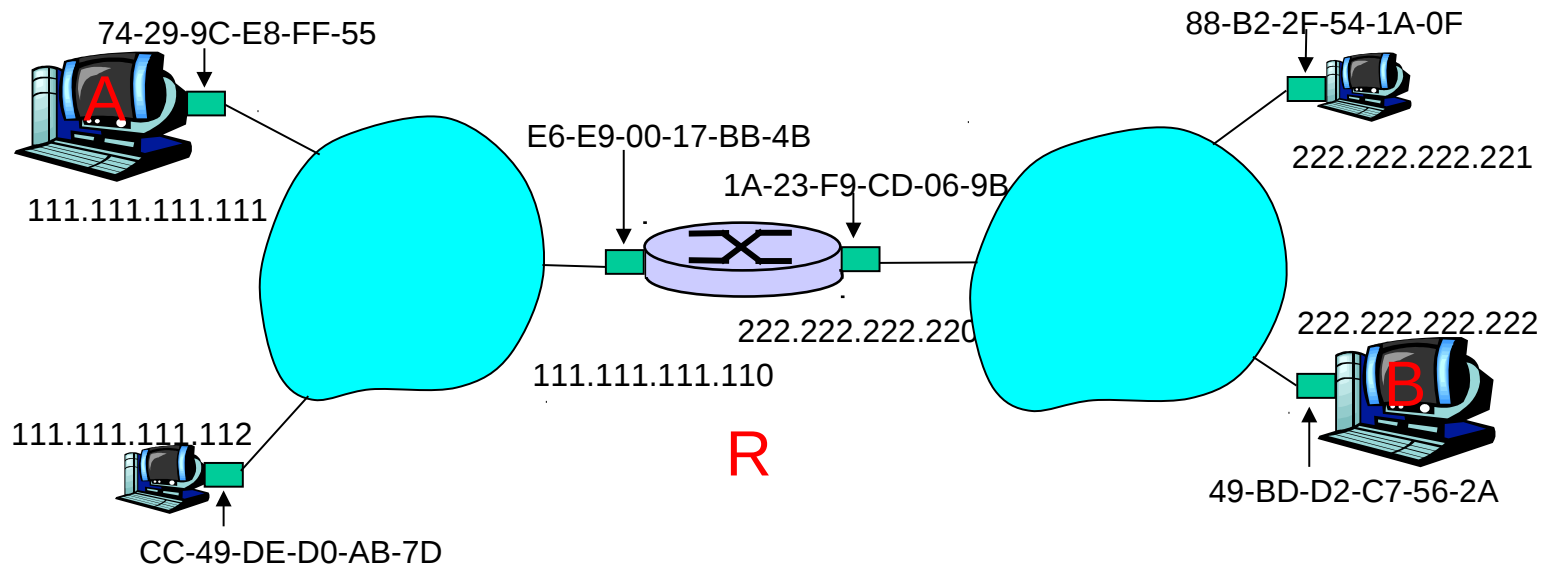
5 Camada de Enlace – 5.4 Endereçamento na Camada de Enlace ... 5.4.2 – Address Resolution Protocol

- ... “B” recebe pacote ARP, responde para “A” com seu endereço MAC (de “B”) - neste caso quadro enviado ao endereço MAC de “A” - comunicação “unicast”;
- ... “A” salva em cache par de endereços IP-para-MAC em sua tabela ARP até a informação expirar ou ser renovada.
- ARP – nós criamos suas tabelas sem intervenção do administrador de rede, por isso, é “Plug and Play”.



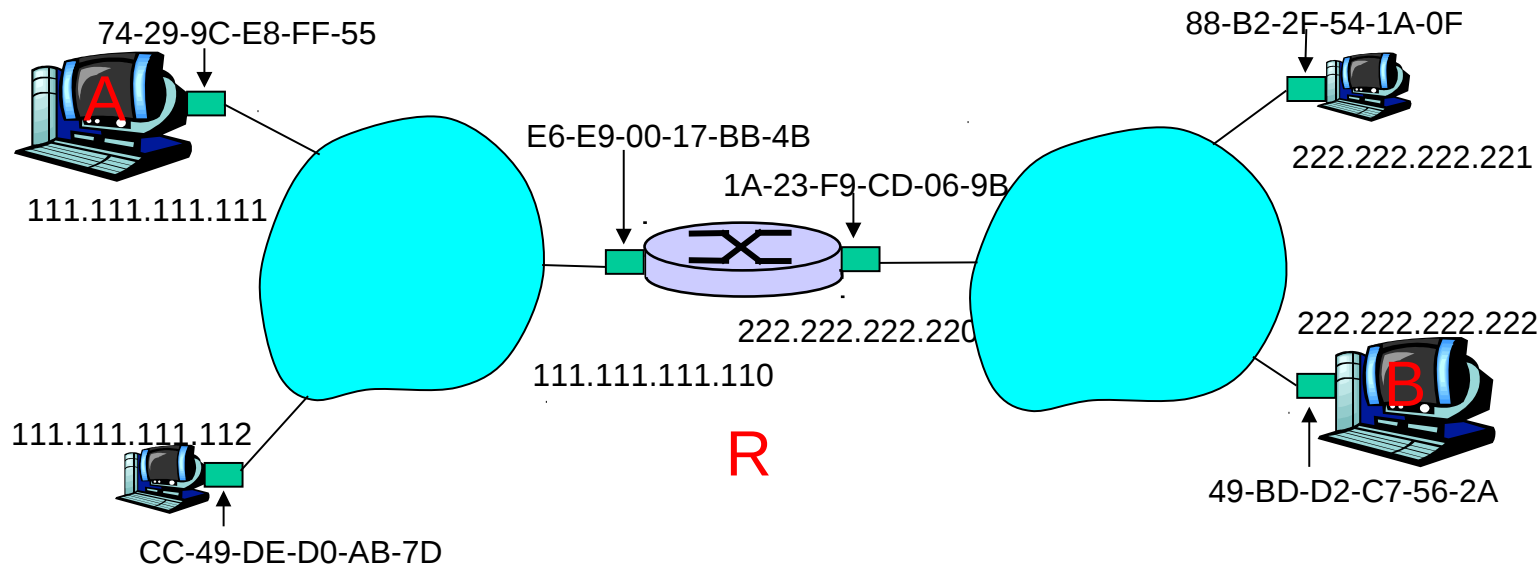
5 Camada de Enlace – 5.4 Endereçamento na Camada de Enlace ... 5.4.2 – Address Resolution Protocol

- Roteando Datagrama para uma outra Sub-Rede:
 - “premissa” - “A” conhece endereço IP de “B”.
 - 02 tabelas ARPs no Roteador “R”, uma para cada Sub-Rede IP.



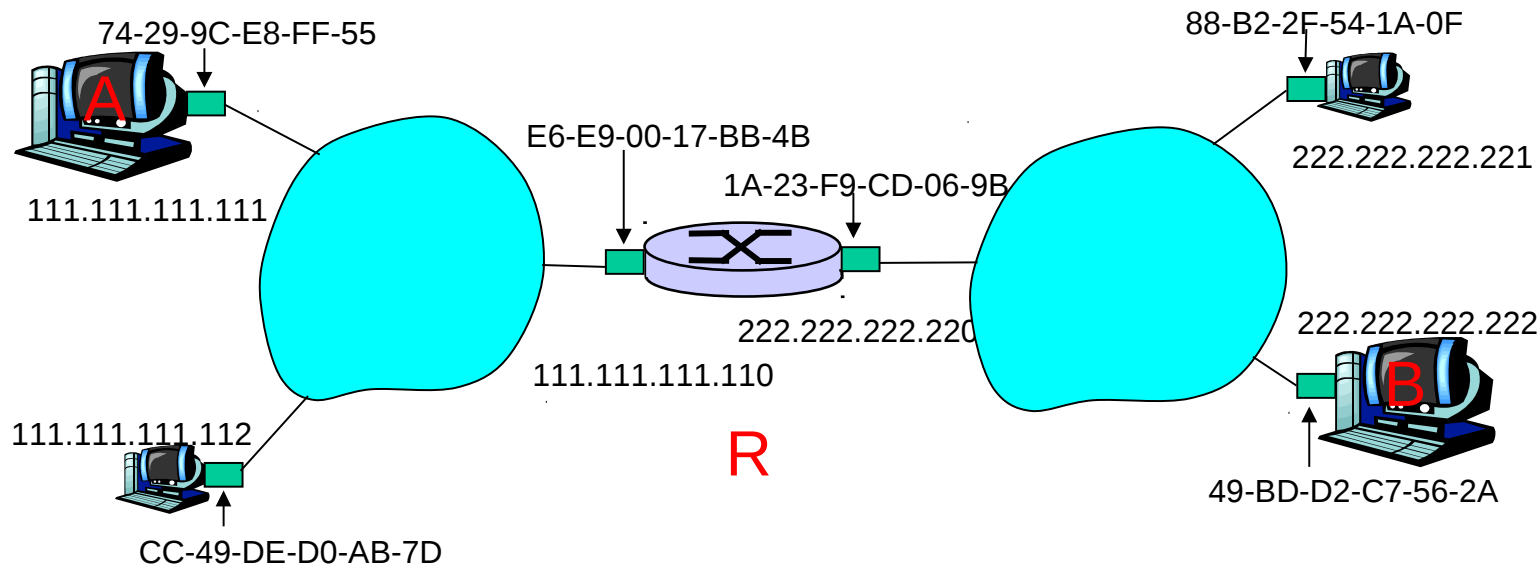
5 Camada de Enlace – 5.4 Endereçamento na Camada de Enlace ... 5.4.2 – Address Resolution Protocol

- “A” cria datagrama IP com origem “A” e destino “B”;
- “A” usa ARP para obter endereço MAC de “R” - 111.111.111.110;
- “A” monta quadro na camada de enlace com MAC de “R” como destino que por sua vez contém datagrama de “A” para “B”;
- Interface NIC de “A” envia quadro;



5 Camada de Enlace – 5.4 Endereçamento na Camada de Enlace ... 5.4.2 – Address Resolution Protocol

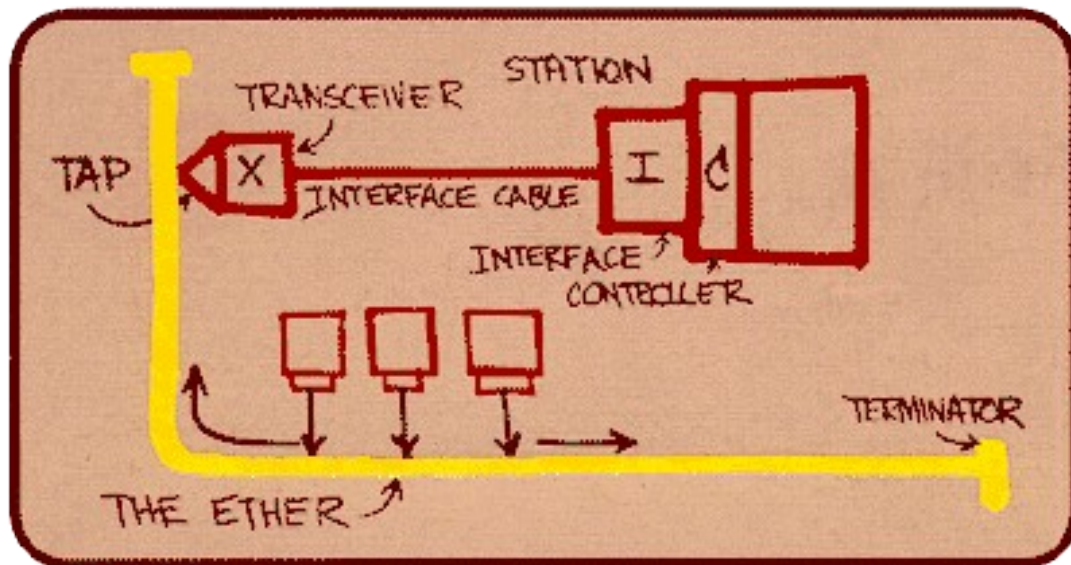
- Interface NIC de R” recebe quadro;
- “R” remove datagrama IP de quadro Ethernet cujo destino é “B”;
- “R” usa ARP para endereço MAC de “B” tendo por base IP “B”;
- “R” cria quadro contendo datagrama IP “A” para “B” e envia a “B”.



5 Camada de Enlace – 5.5 Protocolo 802.3 - Ethernet

5.5 – Protocolo 802.3 - Ethernet

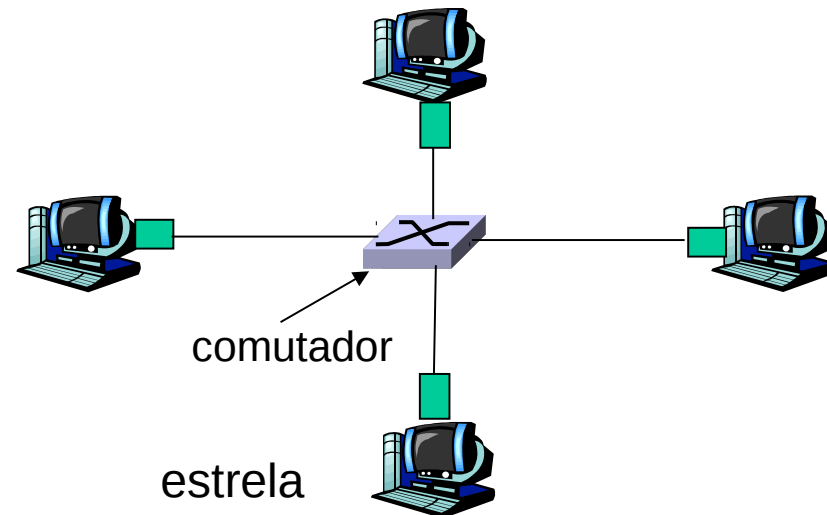
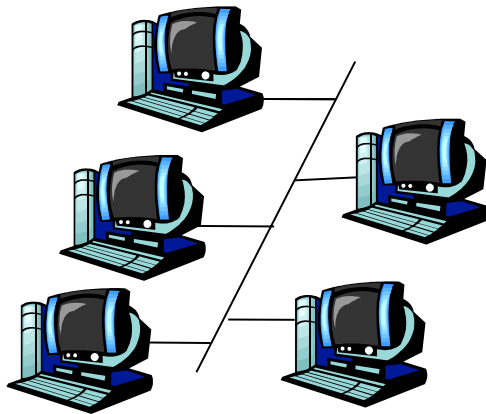
- Tecnologia de LAN com fio “dominante”:
 - barata: US\$ 20 para NIC;
 - primeira tecnologia de LAN utilizada em larga escala;
 - mais simples e mais barata que as LANs de permissão e ATM;
 - acompanhou corrida da velocidade: 10 Mbps – 10 Gbps.



Projeto original da
Ethernet de Metcalfe

5 Camada de Enlace – 5.5 Protocolo 802.3 - Ethernet ... 5.5 – Protocolo 802.3 - Ethernet

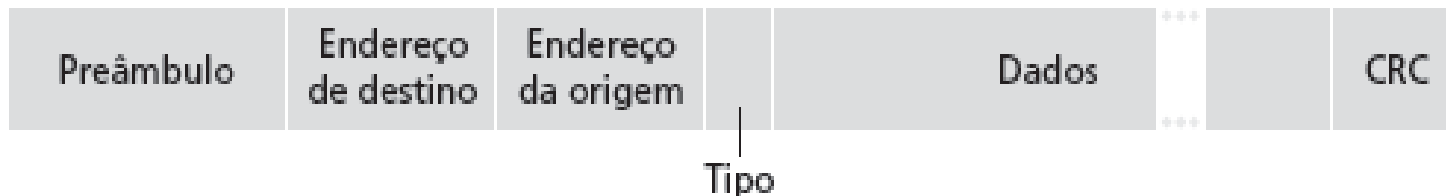
- topologia de barramento popular até meados dos anos 90:
 - todos os nós no mesmo domínio, ou seja, transmissões em curso podem colidir umas com as outras => mesmo domínio;
- topologia de estrela – topologia que prevalece nos dias atuais:
 - comutador de quadros ativo no centro da rede local;
 - cada “ponta” roda um protocolo Ethernet (separado) – nós não colidem uns com os outros em razão do comutador de camada de enlace.



5 Camada de Enlace – 5.5 Protocolo 802.3 - Ethernet

5.5.1 – Estrutura do Quadro Ethernet

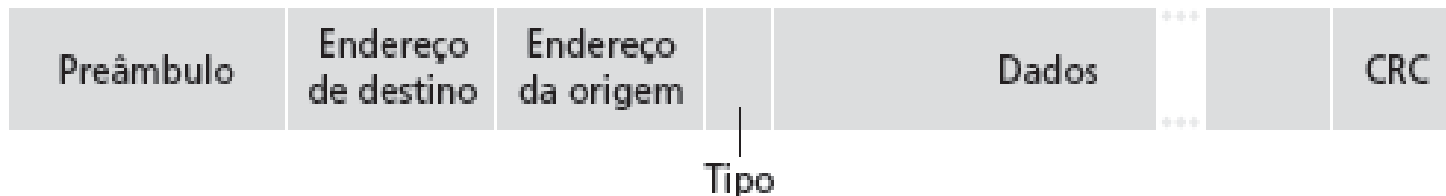
- NIC do remetente encapsula datagrama IP (ou outro pacote de protocolo da camada de rede) no quadro Ethernet;
- preâmbulo:
 - 7 bytes com padrão “10101010” seguido por um byte “10101011”;
 - usado para sincronizar taxas de clock do receptor e emissor.
- endereços de origem e de destino: 6 bytes que correspondem aos respectivos endereços MAC origem e destino.



5 Camada de Enlace – 5.5 Protocolo 802.3 - Ethernet

... 5.5.1 – Estrutura do Quadro Ethernet

- endereços origem e destino de 6 bytes:
 - se adaptador de rede recebe quadro com endereço de destino igual ao seu endereço MAC ou com endereço de broadcast (p.ex., pacote ARP), repassa dados do quadro ao protocolo da camada de rede;
 - caso contrário, adaptador de rede descarta quadro.
- tipo: indica protocolo da camada mais alta (principalmente IP, mas outros são possíveis, p.ex., Novell IPX, AppleTalk);
- CRC (Cyclic Redundant Code): verificado no receptor; se detectar erro, quadro é descartado.



5 Camada de Enlace – 5.5 Protocolo 802.3 - Ethernet
... 5.5.1 – Estrutura do Quadro Ethernet

- Protocolo 802.3 ou Protocolos Ethernet:
- não orientado a conexão – não há estabelecimento de conexão entre as interfaces NICs de origem e destino;
- não confiável - NIC de destino não envia quadros de ACK ou NotACK à interface NIC de origem;
 - fluxo de datagramas passados à camada de rede pode ter lacunas (datagramas faltando) em função de quadros não entregues;
 - lacunas serão preenchidas se aplicação utilizar protocolos confiáveis em camadas superiores, p.ex., TCP na Arq. TCP/IP.
- Protocolo MAC da Ethernet: CSMA/CD não “slotted”.

5.5.2 – Protocolo de Acesso Múltiplo CSMA/CD

- 1) NIC recebe datagrama da camada de rede e cria quadro;
- 2) Se NIC sentir canal ocioso, inicia transmissão do quadro; canal ocupado, espera até estar ocioso, depois transmite;
- 3) Se NIC transmitir quadro inteiro sem detectar outra transmissão, NIC finaliza a transmissão do quadro !
- 4) Se NIC detectar outra transmissão enquanto transmite, aborta e envia sinal de congestionamento;
- 5) Depois de abortar, NIC entra em “backoff” exponencial: após “m” colisões, NIC escolhe K aleatoriamente dentre $\{0,1,2,\dots,2^m-1\}$. NIC espera “K” · 512 tempos de bit e retorna à Etapa 2.

... 5.5.2 – Protocolo de Acesso Múltiplo CSMA/CD

- Sinal de congestionamento - cuide para que todos os outros transmissores saibam da colisão; 48 bits;
- Tempo de bit: 0,1 μ s para Ethernet de 10 Mbps; para $K = 1023$, tempo de espera é de cerca de 50 ms;
- Backoff Exponencial - adaptar tentativas de retransmissão à carga estimada, assim, se carga é pesada: espera aleatória será maior;
 - primeira colisão: escolha “K” a partir de {0,1}; atraso é $K \cdot 512$ tempos de transmissão de bit, ou “K” * 0,1 μ s
 - após segunda colisão: escolha K dentre {0,1,2,3}...
 - após dez colisões, escolha K dentre {0,1,2,3,4,...,1023}, ou seja, após “x” colisões escolha “K” dentre {0, 1, 2, 3, ..., $2^x - 1$ }

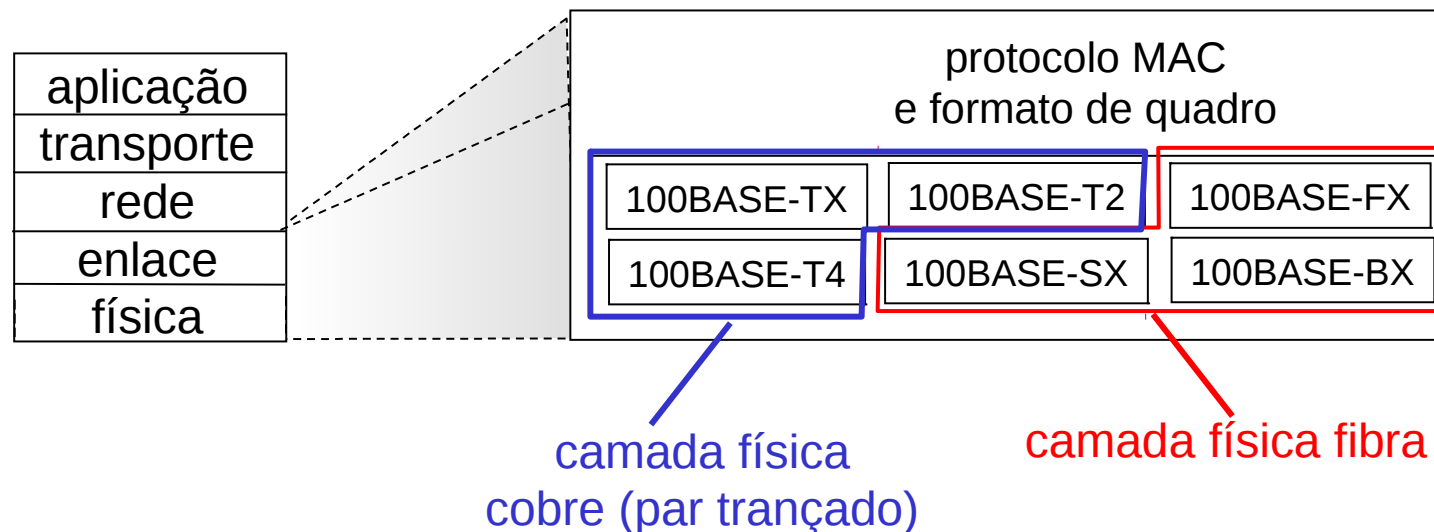
... 5.5.2 – Protocolo de Acesso Múltiplo CSMA/CD

- Eficiência do CSMA/CD -
 - t_{prop} = atraso máx. propagação entre 2 nós na rede local;
 - t_{trans} = tempo para transmitir quadro de tamanho máximo.
- Eficiência = $1 / (1 + 5 * T_{prop} / T_{trans})$
 - eficiência vai para 1 quando $t_{prop} \rightarrow 0$ ou $t_{trans} \rightarrow$ infinito.
- Melhor desempenho que ALOHA e “Slotted” ALOHA;
- ... protocolo simples, barato, descentralizado!

... 5.5.2 – Protocolo de Acesso Múltiplo CSMA/CD

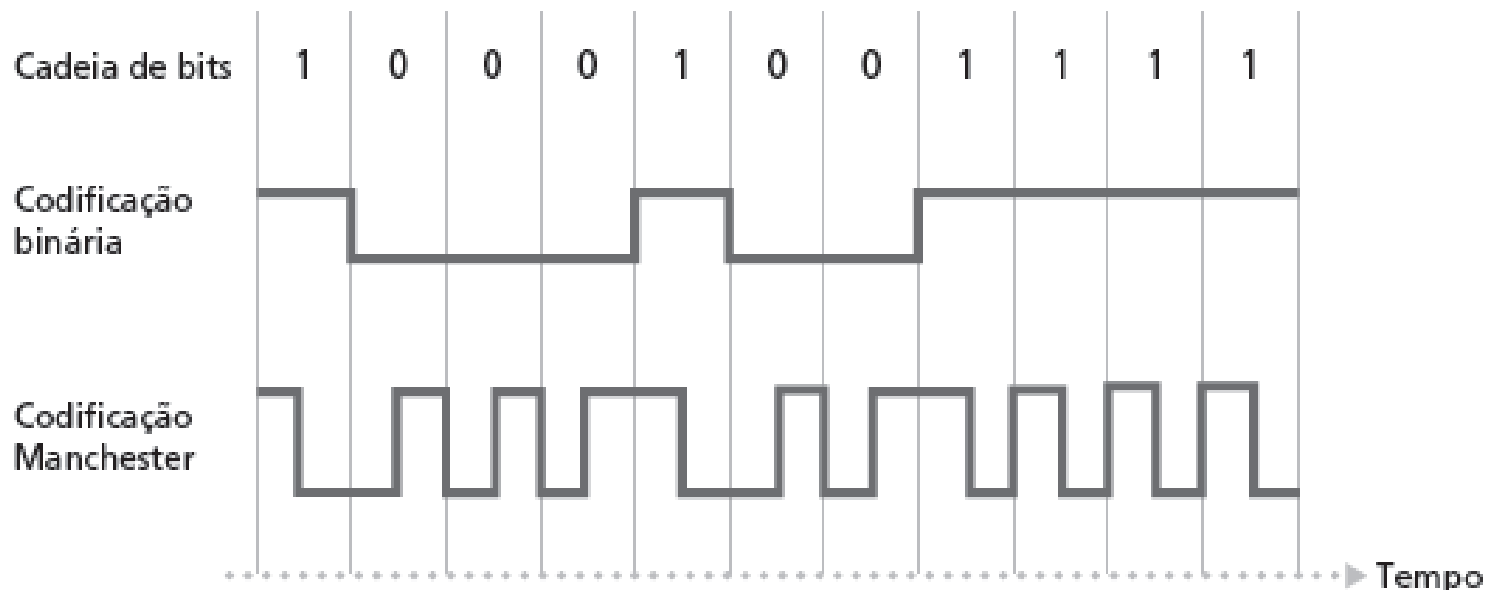
- Muitos Padrões Ethernet:

- ... Protocolo MAC e formato de quadros são comuns;
- ... diferentes velocidades: 2 Mbps, 10 Mbps, 100 Mbps, 1Gbps, 10G bps;
- ... diferentes meios da camada física: cabo coaxial; par trançado; fibra.



... 5.5.2 – Protocolo de Acesso Múltiplo CSMA/CD

- Codificação Manchester - usada no Padrão 10BaseT:
 - cada bit tem uma transição no meio do intervalo do bit;
 - permite que “clocks” no emissor e receptor estejam sincronizados;
 - desnecessário um “clock” centralizado ou global entre os nós !



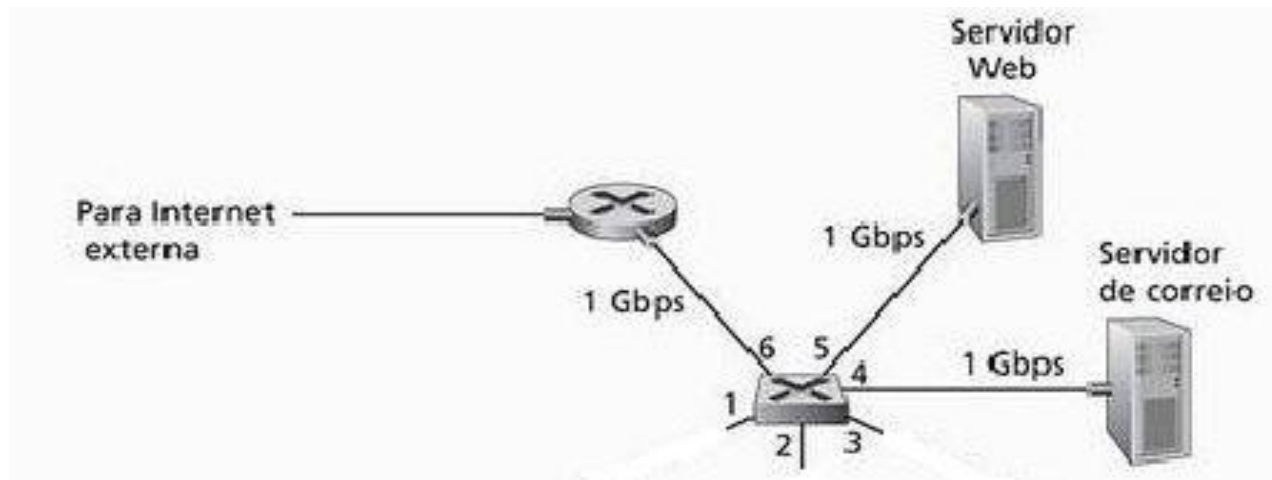
5.6 – Comutadores de Camada de Enlace

- Comutador de Camada de Enlace – utiliza topologia em estrela, ou seja, cada nó está conectado ao comutador (elemento central).
- “função” - recebe quadros da camada de enlace e encaminha-os para enlaces de saída de forma transparente ao nós;
- ... velocidade com que quadros chegam a qualquer interface de saída do comutador pode temporariamente exceder a capacidade do enlace daquela interface => necessidade de “buffers”.

5 Camada de Enlace – 5.6 Comutadores de Camada de Enlace

5.6.1 – Repasse e Filtragem

- “filtragem” - capacidade do comutador quanto ao repasse ou não (descarte) de um quadro para alguma outra interface;
- “repasse” - capacidade do comutador que determina as interfaces para as quais um quadro deve ser replicado;
- “tabela de comutação” - contém registros para alguns nós da rede local, mas não necessariamente para todos.



5 Camada de Enlace – 5.6 Comutadores de Camada de Enlace ... 5.6.1 – Repasse e Filtragem

- comutador – repasse/filtragem de dados:
 - // registra enlace associado ao host emissor
 - // index tabela de comutação usando endereço MAC de destino
 - if entrada encontrada para o destino
 - then {
 - if dest no segmento do qual o quadro chegou
 - then remove o quadro
 - else repassa o quadro na interface indicada
 - }
 - else inunda
- ← repassa para todas as interfaces, exceto a interface através da qual o quadro foi entregue ao switch.

5 Camada de Enlace – 5.6 Comutadores de Camada de Enlace ... 5.6.1 – Repasse e Filtragem

- “tabela de comutação” - contém registros para alguns nós da rede local, mas não necessariamente para todos;
 - endereço MAC do nós que estão conectados;
 - nro. das interfaces do comutador que leva ao nós;
 - horário em que o registro foi inserido na tabela de comutação.
- Obs.: tabela de comutação de camada de enlace encaminha quadros baseados em endereços MAC em vez de end. IPs.

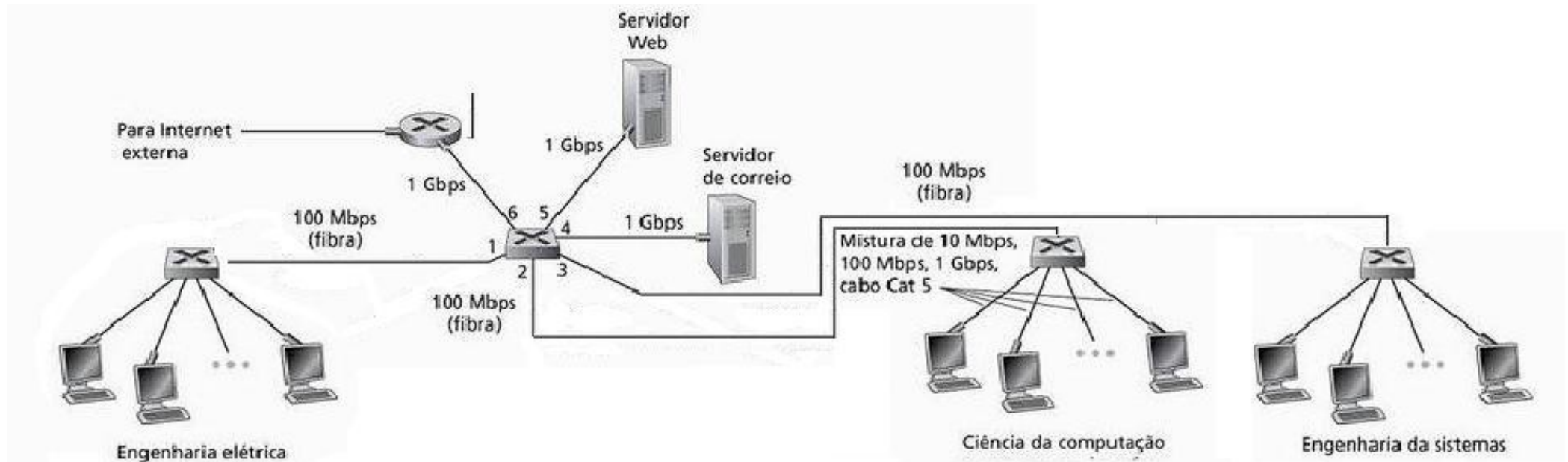
Endereço	Interface	Horário
62-FE-F7-11-89-A3	1	9h32
7C-BA-B2-B4-91-10	3	9h36
....

... 5.6.1 – Repasse e Filtragem

- e.g., considere um quadro com endereço de destino DD:DD:DD:DD:DD:DD:DD:DD chegue a um computador na interface “X”;
- ... como o comutador indexa este endereço na tabela !?
 - se não existir entrada na tabela de comutação, o comutador encaminha cópias do quadro para os “buffers” de saída de todas as interfaces, exceto a interface “X” => transmissão em “broadcast”;
 - se existir uma entrada associando o endereço DD:DD:DD:DD:DD:DD:DD:DD à interface “X”, o comutador irá realizar apenas a função de “filtragem”;
 - se existir uma entrada associando o endereço DD:DD:DD:DD:DD:DD:DD:DD a uma interface “Y” diferente de “X”, o quadro será encaminhado pelo enlace da rede local associado a interface “Y”.

5 Camada de Enlace – 5.6 Comutadores de Camada de Enlace ... 5.6.1 – Repasse e Filtragem

- e.g., considere um quadro com endereço de destino 62:FE:F7:11:89:A3 chegando ao comutador vindo da interface “1”;
- ... comutador ao buscar a informação na tabela identifica que o destino está no segmento da rede local conectado a interf. “1”;
- ... o que o comutador dever fazer ?!



5.6.2 – Aprendizagem Automática

- comutador – capaz de montar a tabela de comutação de forma automática e dinâmica, sem intervenção de um adm. de rede;
 - ... considere que a tabela de comutação está vazia;
 - ... para cada quadro recebido em uma interface, o comutador armazena em sua tabela: (1) endereço MAC do campo fonte do quadro; (2) interface da qual veio o quadro; e (3) horário corrente;
 - ... comutador apaga de tempo em tempo entradas na tabela das quais não recebeu quadros cujos endereços fontes contém os endereços MAC referentes aquelas entradas da tabela de comutação.
- “comutadores” são dispositivos do tipo “plug-and-play” - ao se instalar um comutador de camada de enlace será necessário apenas conectar os enlaces da rede local às suas interfaces.

5 Camada de Enlace – 5.6 Comutadores de Camada de Enlace

... 5.6.2 – Aprendizagem Automática

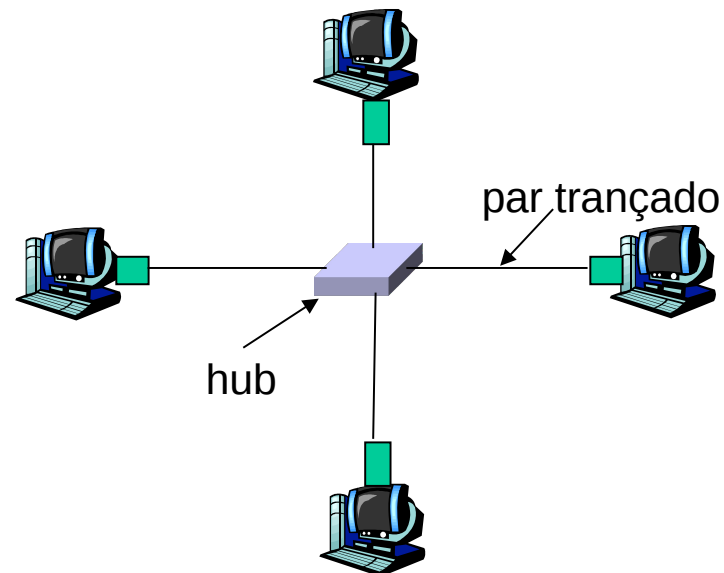
- e.g., considere um quadro com endereço fonte 01:12:23:34:45:56 que chega ao comutador pela interface “2” às 9h39;
- ... suponha que este endereço não está na tabela de comutação, então o comutador insere este registro na tabela.
- e.g., considere que nenhum quadro com endereço fonte 62:FE:F7:11:89:A3 chegue ao computador entre 9h32 e 10h32 e que o tempo de envelhecimento seja de 60 min.
- ... comutador remove este endereço da sua tabela de comutação.

Endereço	Interface	Horário
01-12-23-34-45-56	2	9h39
62-FE-F7-11-89-A3	1	9h32
7C-BA-B2-B4-91-10	3	9h36
....

5 Camada de Enlace – 5.6 Comutadores de Camada de Enlace

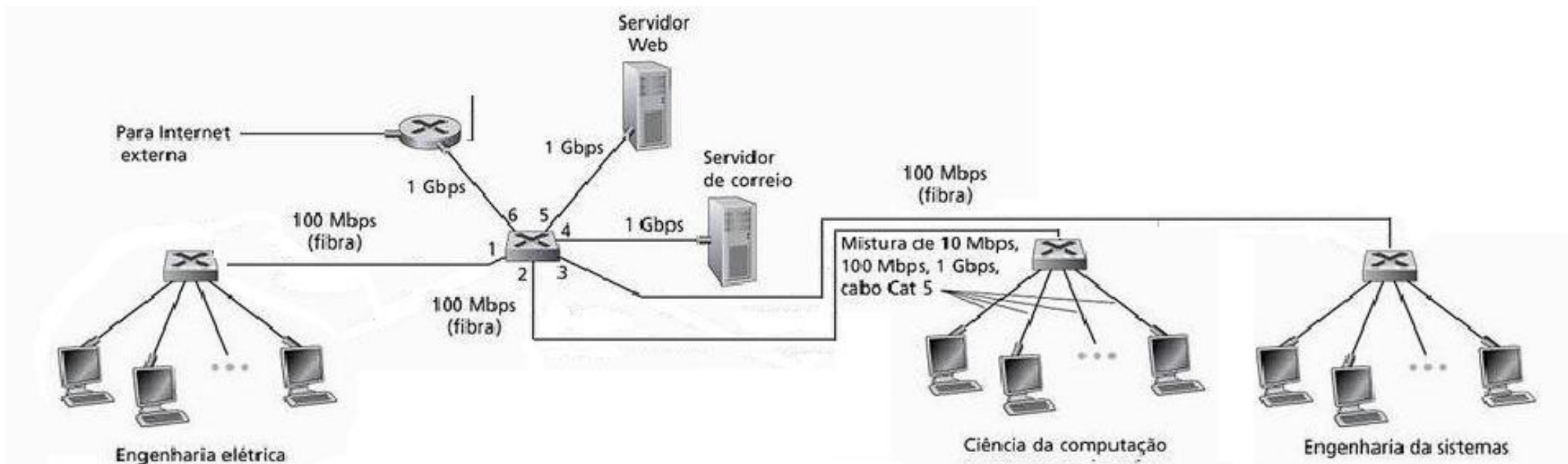
5.6.3 – Propriedades do Comutador de Enlace

- “comutador”/“switch” vs “hubs” - várias são as vantagens de se utilizar “switches” em vez de se usar enlaces “broadcast” ou “hubs” com topologia em estrela:
 - “eliminação de colisões” - comutadores armazenam quadros e não transmitem mais de um quadro em um enlace ao mesmo tempo, assim, não há desperdício devido as colisões.



5 Camada de Enlace – 5.6 Comutadores de Camada de Enlace ... 5.6.3 – Propriedades do Comutador de Enlace

- “comutador”/“switch” vs “hubs” - várias são as vantagens de se utilizar “switches” em vez de se usar enlaces “broadcast” ou “hubs” com topologia em estrela:
 - “enlaces heterogêneos” - ao isolar os enlaces uns dos outros, os diferentes enlaces da rede local podem operar em diferentes velocidades bem como operar sobre diferentes tipos de meio, p.ex., par trançado, fibra ótica, etc.



... 5.6.3 – Propriedades do Comutador de Enlace

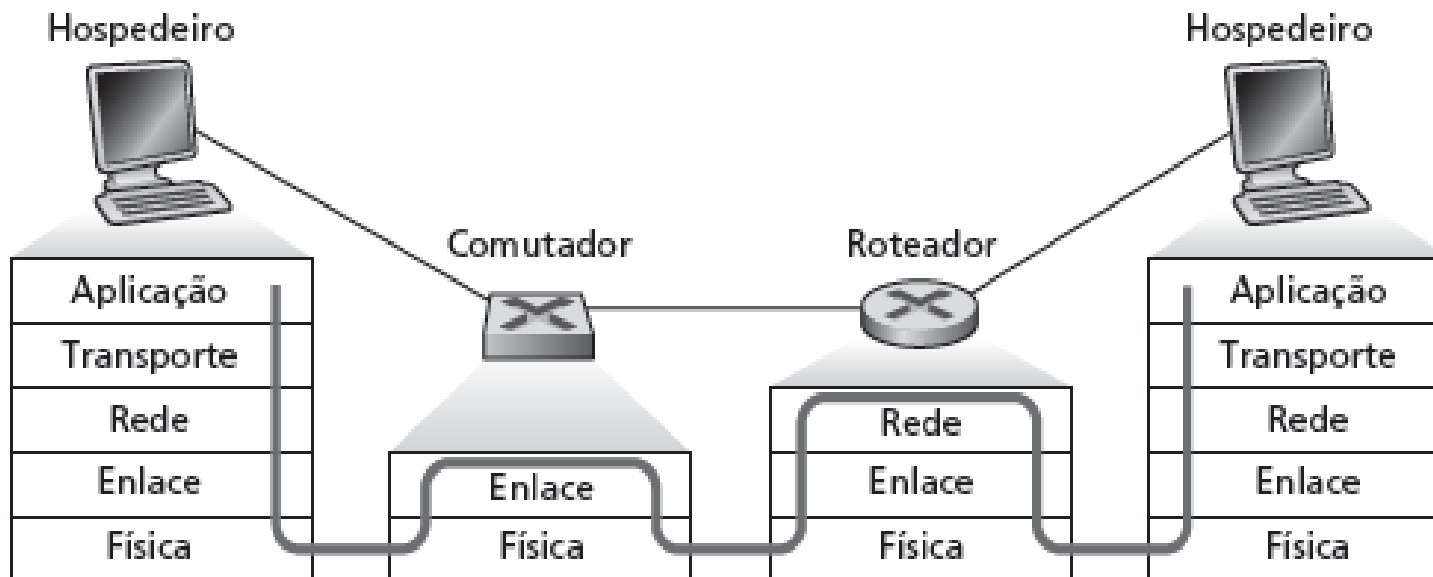
- “comutador”/“switch” vs “hubs” - várias são as vantagens de se utilizar “switches” em vez de se usar enlaces “broadcast” ou “hubs” com topologia em estrela:
 - “gerenciamento” - provê melhores características de segurança bem como simplifica a manutenção/gerenciamento da rede;
 - e.g., considere um adaptador com falha que continuamente envia quadros “ethernet” (situação conhecida como “jabbering”);
 - ... comutador pode detectar o problema e internamente desconectar o adaptador com defeito isolando a interface correspondente.

5.6.4 – Comutadores vs Roteadores

- “switches” - comutador da camada de enlace do tipo “store and forward” que transmite quadros usando endereços MAC;
- “roteador” - comutador da camada de rede do tipo “store and forward” que transmite pacotes usando end. camada de rede.
- Obs.: ... mesmo sendo fundamentalmente diferentes, é comum administradores de rede terem que optar entre “switches” e “roteadores” como elementos de interconexão de redes.
- ... daí a importância de se conhecer os “prós” e “contras” de ambas abordagens / opções para interconexão de redes !!

5 Camada de Enlace – 5.6 Comutadores de Camada de Enlace ... 5.6.4 – Comutadores vs Roteadores

- “roteadores” - mantêm tabelas de roteamento e implementam algoritmos de roteamento de datagramas;
- “switches” - mantêm tabelas de comutação; implementam filtragem e repasse bem como algoritmos de aprendizagem.



... 5.6.4 – Comutadores vs Roteadores

- “análise” - endereçamento na camada de rede é hierárquico e não linear como o endereçamento na camada de enlace, por isso, os pacotes normalmente não ficam circulando nos roteadores;
 - ... circulam se as tabelas estiverem mal configuradas, ainda assim, um campo no cabeçalho limita o tempo de circulação do pacote.
- ... na camada de rede, pacotes não ficam restritos a topologia de “spanning tree” e podem usar o melhor trajeto entre fonte e dest.;
- ... na camada de enlace, quadros estão restritos a topologia de “spanning tree”, logo, podem sofrer contenção nos enlaces.

... 5.6.4 – Comutadores vs Roteadores

- “roteadores” - fornecem proteção de “firewall” contra as tempestades de “broadcast” de camada de enlace;
- ... no entanto, roteadores não são “plug and play” e, assim, necessitam da intervenção de um administrador de rede;
- ... roteadores apresentam tempo de processamento por pacote maior do que nos comutadores de camada de enlace uma vez que é implementada inteiramente em “software”;
- ... como já mencionado anteriormente, a camada de enlace é implementada na interface de rede, ou seja, é uma combinação de “hardware”, “software” e “firmware”.

... 5.6.4 – Comutadores vs Roteadores

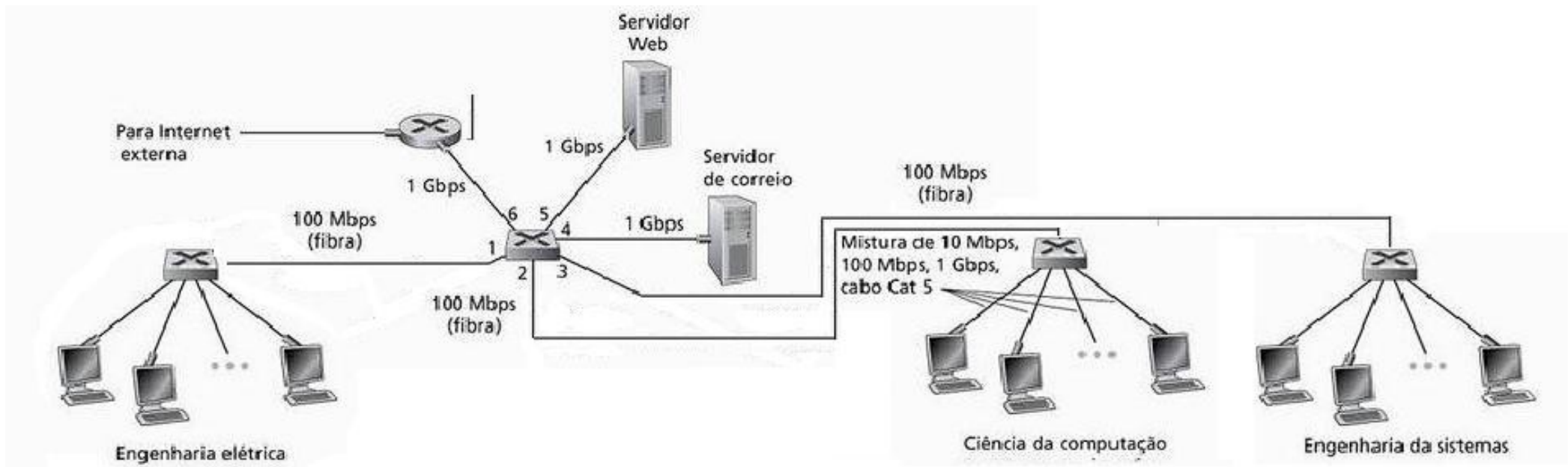
- Quando em um rede institucional deve-se usar roteadores e quando deve-se usar comutadores ?!
- ... em redes institucionais pequenas o uso de comutadores é satisfatório pois localizam o tráfego e aumentam a vazão agregada sem exigir configuração de endereço de rede;
- ... em redes institucionais com 1000s de “hosts” o uso do roteador é típico por fornecerem isolamento robusto do tráfego, controlam rajadas de “broadcast” e usam rotas mais inteligentes.

	Hubs	Roteadores	Comutadores
Isolamento de tráfego	não	sim	sim
Plug-and-play	sim	não	sim
Roteamento ótimo	não	sim	não

5 Camada de Enlace – 5.6 Comutadores de Camada de Enlace

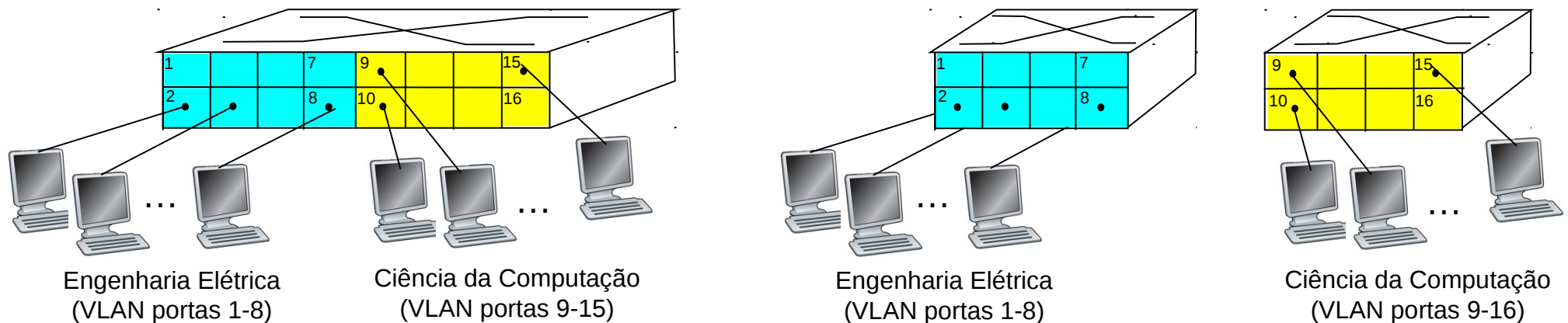
5.6.5 – VLANs: Rede Local Virtual

- O que acontece se:
 - usuário da CC muda para EE, mas quer se conectar ao computador CC?
 - único domínio de “broadcast”, assim, todo tráfego de “broadcast” da camada 2 (ARP, DHCP) cruza a LAN inteira (questões de eficiência, segurança e de privacidade);
 - cada comutador de nível mais baixo tem apenas algumas portas em uso.



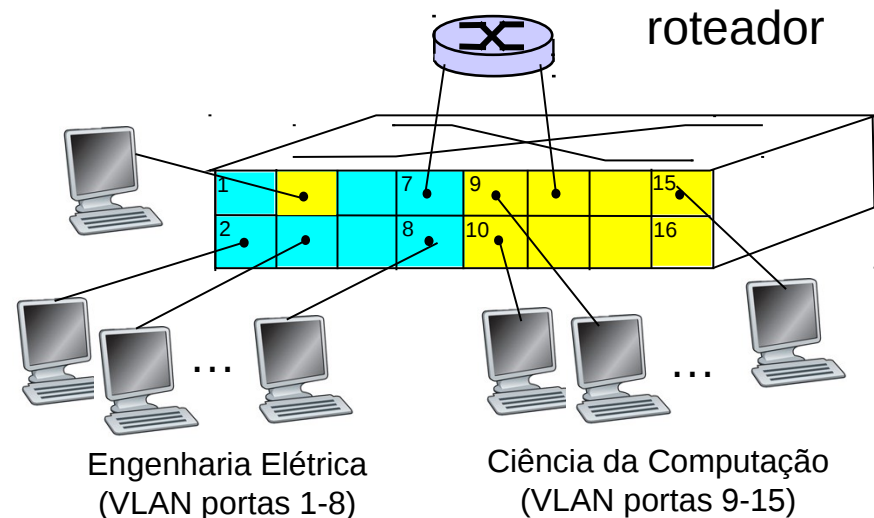
5 Camada de Enlace – 5.6 Comutadores de Camada de Enlace ... 5.6.5 – VLANs: Rede Local Virtual

- VLAN – comutador que oferece suporte as VLAN pode ser configurado para definir múltiplas redes locais virtuais sobre uma única infraestrutura física de rede local.
- VLAN baseada em porta: portas do comutador são agrupadas (por software de gerenciamento de comutador) para que único comutador físico opera como múltiplos comutadores virtuais.



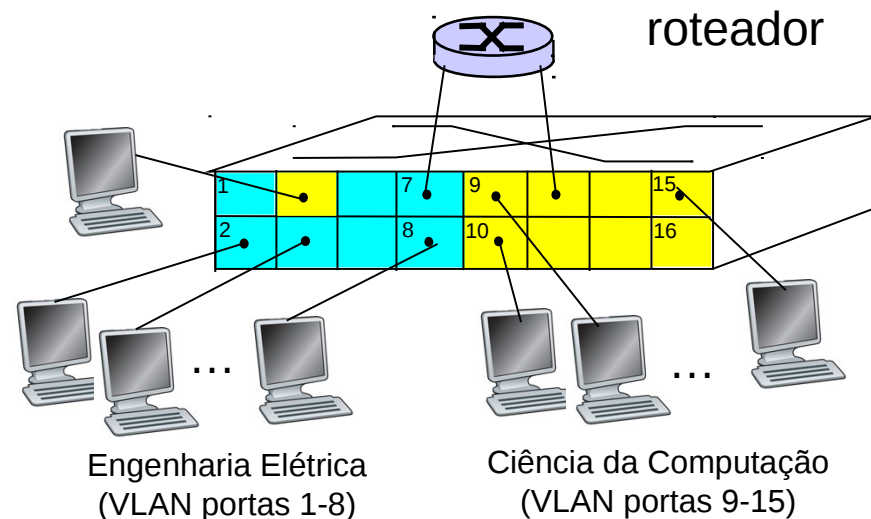
5 Camada de Enlace – 5.6 Comutadores de Camada de Enlace ... 5.6.5 – VLANs: Rede Local Virtual

- VLAN baseada em Porta:
- “isolamento de tráfego” - quadros de/para portas 1-8 só podem alcançar portas 1-8
 - também é possível definir VLAN com base nos endereços MAC das extremidades, em vez de porta do computador;
- “inclusão dinâmica” - portas podem ser atribuídas dinamicamente entre redes locais (VLANs).



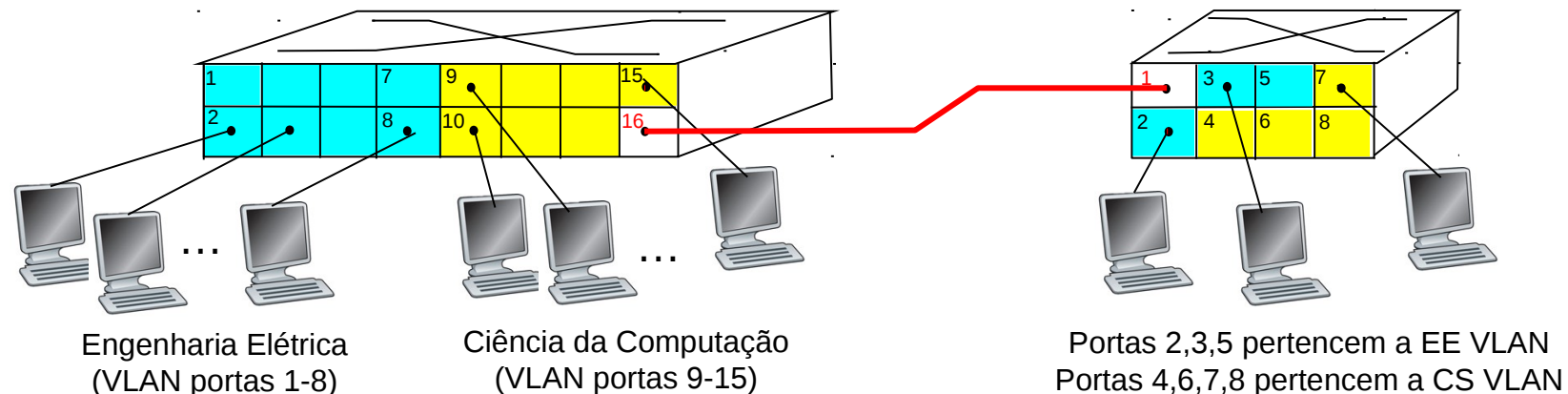
5 Camada de Enlace – 5.6 Comutadores de Camada de Enlace ... 5.6.5 – VLANs: Rede Local Virtual

- VLAN baseada em Porta:
- “repasse entre VLANs” - feito por roteamento (assim como em comutadores separados), ou seja, camada de rede;
 - na prática, vende-se uma combinação de comutador e roteador.



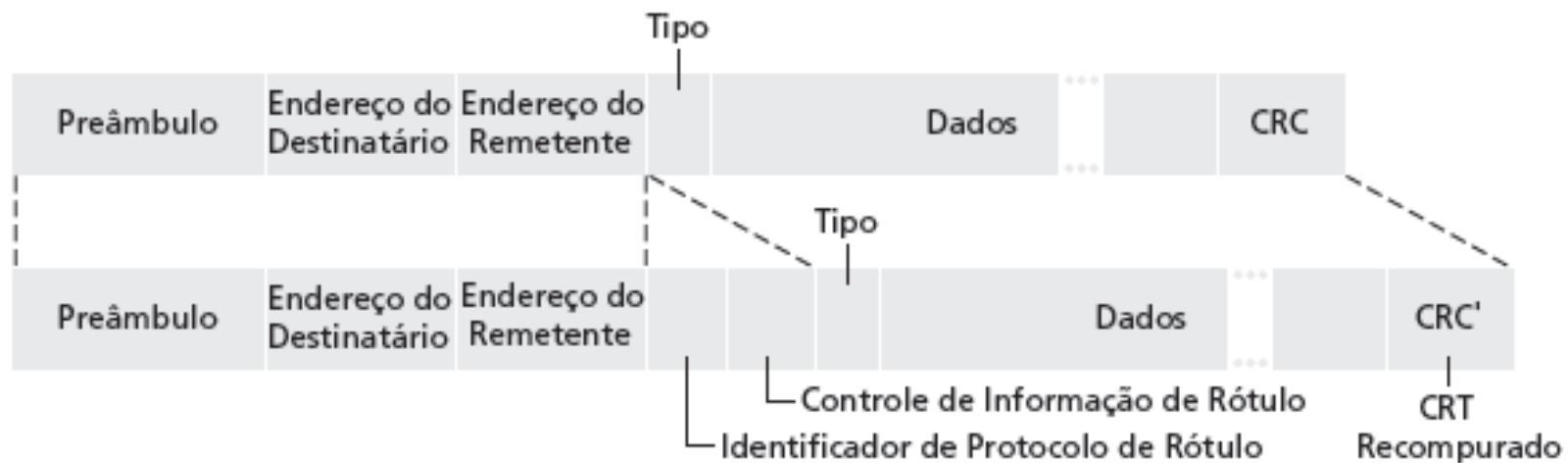
5 Camada de Enlace – 5.6 Comutadores de Camada de Enlace ... 5.6.5 – VLANs: Rede Local Virtual

- VLANs spanning multiple Switches:
- porta de tronco: carrega quadros entre VLANs definidas sobre vários comutadores físicos;
 - quadros repassados dentro da VLAN entre comutadores não podem ser quadros 802.1 comuns (devem ter informação de VLAN ID);
 - protocolo 802.1q inclui campos de cabeçalho adicionais para quadros repassados entre portas de tronco.



5 Camada de Enlace – 5.6 Comutadores de Camada de Enlace ... 5.6.5 – VLANs: Rede Local Virtual

- Quadros 802.1 e 802.1Q VLAN:
 - Destination/Source MAC – 6 bytes; 802.1Q Header – 4 bytes;
 - Ether Type – 2 bytes; Payload – 42 a 1500 bytes;
 - CRC/"Frame Check Sequence" – 4 bytes



5.7 – Protocolo Point-to-Point

- enlace “point-to-point” - conecta diretamente 02 nós, um em cada extremidade do enlace e sobre o qual opera o protocolo PPP.
 - não é necessário controle de acesso ao meio no enlace “point-to-point”, nem mesmo o endereçamento MAC como no Padrão Ethernet;
 - ... p.ex., enlace discado, enlace SONET/SDH; conexão X.25 ou um Circuito ISDN (Integrated Service Digital Network).
- PPP – tornou-se o protocolo preferido para conectar usuários residenciais a seus ISPs por meio de uma conexão discada.
- Protocolos DLC (Data Link Control) populares:
 - PPP (Point-to-Point Protocol)
 - HDLC (High level Data Link Control) – protocolo de comunicação utilizado na camada 2 – enlace de dados do Modelo OSI.

5 Camada de Enlace – 5.7 Protocolo Point-to-Point ... 5.7 – Protocolo Point-to-Point

- Exigências originais do IETF para o PPP:
- “enquadramento do pacote” - encapsulamento de datagrama da camada de rede no quadro da camada de enlace de dados;
 - transporta dados da camada de rede de qualquer protocolo da camada de rede (não só IP) ao mesmo tempo;
 - capacidade de demultiplexar para cima na pilha de comunicação, receptor identifica início e fim do quadro bem como pacote da camada de rede.
- “transparência” - não impor nenhuma restrição sobre os dados que aparecem no pacote da camada de rede;
- “múltiplos protocolos da camada de rede” - deve suportar múltiplos protocolos da camada de rede que executem sobre o mesmo enlace físico e ao mesmo tempo;

5 Camada de Enlace – 5.7 Protocolo Point-to-Point ... 5.7 – Protocolo Point-to-Point

- Exigências originais do IETF para o PPP:
- “múltiplos tipos de enlaces” - deve operar sobre uma grande variedade de tipos de enlaces incluindo enlaces seriais, paralelos, síncronos, assíncronos, de baixa ou alta velocidade.
- “erros de bits” - deve detectar erros de bits no quadro recebido;
- “vida de conexão” - deve ser hábil para detectar uma falha no nível de enlace (p.ex., incapacidade de transferir dados) e sinalizar essa condição de erro à camada de rede;
- “negociação de endereço” - extremidades podem descobrir/configurar endereço de rede umas da outras;
- “simplicidade” - ... mais de 100 RFCs definem atualmente os vários aspectos desse protocolo “simples”. ?!?!

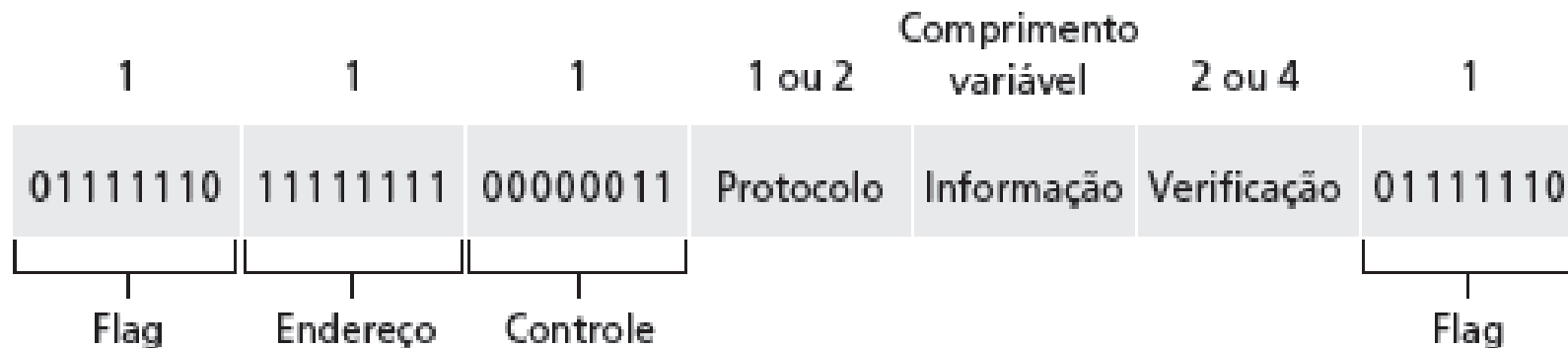
5 Camada de Enlace – 5.7 Protocolo Point-to-Point ... 5.7 – Protocolo Point-to-Point

- NÃO Exigências originais do IETF para o PPP:
- “correção de erros” - exige-se que o PPP detecte erros, mas não se exige que o PPP os corrija;
- “controle de fluxo” - é responsabilidade da camada superior regular a velocidade na qual os pacotes são entregues;
- “sequenciamento” - não exige que o PPP entregue quadros ao enlace receptor na mesma ordem em que foram enviados pelo enlace remetente – ausência de ordem;
- “enlaces multiponto” - precisa operar apenas sobre enlaces com um único remetente e um único receptor.

5 Camada de Enlace – 5.7 Protocolo Point-to-Point

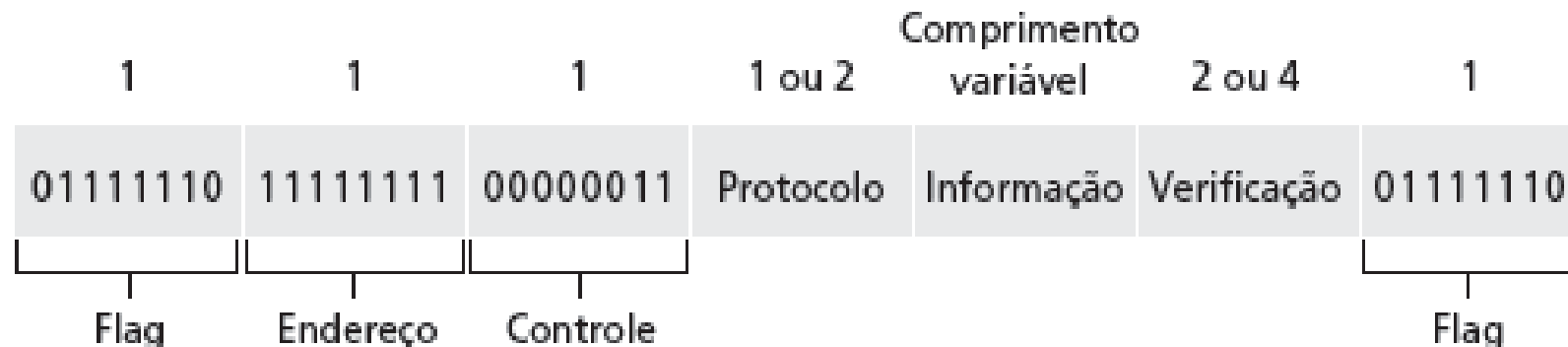
5.7.1 – PPP: Quadro de Dados

- Quadro de Dados PPP contém os seguintes campos:
- “flag” - indica o começo ou o fim do quadro e consiste na sequência binária “01111110”;
- “endereço” - endereço de “broadcast” padrão e consiste na sequência binária “11111111”, assim, PPP não atribui individualmente endereços às estações.



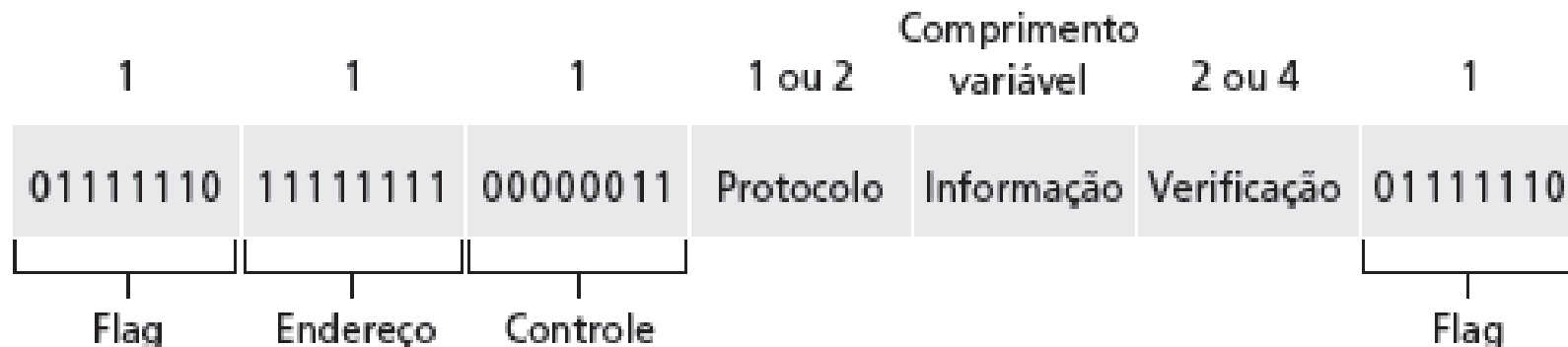
5 Camada de Enlace – 5.7 Protocolo Point-to-Point ... 5.7.1 – PPP: Quadro de Dados

- Quadro de Dados PPP contém os seguintes campos:
- “controle” - valor possível = 00000011 (outros valores poderão ser definidos mais tarde, embora nenhum tenha sido definido ainda);
- “protocolo” - informa ao receptor o protocolo da camada superior ao qual pertence os dados encapsulados no campo de dados;
 - suporta e encapsula vários protocolos da camada de rede, os quais incluem: BCP (Bridge Control Protocol); IPCP (Internet Protocol Control Protocol); IPXCP (Internetworking Packet Exchange Control Protocol).



5 Camada de Enlace – 5.7 Protocolo Point-to-Point ... 5.7.1 – PPP: Quadro de Dados

- “informação” - contém o pacote encapsulado que está sendo enviado por um protocolo da camada superior;
 - ... comprimento máximo padrão é de 1500 bytes, embora possa ser mudado quando o enlace é inicialmente configurado;
 - ... final do campo de dados é encontrado localizando-se a sequência de “flags” de fechamento cuja sequência binária é “01111110”.
- “Frame Check Sequence” - usado para detectar erros de bits em um pacote transmitido e utiliza um CRC padrão HDLC de 2 ou 4 bytes, mas normalmente 2 bytes.



5 Camada de Enlace – 5.7 Protocolo Point-to-Point ... 5.7.1 – PPP: Quadro de Dados

- PPP contempla 04 fases para estabelecer uma comunicação:
- “estabelecimento do enlace” - nó de origem envia quadros LCP (Link Control Protocol) para estabelecer o enlace de dados;
- “negociação de configuração” - nó de origem envia quadros LCP (Link Control Protocol) para configurar o enlace de dados;
- “negociação de configuração do protocolo da camada de rede” - nó de origem envia quadros NCP (Network Control Protocol) para escolher e configurar protocolos da camada de rede;
- “encerramento do enlace” - enlace permanece configurado para as comunicações até que os quadros LCP ou NCP (Network Control Protocol) fechem o enlace.

5 Camada de Enlace – 5.7 Protocolo Point-to-Point ... 5.7.1 – PPP: Quadro de Dados

- PPP contempla 01 fase opcional ao estabelecer comunicação:
- “qualidade do enlace” - enlace é testado para determinar se sua qualidade é suficiente para ativar os protocolos da camada rede.
- Tipos de Quadros LCP (Link Control Protocol):
 - estabelecimento de enlace - estabelecer e configurar um link;
 - encerramento de enlace - usados para encerrar um link;
 - manutenção de enlace - usados para gerenciar e depurar um link.

5.7.2 – PPP: Byte Stuffing

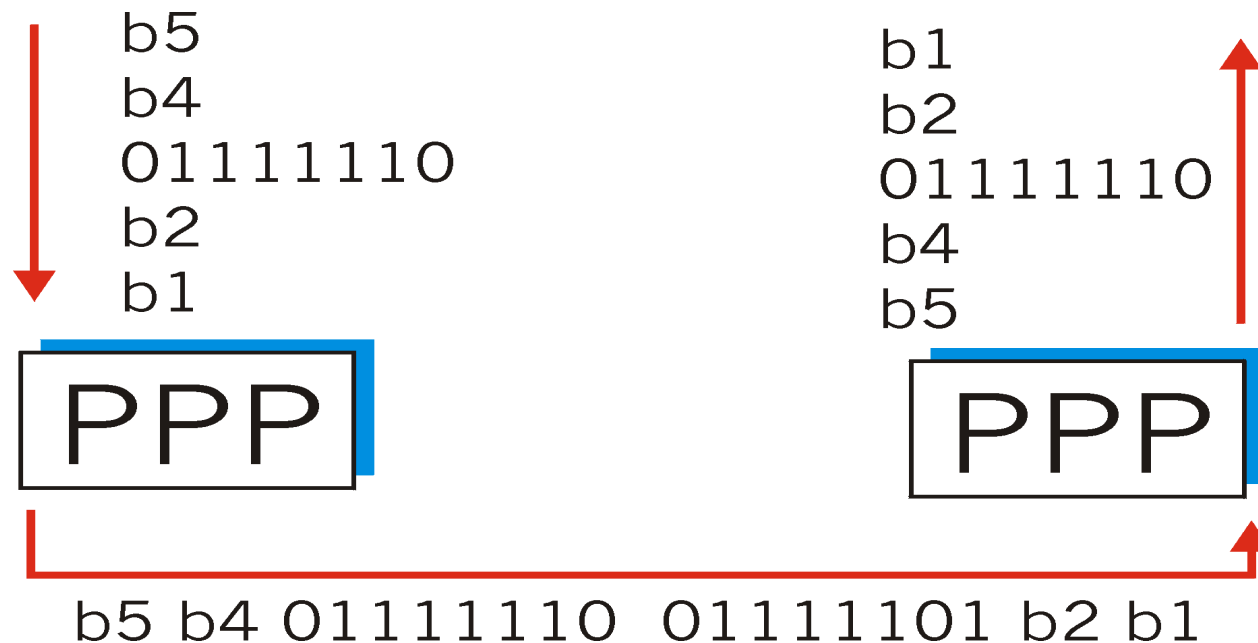
- “problema” - qualquer protocolo que utiliza um padrão específico de bits, p.ex. campo “flag”, terá problemas caso a sequência de bits faça parte dos demais campos do quadro;
- “solução” - garantir que o padrão não se repita em qualquer ponto do quadro exceto nos pontos de início e fim do mesmo.
- requisito de “transparência de dados” - campo de dados deve poder incluir padrão de flag “01111110”;
 - identificar a sequência “01111110” no receptor como dado ou flag ? ... para consistência é necessário identificar a seq. como “flag” !
 - ... assim uma solução é incluir no remetente a sequência “01111110” extra após cada byte de dados cuja sequência seja “01111110”;
 - ... isto irá permitir ao receptor identificar se a sequência deve ser tratada como “flag” ou como “dados” ao longo do quadro.

5 Camada de Enlace – 5.7 Protocolo Point-to-Point ... 5.7.2 – PPP: Byte Stuffing

- requisito de “transparência de dados” - campo de dados deve poder incluir padrão de flag “01111110”;
 - identificar a sequência “01111110” no receptor como dado ou flag ? ... para consistência é necessário identificar a seq. como “flag” !
 - ... assim uma solução é incluir no remetente a sequência “01111110” extra após cada byte de dados cuja sequência seja “01111110”;
 - ... isto irá permitir ao receptor identificar se a sequência deve ser tratada como “flag” ou como “dados” ao longo do quadro.
- destinatário:
 - se 02 bytes 01111110 em sequência forem encontrados, é necessário descartar o 1º byte e continuar a receber os dados;
 - ... assim teremos uma única sequência “01111110” - byte de flag.

5 Camada de Enlace – 5.7 Protocolo Point-to-Point ... 5.7.2 – PPP: Byte Stuffing

- padrão de byte de flag nos dados a enviar;
- padrão de byte de flag mais byte incluído nos dados transmitidos



5.8 – Virtualização de Enlace: MPLS

- PPP é frequentemente usado sobre uma conexão de modem discado, p.ex. rede de telefonia, entre 02 “hosts”;
 - ... rede de telefonia - rede global de telefonia logicamente separada, com seus próprios comutadores, enlaces e pilhas de protocolos para transferência e sinalização de dados.
 - ... da perspectiva da camada de rede, a Arq. TCP/IP virtualiza a rede de telefonia como uma tecnologia de camada de enlace que provê conectividade de camada de enlace entre 02 hosts.
- MPLS (MultiProtocol Layer Switch) – diferentemente da rede de telefonia de comutação de circuitos, as Redes MPLS são rede de comutação de pacotes por circuitos virtuais.

5 Camada de Enlace – 5.8 Virtualização de Enlace: MPLS

... 5.8 – Virtualização de Enlace: MPLS

- MPLS (MultiProtocol Layer Switch) – diferentemente da rede de telefonia de comutação de circuitos, as Redes MPLS são rede de comutação de pacotes por circuitos virtuais;
 - ... da perspectiva da Rede Internet, podemos considerar a Rede MPLS, assim como a Rede de Telefonia e a Ethernet, como tecnologias da camada de enlace que servem para interconectar dispositivos IP;
 - ... assim como MPLS, Frame Relay e ATM também podem ser usadas para interconectar dispositivos IP, embora representem uma tecnologia ligeiramente mais antiga, mas ainda disponibilizada.
- “camadas de abstrações” - não se preocupe com os detalhes da camada inferior, apenas as trate de forma abstrata.

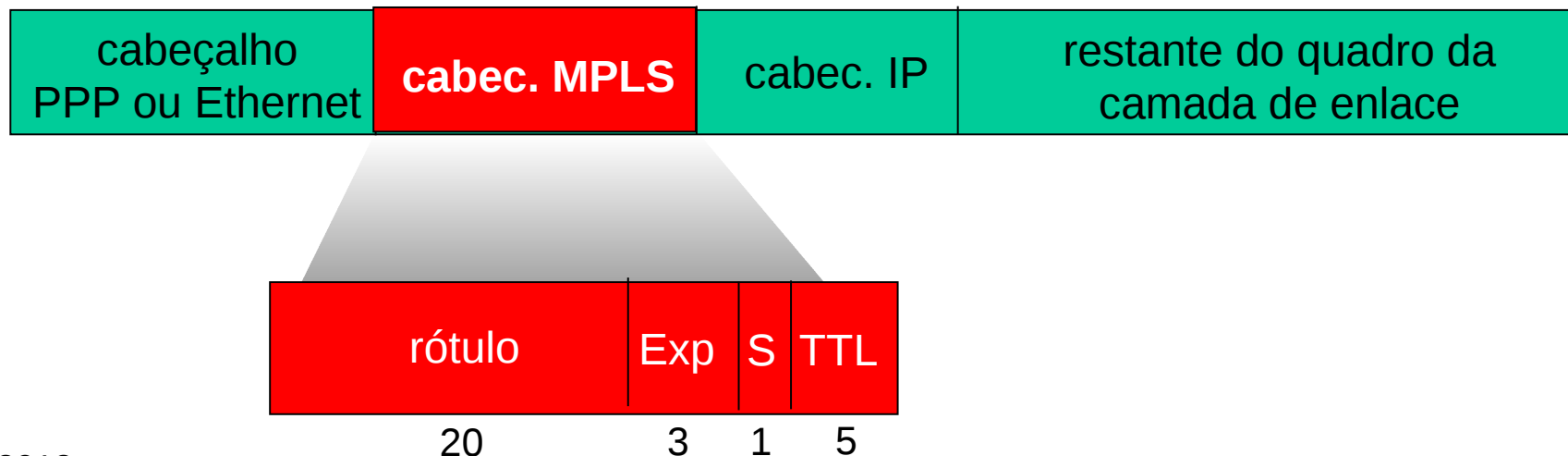
5 Camada de Enlace – 5.8 Virtualização de Enlace: MPLS

5.8.1 – Comutação de Rótulos em MPLS

- “comutação de pacotes por circuitos virtuais” - repasse de pacotes se dá tendo por base os rótulos de circuitos e não endereço de destino contido no pacote;
- “comutação de rótulos multiprotocolo” - com o intuito de melhorar o repasse dos roteadores IP, adotou-se um conceito fundamental nas redes de circuitos virtuais que é o rótulo de tamanho fixo;
 - “idéia” - rotular pacotes de modo que roteadores os repassem tendo por base circuitos virtuais e rótulos de tamanho fixo sempre que possível em vez de endereços de destino IP (roteamento na Arq. TCP/IP);
 - ... objetivo foi o de unir as técnicas de roteamento de pacotes rotulando-os seletivamente para que o roteador possa repassá-los através de circuitos virtuais ou através do endereço de destino;
 - ... o resultado desses esforços é o MPLS (RFC 3031; RFC 3032).

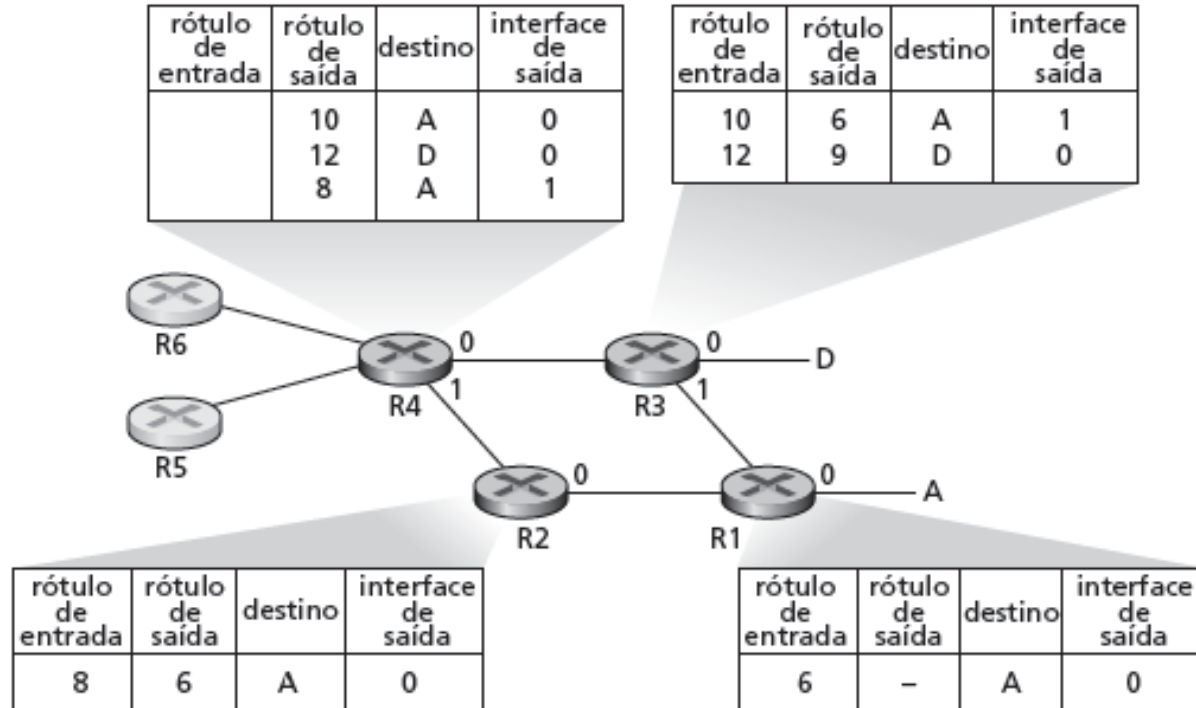
5 Camada de Enlace – 5.8 Virtualização de Enlace: MPLS ... 5.8.1 – Comutação de Rótulos em MPLS

- ... quadro da camada de enlace (PPP ou Ethernet) tem um pequeno cabeçalho MPLS adicionado entre o cabeçalho PPP/Ethernet e o cabeçalho IP;
 - “rótulo” (20 bits) - identificador do circuito virtual;
 - “experimental” (3 bits) - reservado;
 - “S” (1 bit) - indica o final de uma série de rótulos MPLS;
 - TTL (8 bits) – tempo de vida do pacote.



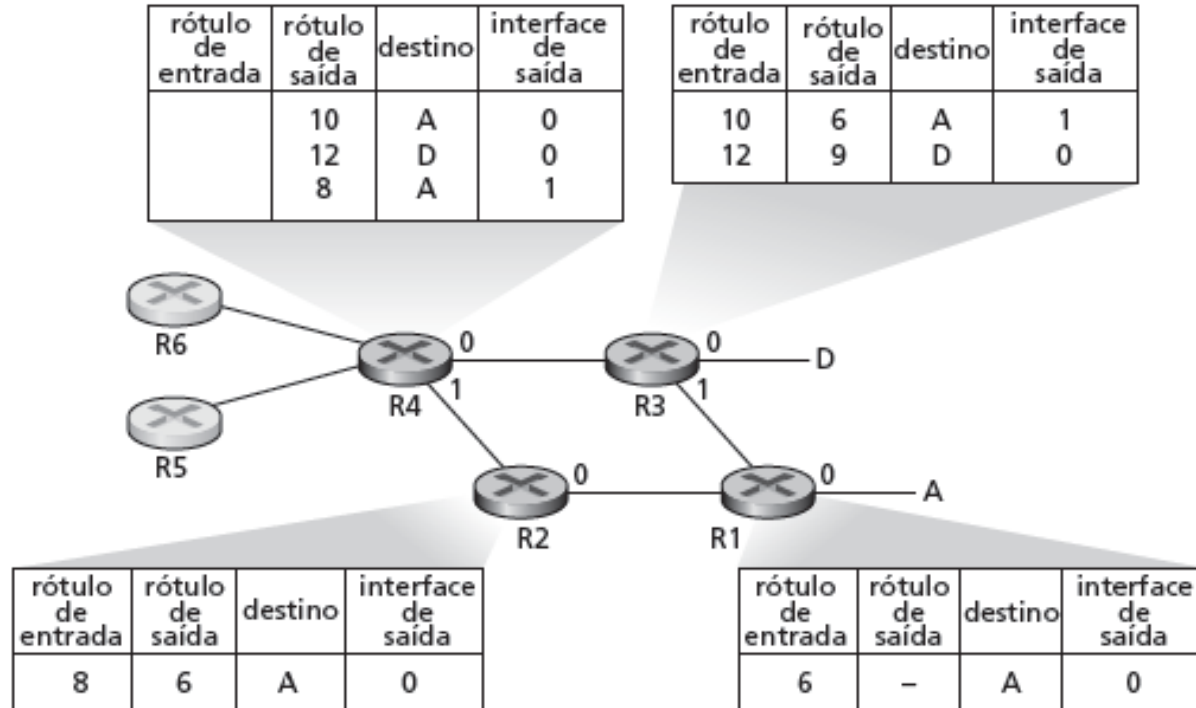
5 Camada de Enlace – 5.8 Virtualização de Enlace: MPLS ... 5.8.1 – Comutação de Rótulos em MPLS

- e.g., considere 02 roteadores MPLS “R₁” e “R₄” e 02 roteadores IP “R₅” e “R₆”, onde “R₅” e “R₆” estão ligados a “R₄”. “R₁” está interligado a “R₄” através dos roteadores “R₂” e “R₃”
- ... exemplo ilustra a junção do roteamento por endereço de destino e o roteamento de pacotes por circuitos virtuais baseado em rótulos.



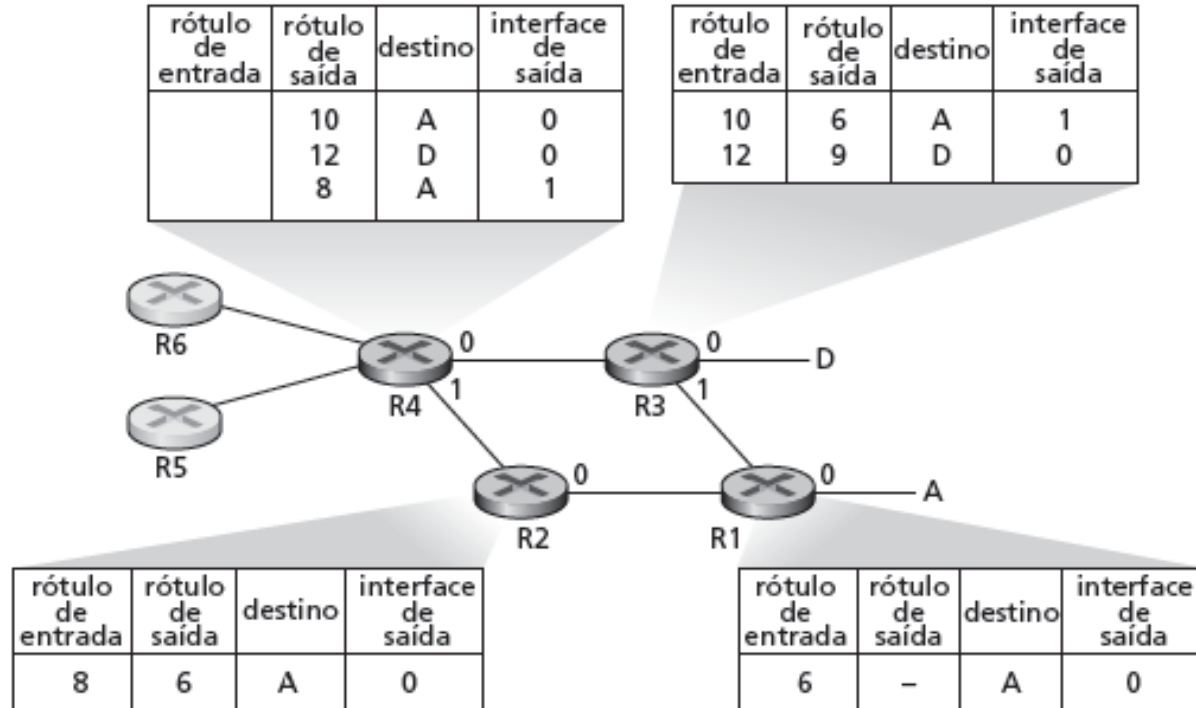
5 Camada de Enlace – 5.8 Virtualização de Enlace: MPLS ... 5.8.1 – Comutação de Rótulos em MPLS

- e.g., considere 02 roteadores MPLS “R₁” e “R₄” e 02 roteadores IP “R₅” e “R₆”, onde “R₅” e “R₆” estão ligados a “R₄”. “R₁” está interligado a “R₄” através dos roteadores “R₂” e “R₃”;
- ... “R₁” anuncia para “R₂” e “R₃” que pode rotear para “A” quadros MPLS com rótulo de entrada “6”;



5 Camada de Enlace – 5.8 Virtualização de Enlace: MPLS ... 5.8.1 – Comutação de Rótulos em MPLS

- ... “R₃” anuncia para “R₄” que pode rotear para “A” e “D” quadros MPLS com rótulos “10” e “12” respectivamente;
- ... “R₂” anuncia para “R₄” que pode rotear para “A” quadros via interface I₀ e rótulo de entrada “10”;



5 Camada de Enlace – 5.8 Virtualização de Enlace: MPLS

... 5.8.1 – Comutação de Rótulos em MPLS

- Obs.: Roteadores “R₁” e “R₄” habilitados para MPLS realizam a comutação de pacotes por circuitos virtuais sem jamais tocar no cabeçalho IP do pacotes que por eles passam.
 - ... para distribuir rótulos entre roteadores habilitados para MPLS, IEEE especificou a RFC 3468 – Protocolo de Sinalização.
- RFC 3468 é uma extensão do RSVP, conhecido como RSVP-TE (RFC 3209) permite o repasse ao longo de caminhos que o IP sozinho não permitiria (p.ex., roteamento específico da origem) !!
- RSVP (Resource Reservation Protocol – Traffic Engineering)

5 Camada de Enlace – 5.8 Virtualização de Enlace: MPLS

... 5.8.1 – Comutação de Rótulos em MPLS

- Embora o MPLS execute a comutação com base nos rótulos sem considerar o endereço IP do pacote, as principais vantagens são:
- “gerenciamento do tráfego” - provê a capacidade de repassar pacotes por rotas que não seria possível utilizar com protocolos padrões de roteamento IP, ou seja, engenharia de tráfego;
 - ... pode ser utilizado para restauração rápida de caminhos de repasse MPLS, p.ex., mudar a rota de tráfego que passa por um caminho previamente calculado, em resposta à falha de enlace.
- “velocidade” - possibilita o aumento substancial da velocidade de comutação fase a comutação baseada em rótulos.