

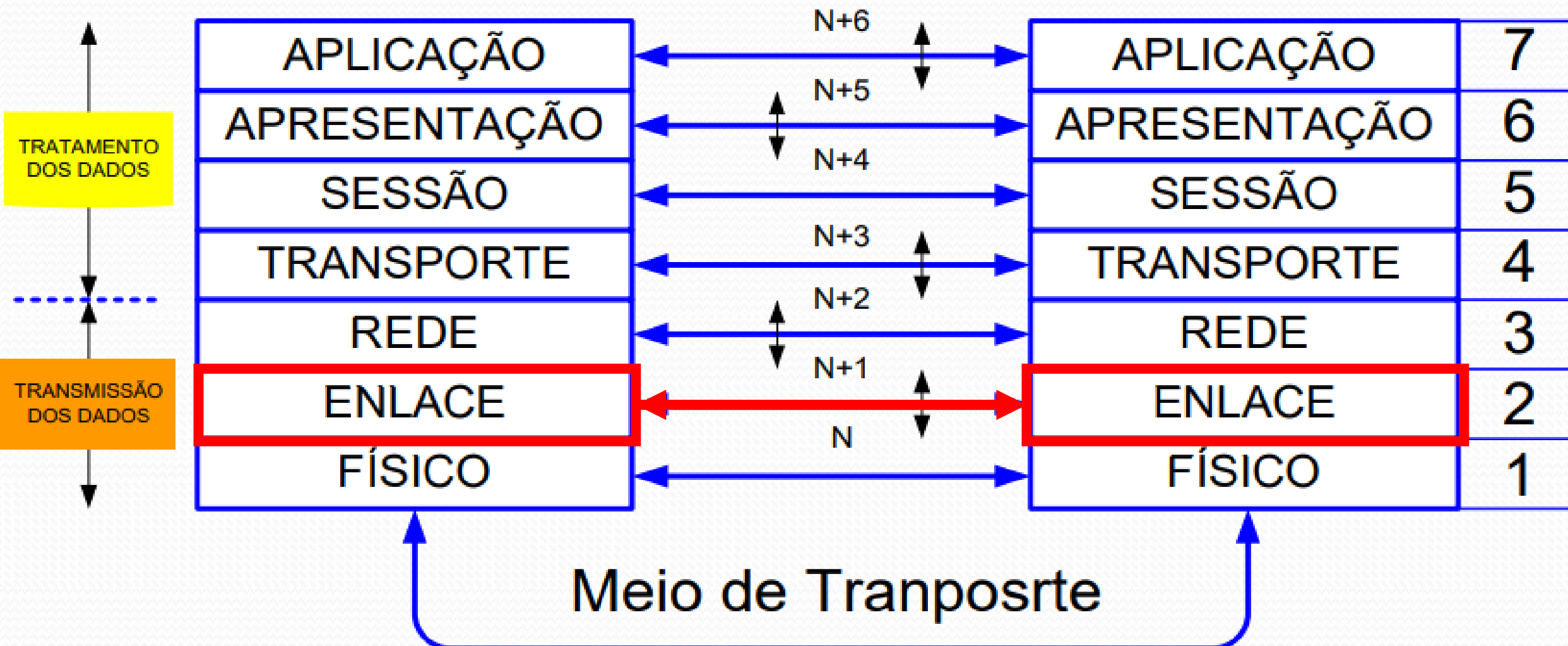
Redes de Computadores

Camada Enlace

Prof. Renê Pomilio de Oliveira

*Slides baseados nas aulas da Profa. Dra. Kalinka Castelo Branco (ICMC/USP)
Prof. Dr. Anderson Chaves Carniel (UTFPR)*

Entidades da Camada



Enlaces

- São canais de comunicação que conectam nós ao longo dos caminhos de comunicação
 - Enlaces cabeados
 - Enlaces sem fios
 - LANs

Enlaces

- São canais de comunicação que conectam nós ao longo dos caminhos de comunicação
 - Enlaces cabeados
 - Enlaces sem fios
 - LANs
- Camada de enlace → tem a responsabilidade de transferir “datagramas” de um nó para o nó adjacente sobre um enlace

Enlaces

- Enquadramento e acesso ao enlace:
 - Encapsula o datagrama num quadro incluindo cabeçalho e cauda
 - ‘endereços físicos’ (MAC) são usados em cabeçalhos de quadros para identificar origem e destino de quadros em enlaces multiponto

Serviços da Camada de Enlace

- Controle de Fluxo:
 - As taxas de produção e consumo de quadros é compatível entre transmissores e receptores
- Detecção de Erros:
 - erros são causados por atenuação do sinal e por ruído
 - receptor detecta presença de erros
 - receptor sinaliza ao remetente para retransmissão, ou simplesmente descarta o quadro em erro

Serviços da Camada de Enlace

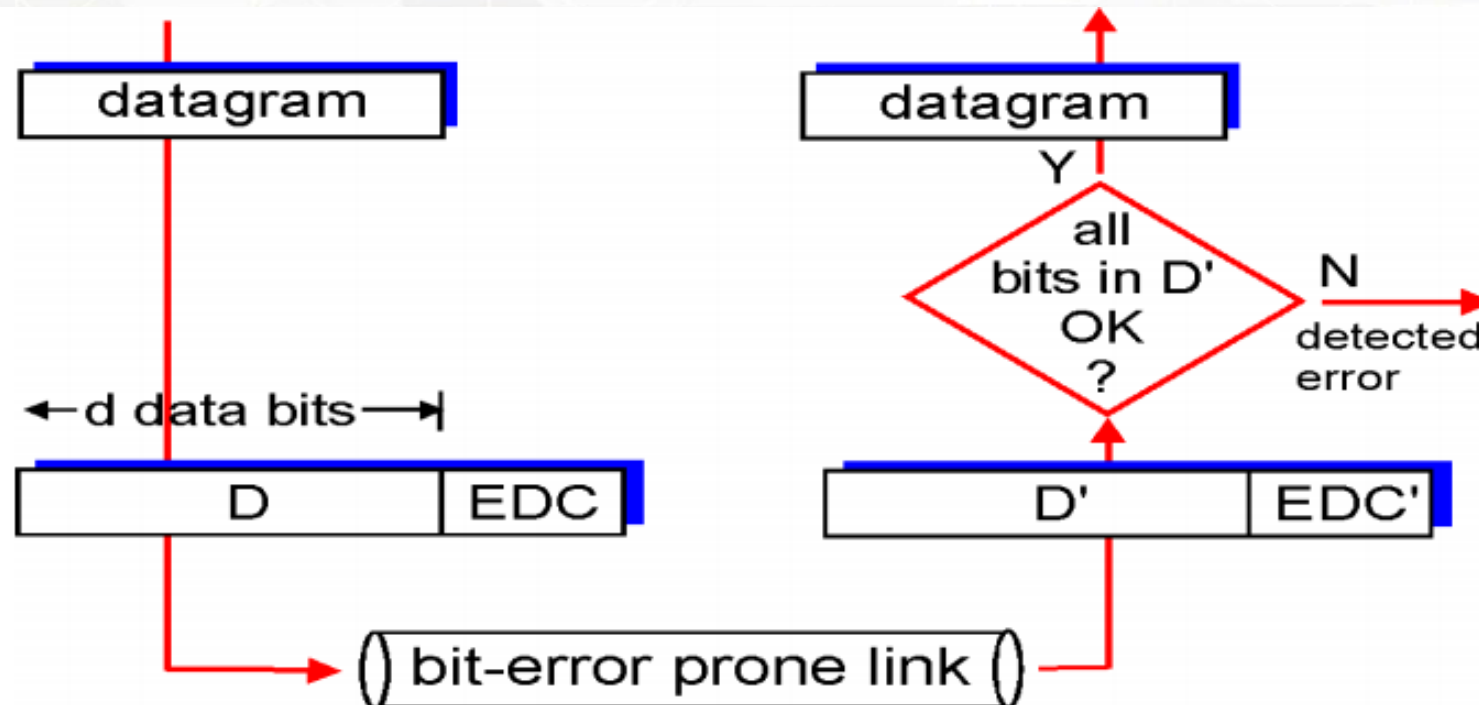
- Correção de Erros:
 - mecanismo que permite que o receptor localize e corrija o erro sem precisar da retransmissão

Detecção de Erros

- EDC = bits de Detecção e Correção de Erros (redundância)
- D = Dados protegidos por verificação de erros, podem incluir alguns campos do cabeçalho

Detecção de Erros

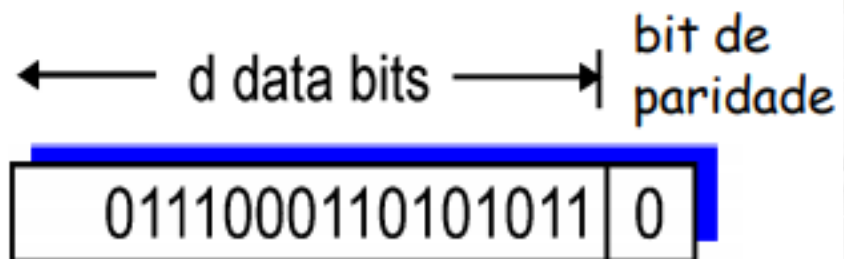
- detecção de erros não é 100% perfeita;
- protocolo pode não identificar alguns erros, mas é raro
- Quanto maior o campo EDC melhor é a capacidade de detecção e correção de erros



Detecção de Erros

- Detecção de erro por paridade com um único bit

Detecta erro de um único bit



Detecção de Erros

- Transmissor:
 - trata o conteúdo de segmentos como sequências de números inteiros de 16 bits
 - checksum: adição (soma em complemento de um) do conteúdo do segmento
 - transmissor coloca o valor do checksum no campo checksum do UDP
- Receptor:
 - computa o checksum do segmento recebido
 - verifica se o checksum calculado é igual ao valor do campo checksum:
 - NÃO - erro detectado
 - SIM - não detectou erro. Mas talvez haja erros apesar disso...

Tipos de enlaces

- Ponto-a-ponto (um cabo único)
- Difusão (cabo ou meio compartilhado: Ethernet, 802.11 wireless LAN.)

Tipos de enlaces - Difusão

- Enlaces com Difusão.
 - Desafio principal: Protocolo de Múltiplo Acesso



Tipos de enlaces - Difusão

- canal de comunicação único e compartilhado
- algoritmo distribuído que determina como as estações compartilham o canal, isto é, determinam quando cada estação pode transmitir
 - Determina o controle de fluxo

Controle de fluxo

- **Emissor transmitindo mais rápido que o receptor pode aceitar. O que fazer?**
- Algum mecanismo de feedback deve ser fornecido para que o emissor fique ciente das capacidades do receptor
- Várias dessas questões se repetem em outras camadas
- A solução a ser adotada para cada questão depende da camada, protocolo e aplicação.

Controle de fluxo

- Existem vários esquemas, a maioria baseada em regras sobre quando o emissor pode enviar o próximo quadro.
 - Emissor envia um quadro e espera sinal.
 - Receptor recebe o quadro.
 - Receptor envia sinal p/ emissor enviar próximos n quadros.
 - Emissor envia os quadros e espera sinal.

Controle de fluxo – Simplex sem restrições

- ✓ Transmissão num único sentido
 - ✓ O nível de rede está sempre pronto para transmitir e receber
 - ✓ O tempo de processamento é ignorado
 - ✓ Buffers infinitos
 - ✓ Canal de comunicação perfeito
- Transmissor → Enlace → Receptor

Controle de fluxo – Simplex pare-e-espere

- ❖ Stop-and-wait
- ✓ Os buffers não são infinitos
- ✓ O tempo de processamento não é ignorado
- ✓ O transmissor não envia outra mensagem até que a anterior tenha sido aceita como correta pelo receptor
- ✓ Embora o tráfego de dados seja simplex, há fluxo de quadros em ambos os sentidos
- Transmissor → quadro → Receptor → resposta → Transmissor (timeout)

Controle de fluxo – Janela deslizante

❖ *Sliding Windows*

- ✓ É um mecanismo de controle de fluxo e otimização
- ✓ Quem transmite tem um limite de **X** quadros para enviar segundo um parâmetro **L** que estabelece sua janela de Transmissão
- ✓ Após o envio de L quadros sem receber nenhum ACK o transmissor interrompe o envio de quadros

Controle de fluxo – Janela deslizante – Canal com ruído

- ✓ Os quadros são numerados sequencialmente
- ✓ O tx transmite um quadro
- ✓ O rx envia um quadro de reconhecimento se o quadro for recebido corretamente, caso contrário, há um descarte e é aguardada uma retransmissão
- ✓ Quadros não reconhecidos são retransmitidos (temporização) (timeout)

Protocolos de Acesso Múltiplo - Características

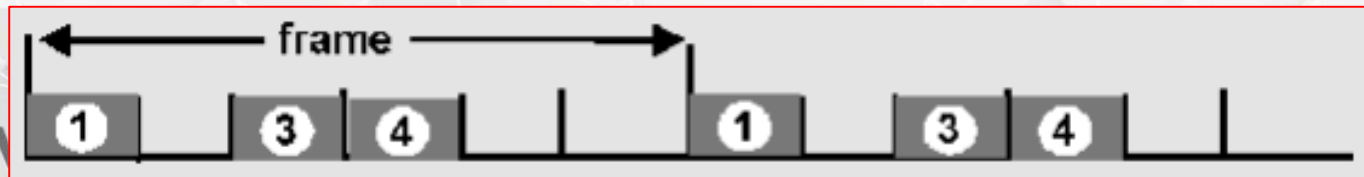
- Quando apenas um nó tem dados para enviar, esse nó tem uma vazão de **R bps**
- Quando **M** nós têm acesso para enviar, cada um desses nós tem uma vazão de **R/M bps**. Isso não significa necessariamente que cada um dos **M** nós sempre terá uma velocidade média de transmissão de **R/M** durante algum intervalo de tempo adequadamente definido
- O protocolo é descentralizado, isto é, não há nós mestres que possam falhar e derrubar o sistema inteiro

Protocolos MAC

- Particionamento de canal
 - dividem o canal em pedaços menores (compartimentos de tempo, frequência)
 - aloca um pedaço para uso exclusivo de cada nó

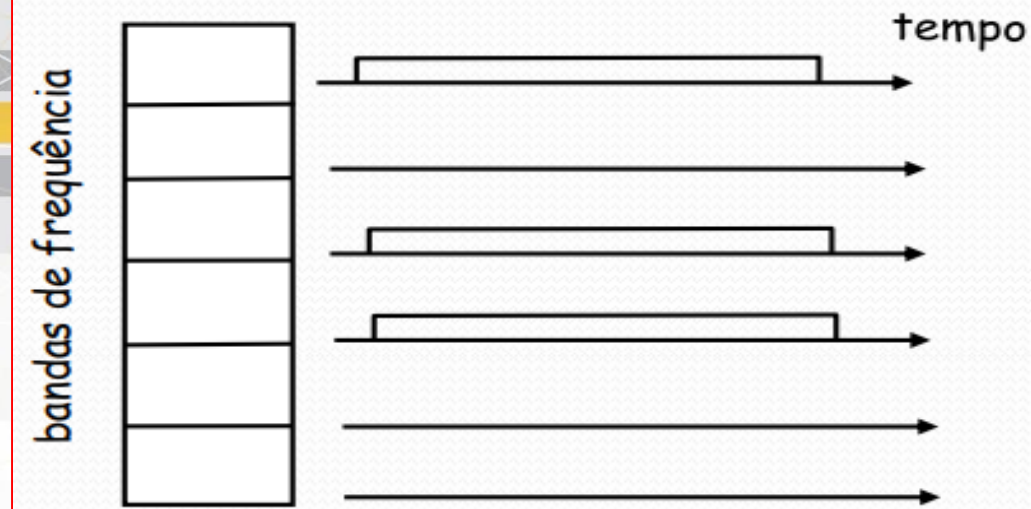
Protocolos MAC

- MAC com Particionamento de Canal: TDMA
 - TDMA: acesso múltiplo por divisão temporal
 - acesso ao canal é feito por "turnos"
 - cada estação controla um compartimento ("slot") de tamanho fixo (tamanho = tempo de transmissão de pacote) em cada turno
 - compartimentos não usados são desperdiçados
 - exemplo: rede local com 6 estações: 1,3,4 têm pacotes, compartimentos 2,5,6 ficam vazios



Protocolos MAC

- MAC com Particionamento de Canal: FDMA
 - FDMA: acesso múltiplo por divisão de frequência
 - o espectro (MHz) do canal é dividido em bandas de frequência
 - cada estação recebe uma banda de frequência
 - tempo de transmissão não usado nas bandas de frequência é desperdiçado
 - exemplo: rede local com 6 estações: 1,3,4 têm pacotes, as bandas de frequência 2,5,6 ficam vazias



Protocolos MAC

- MAC com Particionamento de Canal: CDMA
 - CDMA (Acesso Múltiplo por Divisão de Códigos)
 - um código único é atribuído a cada usuário, isto é, o código define o particionamento
 - muito usado em canais broadcast, sem-fio (celular, satellite,etc)
 - todos os usuários usam a mesma frequência, mas cada usuário tem a sua própria maneira de codificar os dados. Esta codificação é definida pelo código que o usuário recebe.

Adicionando os cabeçalhos e trailers

- Na camada de enlace de dados, cabeçalhos e trailers são adicionados aos dados da camada superior (rede).
- O cabeçalho e o trailer contêm informações de controle destinadas à camada de enlace de dados no sistema de destino.
- O conjunto Cabeçalho + Dados + Trailer da camada de enlace chamamos de Quadro.
- Um quadro é uma unidade de dados de protocolo (PDU – Protocol data unit) da camada interface de rede.

	Preâmbulo	SFD	Endereço de Destino	Endereço de Origem	Comprimento/Tipo	Dados Enchimento	FCS
Câmpu No Bytes	7	1	6	6	2	46 a 1500	4

O Quadro Ethernet

- O **Preâmbulo** é um padrão de uns e zeros alternados usado para a sincronização da temporização em Ethernet entre origem e destino (timeout da transmissão)
- **SFD - Start Frame Delimeter** consiste em um campo de um octeto que marca o final das informações de temporização e contém a sequência de bits 10101011. (preâmbulo diz que acabou a transmissão) .

	Preâmbulo	SFD	Endereço de Destino	Endereço de Origem	Comprimento/Tipo	Dados Enchimento	FCS
Nº Bytes	7	1	6	6	2	46 a 1500	4

O Quadro Ethernet

- **Endereço de Destino** contém um endereço de destino MAC. O endereço de destino pode ser unicast, multicast ou broadcast
- **Endereço de Origem** contém um endereço de origem MAC

	Preâmbulo	SFD	Endereço de Destino	Endereço de Origem	Comprimento/Tipo	Dados Enchimento	FCS
Nº Bytes	7	1	6	6	2	46 a 1500	4

O Quadro Ethernet

- **Comprimento/Tipo** suporta dois usos diferentes. Indica o protocolo a ser usado na camada de Rede ou o número de bytes que vêm depois desse campo.

	Preâmbulo	SFD	Endereço de Destino	Endereço de Origem	Comprimento/Tipo	Dados Enchimento	FCS
Nº Bytes	7	1	6	6	2	46 a 1500	4

O Quadro Ethernet

- **Dados e o Enchimento** se necessário, pode ser de qualquer tamanho que não faça com que o quadro exceda o tamanho máximo permitido para o quadro. O conteúdo desse campo não é especificado. O processo de inserção de dados para complementar um quadro muito pequeno é chamado de padding (enchimento).

	Preâmbulo	SFD	Endereço de Destino	Endereço de Origem	Comprimento/Tipo	Dados Enchimento	FCS
Nº Bytes	7	1	6	6	2	46 a 1500	4

O Quadro Ethernet

- **FCS - *Frame Check Sequence*** contém um valor 4 bytes que é criado pelo dispositivo emissor e recalculado pelo dispositivo receptor para verificar se há quadros danificados. Já que a corrupção de um único bit em qualquer lugar desde o início do Endereço de Destino até o final do campo FCS fará com que o checksum seja diferente

	Preâmbulo	SFD	Endereço de Destino	Endereço de Origem	Comprimento/Tipo	Dados Enchimento	FCS
Nº Bytes	7	1	6	6	2	46 a 1500	4

Juntando os Pedacos - Transmissão

- ✓ Na transmissão a camada de enlace pega os dados, encapsula-os com um cabeçalho e trailer
- ✓ Preenchendo os campos Mac de origem e destino (função de endereçamento)
- ✓ O campo comprimento/tipo (identificação de conteúdos)
- ✓ O campo FCS faz a detecção de erros
- ✓ Antes de transmitir ele verifica se tem alguém transmitindo

Juntando os Pedacos - Recepção

- ✓ Na recepção, é verificada se o endereço de destino do quadro é igual ao endereço da placa de rede (endereçamento),
- ✓ É realizado novamente o cálculo do FCS e comparado com o original (verificação de erros)
- ✓ Os cabeçalhos e trailers são removidos
- ✓ Os dados são passados para a camada superior competente (identificação de conteúdos).