



# CAPÍTULO 4

## Camada de Enlace

### REDES DE COMPUTADORES 1

Engenharia de Telecomunicações

## 4. A CAMADA DE ENLACE

- ▶ A tarefa da camada de enlace de dados é:
  - ▶ Fornecer uma interface de serviços (bem definida) à camada de rede;
  - ▶ Tratar os erros de transmissão;
  - ▶ Regular o fluxo de quadros de forma a não ultrapassar a capacidade de memória e processamento do receptor (controle de fluxo).
- ▶ Para alcançar esses objetivos, a camada de enlace de dados recebe os pacotes da camada de rede e os encapsula em quadros para transmissão. Cada quadro contém um cabeçalho (header) de quadro, um campo de carga útil, que conterá o pacote, e um final (trailer) de quadro.

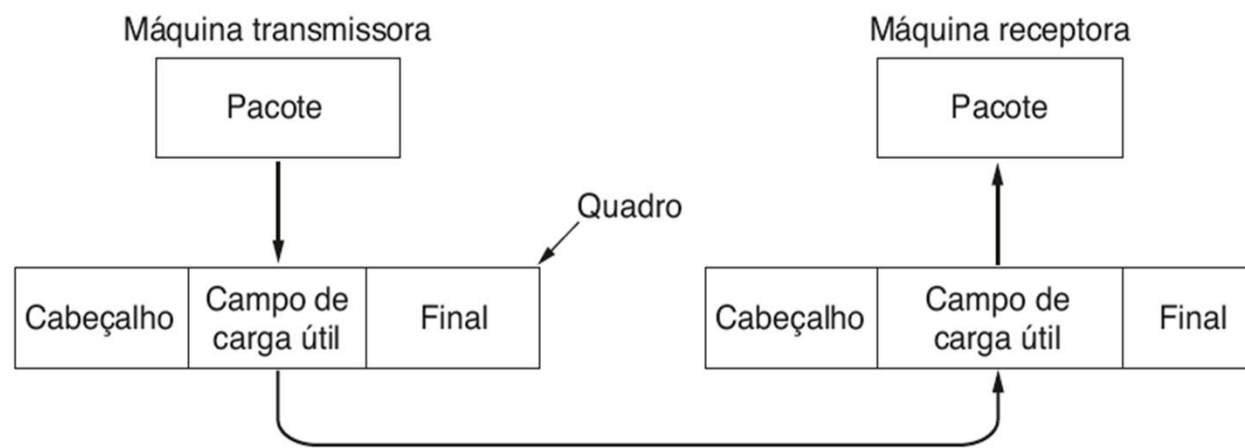
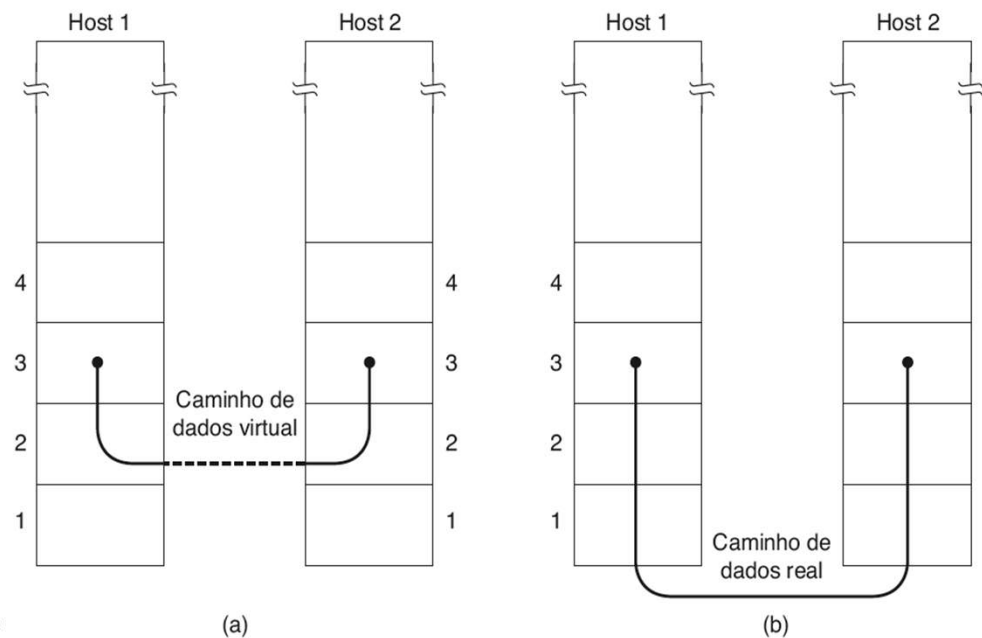


Fig. Relação entre pacotes e quadros.

## 4. A CAMADA DE ENLACE

### ▶ 4.1 SERVIÇOS OFERECIDOS À CAMADA DE REDE

- ▶ O principal serviço é transferir dados da camada de rede da máquina de origem para a camada de rede da máquina de destino.
- ▶ A tarefa da camada de enlace de dados é transmitir os bits a máquina de destino, de forma que eles possam ser entregues a camada de rede dessa máquina.



(a) Comunicação virtual.  
(b) Comunicação real.

## 4. A CAMADA DE ENLACE

---

### ▶ 4.1 SERVIÇOS OFERECIDOS À CAMADA DE REDE

- ▶ A camada de enlace de dados pode ser projetada de modo a oferecer diversos serviços, que podem variar de sistema para sistema. Três possibilidades razoáveis oferecidas com frequência são:
  - ▶ 1. Serviço sem conexão e sem confirmação;
    - ▶ A Ethernet é um bom exemplo deste tipo de serviço. Se algum for perdido em decorrência de ruídos na linha, não haverá nenhuma tentativa de detectar a perda ou recuperá-la na camada de enlace, ficando a cargo de outra camada
  - ▶ 2. Serviço sem conexão com confirmação (acknowledgment - ack)
    - ▶ Caso não tenha chegado dentro de um intervalo específico, o frame poderá ser enviado outra vez. É usado em canais não confiáveis, por exemplo, nas redes wifi IEEE 802.11.

## 4. A CAMADA DE ENLACE

---

### ▶ 4.1 SERVIÇOS OFERECIDOS À CAMADA DE REDE

- ▶ 4.. Serviço com conexão com confirmação
  - ▶ Útil para enlaces longos como satélites e circuito telefônico interurbano. Se o serviço não orientado a conexões com confirmação fosse usado é possível imaginar que as confirmações perdidas poderiam fazer com que um frame inteiro fosse enviado e recebido várias vezes, desperdiçando banda

### ▶ 4.2 ENQUADRAMENTO

- ▶ Em geral, a estratégia adotada pela camada de enlace de dados e dividir o fluxo de bits em quadros e calcular o total de verificação (checksum) em relação a cada quadro.

## 4. A CAMADA DE ENLACE

---

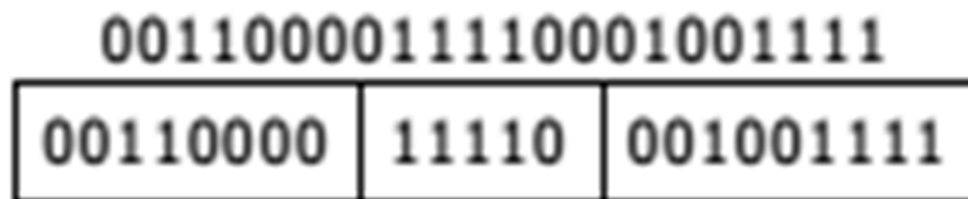
### ▶ 4.2 ENQUADRAMENTO

- ▶ O enquadramento é o processo de agrupar um conjunto de bits como uma entidade única.
  - Na maioria dos protocolos de enlace os frames são formados por três estruturas básicas: o cabeçalho, os dados e o CDE.
  - O **cabeçalho** possui informações de controle para que haja a comunicação horizontal entre as camadas de enlace da origem e do destino. O cabeçalho é formado por diversos campos, cada um com uma função específica no protocolo.
  - O **campo de dados** encapsula o PDU (Protocol Data Unit) de redes passando pela camada de rede.
  - Finalmente, o **código de detecção de erro** (CDE) tem a função de controlar erros na camada de enlace.

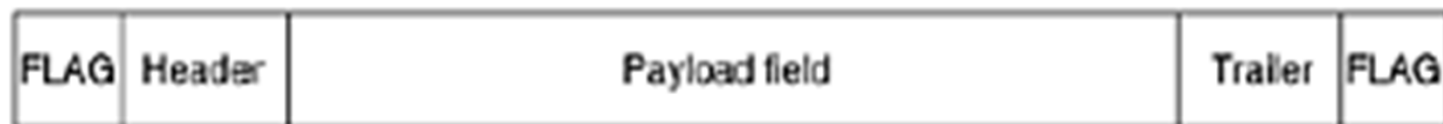
## 4. A CAMADA DE ENLACE

---

- ▶ Como a camada de enlace trabalha com frames, o receptor deve ser capaz de identificar o início e o final de cada bloco transmitido. Essa função é chamada de enquadramento ou Framing.
- ▶ Uma sequência de bits transmitida pela camada física, é segmentada em quadros pela camada de enlace de dados.



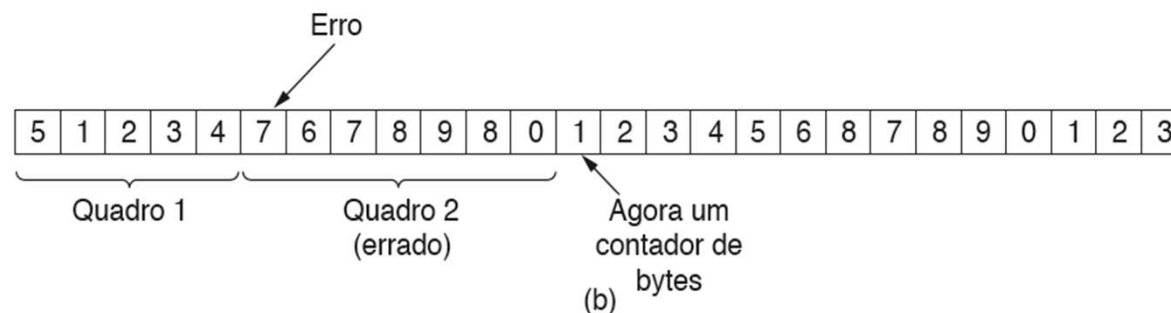
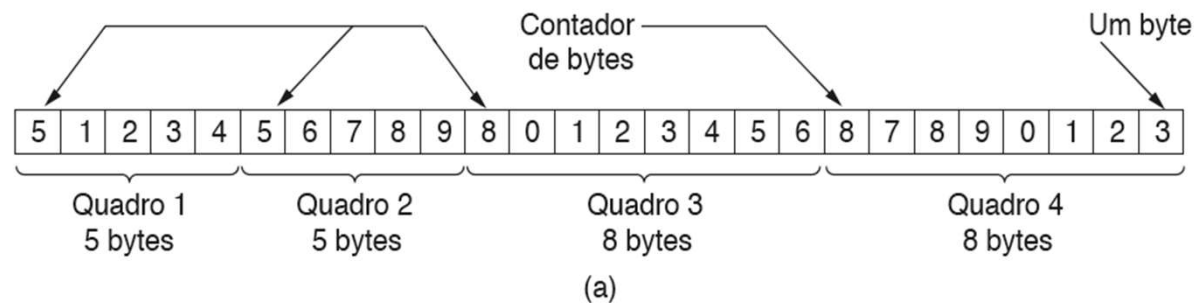
- ▶ A maioria dos protocolos de enlace utiliza um flag para identificar os limites de cada frame, que pode ser um caractere ou uma sequência de bits especiais.



- -

## 4. A CAMADA DE ENLACE

- ▶ Podem ser citados 4 métodos para o encapsulamento de dados:
  - ▶ 1. Contagem de caracteres.
    - ▶ Este método de enquadramento utiliza um campo no cabeçalho para especificar o numero de caracteres do quadro. Quando vê a contagem de caracteres, a camada de enlace de dados de destino sabe quantos bytes devem vir em seguida e, conseqüentemente, onde esta o fim do quadro.



Fluxo de bytes.

(a) Sem erros.

(b) Com um erro.

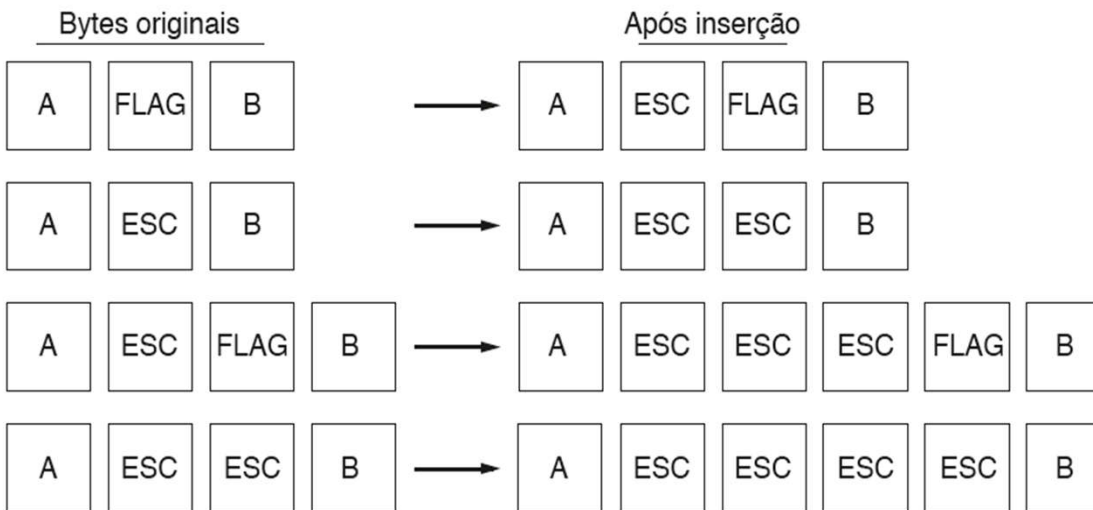


## 4. A CAMADA DE ENLACE

- ▶ 2. Bytes de flags, com inserção de bytes.
  - ▶ Contorna o problema de ressincronização após um erro, fazendo cada quadro começar e terminar com bytes especiais, chamado byte de flag, como delimitador de início e de fim. Caso os dados contenham o byte FLAG, um byte de escape (ESC) é colocado antes de cada byte de FLAG “acidental”.

FLAG	Cabeçalho	Campo de carga útil	Final	FLAG
------	-----------	---------------------	-------	------

(a)



(b)

Caso os dados contenham também as informações do byte ESC, um byte ESC é adicionado antes dessas informações para também identificá-las.

(a) Quadro limitado com bytes de flag.

(b) Quatro exemplos de sequências de bytes antes e depois do preenchimento com bytes (byte stuffing).

## 4. A CAMADA DE ENLACE

- ▶ 3. Flags iniciais e finais, com inserção de bits.
  - ▶ Permite que o enquadramento possa ser feito a nível de bit e não de byte. De acordo com essa técnica, cada quadro começa e termina com um padrão de bits, 01111110 (na verdade, um byte de flag). No **Bit Stuffing** a cada 5 bits 1 é inserido um 0 para garantir que os dados não contêm as informações de flag. Ao ser recebido pelo receptor esse 0 é retirado se aparecer um 0 após uma sequência de 5 bits 1

(a) 0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 0

(b) 0 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 0 0 1 0

Bits inseridos

(c) 0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 0

Bit stuffing. (a) Dados originais. (b) Dados com bits de preenchimento.  
(c) Dados armazenados em buffer após retirada dos bits de preenchimento.

## 4. A CAMADA DE ENLACE

---

- ▶ Utilizando inserção de bytes (flag) , 100 bytes podem ser transportados por um quadro de 200 bytes, pois cada byte terá um byte (ESC)
- ▶ 4. Violações de codificação da camada física.
  - ▶ Quando a codificação da camada física tem redundância, a quebra da codificação pode indicar o início e o fim da transmissão.
  - ▶ Por exemplo, se usarmos a codificação Manchester baseada em transição e mandarmos uma sequência sem transição pode-se ter os símbolos que delimitam o frame.
  - ▶ Por exemplo, algumas LANs codificam 1 bit de dados utilizando 2 bits físicos.

## 4. A CAMADA DE ENLACE

---

### ▶ 4.3 CONTROLE DE FLUXO

- ▶ Uma questão de projeto importante na camada de enlace de dados (e também em camadas mais altas) é que um transmissor não envie quadros mais rapidamente do que o receptor seja capaz de processar. Esgotar a capacidade do receptor significa perda de quadros por descarte.
  
- ▶ São usadas comumente dois métodos :
  1. Controle de fluxo baseado em feedback, o receptor envia de volta ao transmissor informações que permitem ao transmissor enviar mais dados, ou que pelo menos mostram ao transmissor qual a situação real do receptor.
  2. Controle de fluxo baseado na velocidade, o protocolo tem um mecanismo interno que limita a velocidade com que os transmissores podem enviar os dados, sem usar o feedback do receptor. (Não utilizado na camada de enlace)

## 4. A CAMADA DE ENLACE

---

### ▶ 4.4 CONTROLE DE ERROS

- ▶ Quadros podem ser corrompidos enquanto em trânsito.
  - ▶ É possível que alguns quadros corrompidos sejam descartados
- ▶ É comum a utilização de redundância para detectar ou corrigir certos erros.
- ▶ Na prática, o overhead (cabeçalho) seria demasiadamente elevado para ser capaz de detectar/corrigir todas as possibilidades de erros na rede.
- ▶ Um protocolo que pretenda entregar quadros de forma confiável precisa de alguma forma recuperar esses quadros perdidos.

## 4. A CAMADA DE ENLACE

---

### ▶ 4.4 CONTROLE DE ERROS

- ▶ Como ter certeza de que todos os quadros serão entregues na camada de rede de destino, e na ordem apropriada?
- ▶ A forma mais comum de garantir uma **entrega confiável** e dar ao transmissor algum tipo de **feedback** sobre o que esta acontecendo no outro extremo da linha. Normalmente, o **protocolo solicita** que o **receptor** retorne **quadros de controle especiais com confirmações positivas ou negativas** sobre os quadros recebidos.
- ▶ Uma confirmação positiva permite ao transmissor saber que o quadro chegou em segurança ao destino.
- ▶ Uma confirmação negativa significa que algo saiu errado e que o quadro deve ser retransmitido.

## 4. A CAMADA DE ENLACE

---

### ▶ 4.5 DETECÇÃO E CORREÇÃO DE ERROS

- ▶ Dados podem ser corrompidos durante a transmissão. Os erros devem ser detectados e corrigidos para que a comunicação seja considerada confiável.
- ▶ Quando numa sequência de dados é encontrado um erro em apenas um bit, tem-se um erro isolado.
- ▶ Quando numa sequência de dados são encontrados erros em dois ou mais bits, tem-se erros em rajada (burst error).

## 4. A CAMADA DE ENLACE

---

### Detecção (Paridade)

- ▶ Um mecanismo para detectar erros é a inserção de bits no final do frame.
- ▶ A forma mais elementar é através dos testes de paridade, em que é inserido um apenas um bit de paridade.
- ▶ Na paridade par o número de 1's deve ser par, enquanto que na paridade ímpar esse número deve ser ímpar.
- ▶ Esse tipo de detecção falha na detecção de erros em rajada.



## 4. A CAMADA DE ENLACE

### Detecção (CRC)

- ▶ A Verificação de Redundância Cíclica (CRC - Cyclic Redundancy Check), também conhecida como código polinomial, é outra forma de detecção de erros com inserção de redundância.
- ▶ Uma sequência de bits de CRC é acrescentada no final do bloco de maneira a torná-lo divisível por um bloco pré-determinado.
- ▶ Se o resto da divisão for zero, o bloco está sem erros, caso contrário há erros. Assim, os bits de CRC devem ser o resto da divisão do payload pelo bloco padrão.



## 4. A CAMADA DE ENLACE

---

- ▶ Com o CRC é possível:
  - ▶ Detectar todas as rajadas de erros que afetarem uma quantidade ímpar de bits;
  - ▶ Detectar todas as rajadas de erros cujos comprimentos forem menores ou iguais a grau do polinômio gerador (sequência de referência);
  - ▶ Detectar, com uma probabilidade muito alta rajadas de erros cujos comprimentos forem maiores que o grau do polinômio gerador.

### Detecção (Checksum)

- ▶ O terceiro método de detecção de erros é o checksum que consiste na inserção de um bloco de bits no final do frame.

## 4. A CAMADA DE ENLACE

---

- ▶ Os dados de payload são divididos em bytes; em seguida esse bytes são somados na aritmética de complemento de 1. O resultado da soma é o bloco a ser inserido no frame.
- ▶ Por exemplo, seja considere que o payload seja formado por 3 bytes  
 $D = 10101001|00111001|11000001$ .
- ▶ Somando-os, tem-se o  $R = 01100011$ . Concatenando D e R, o frame enviado pelo transmissor é  
 $E = DR = 10101001|00111001|11000001|01100011$ .
- ▶ No receptor, ao somar todos os bytes o resultado é zero. Caso contrário, ocorreu um erro na transmissão.

## 4. A CAMADA DE ENLACE

---

### Correção (FEC Forward Error Correction)

- ▶ Em meios onde a taxa de erros é muito grande, como em redes sem fio, o controle de erro torna-se indispensável nesta camada.
- ▶ Sempre quando há uma transmissão com sucesso o receptor confirma a recepção do quadro utilizando um ACK (ACKnowledgement).
- ▶ O ACK funciona para o transmissor como um reconhecimento de que o destinatário recebeu corretamente o quadro enviado.
- ▶ Quando um quadro não chega ao destino, o receptor não tem de aguardar que o transmissor resolva o problema.

## 4. A CAMADA DE ENLACE

---

### Correção

- ▶ Neste caso, o transmissor mantém um temporizador para cada quadro enviado e, caso não chegue um ACK em certo intervalo de tempo, ocorre o timeout e o quadro é retransmitido.
- ▶ Esse esquema é conhecido como retransmissão por timeout.
- ▶ Os principais códigos de correção de erros em redes são:
  1. Código de Hamming
  2. Código convolucional binário
  3. Códigos de Reed-Solomon
  4. Códigos de checagem de paridade de baixa densidade

## 4. A CAMADA DE ENLACE

---

### Correção

- ▶ O ACK pode ser implementado de duas formas diferentes: como um quadro especial ou fazendo parte do cabeçalho de enlace. No caso do quadro chegar ao destino com erro, existe outras estratégias:
  - Descartar o quadro recebido e aguardar que ocorra o timeout para que haja a retransmissão;
  - Enviar um aviso ao transmissor indicando que houve erro no quadro e que este deve ser retransmitido;
  - FEC (Forward Error Correction), que implementa a correção de erro no destino.

## 4. A CAMADA DE ENLACE

---

### Correção

- ▶ Os mecanismos que utilizam o reconhecimento e retransmissão de quadro como mecanismos para correção de erro são chamados genericamente de protocolos ARQ (Automatic Repeat reQuest).
- ▶ Para a correção de erros é muito comum encontrar o Código de Hamming.
  - Ele emprega o bit-stuffing para assegurar que eventuais erros sejam detectados.
  - Esses bits inseridos dentro do bloco de dados detectam eventuais erros no envio de dados, bem como em alguns casos, corrigir mediante a posição do bit com erro.