

## Nível de Enlace

Profa. Débora Christina Muchaluat Saade  
 Laboratório MídiaCom - UFF  
 debora@midia.com.uff.br

<http://www.midiacom.uff.br/debora>

1

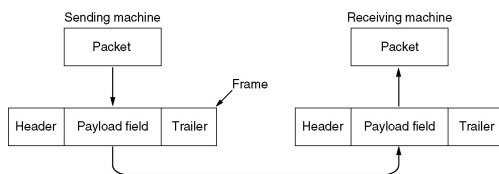
## Nível de Enlace

- **Funcionalidades principais:**
  - *Oferecer serviços de transmissão de quadros ao nível de rede*
  - *Delimitação de quadros*
  - *Controle de erros:*
    - Detecção de erros - obrigatório
    - Correção de erros - opcional
  - *Controle de fluxo – opcional*

2

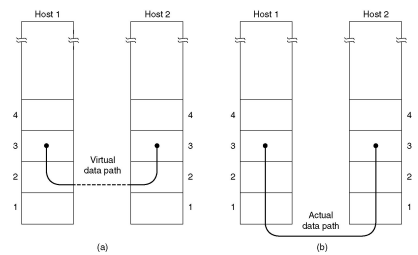
## Nível de Enlace

- ✓ Nível de rede envia pacotes (packets)
- ✓ Nível de enlace envia quadros (frames)



3

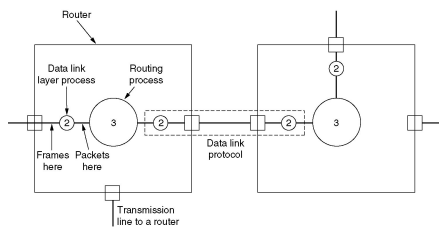
## Serviços Oferecidos ao Nível de Rede



- (a) Comunicação virtual
- (b) Comunicação real

## Serviços Oferecidos ao Nível de Rede

### Entidade de enlace e Protocolo de enlace



5

## Delimitação de Quadros

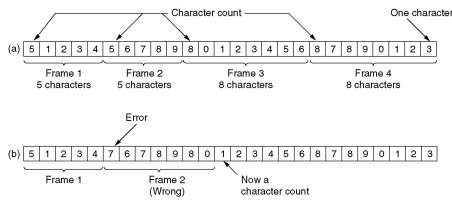
- ✓ Contador de caracteres
- ✓ Stuffing de caracteres
- ✓ Stuffing de bit
- ✓ Violação de código usado na transmissão do sinal
- ✓ Presença e ausência de sinal no meio

6

## Delimitação de Quadros - Contador

Redes de Computadores

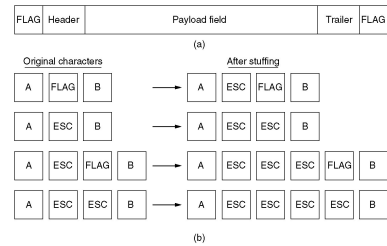
### Fluxo de caracteres (a) sem erros (b) com erro



7

## Delimitação de Quadros – Flag (caracter)

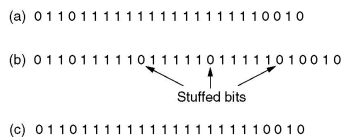
Redes de Computadores



- (a) Delimitador de início e fim de quadro (flag)
- (b) Necessidade de stuffing quando flag aparece nos dados a serem transmitidos

## Delimitação de Quadros – Flag (bits)

Redes de Computadores



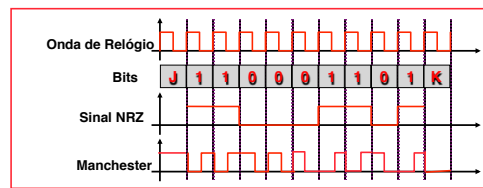
Bit stuffing – delimitador é 01111110

- (a) Dados originais
- (b) Dados transmitidos com bit stuffing
- (c) Dados armazenados em memória no receptor

9

## Delimitação de Quadros – Violação de Códigos

Redes de Computadores

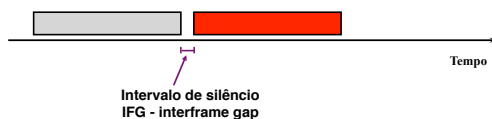


- ✓ Codificação Manchester:
  - Bit "1" - *transição positiva* (subida) no meio do bit
  - Bit "0" - *transição negativa* (descida) no meio do bit
  - Bits "J" e "K" - *ausência de transição*

10

## Delimitação de Quadros – Presença e Ausência de Sinal no Meio

Redes de Computadores



11

## Deteção e Correção de Erros

Redes de Computadores

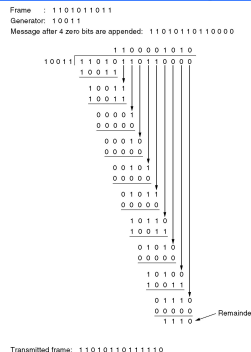
- Deteção de erro - obrigatória
  - *checksum*
  - *CRC – Cyclic Redundancy Check*
- Correção de erros - opcional
  - *Código corretor de erro*
    - Ex.: Hamming Code
  - *Protocolo de Controle de Erros*
    - Retransmissão do quadro com erro

12

## Detecção de Erro - CRC

Redes de Computadores

### Cálculo do CRC



14

## Protocolos de Controle de Erros

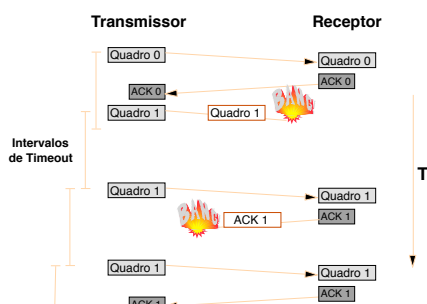
Redes de Computadores

- ✓ Todo quadro recebido deve ser reconhecido (ACK – acknowledgement)
  - *Se ACK não chegar, retransmite depois do timeout*
- ✓ Janela de transmissão e janela de recepção
- ✓ Protocolos baseados em Janela Deslizante (*Sliding Windows*)
  - *Stop-and-Wait (One-Bit Sliding Window Protocol)*
  - *Go Back N Sliding Window*
  - *Selective Repeat Sliding Window*

15

## Protocolo Stop-and-Wait

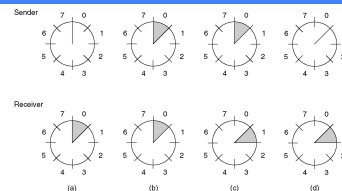
Redes de Computadores



16

## Protocolo Sliding Window

Redes de Computadores

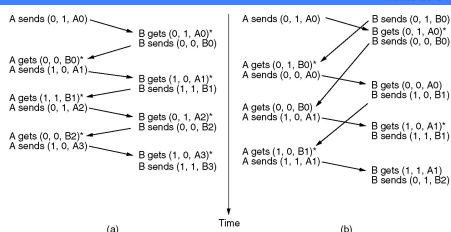


Sliding window de tamanho 1, com número de sequência de 3 bits:

- (a) Situação inicial
- (b) Depois de transmitir o primeiro quadro
- (c) Depois de receber o primeiro quadro
- (d) Depois de receber o primeiro ACK

## One-Bit Sliding Window Protocol

Redes de Computadores



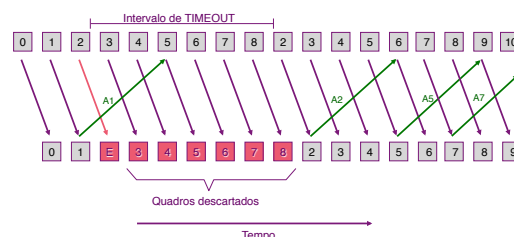
Dois cenários (a) caso normal (b) caso anormal  
 Notação (seq, ack, packet number).  
 Asterisco indica que nível de rede recebeu o pacote

18

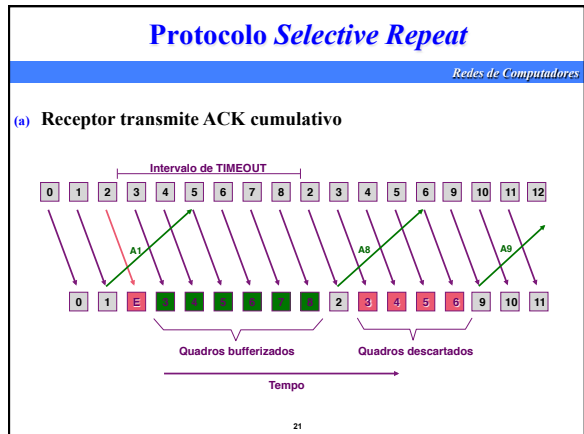
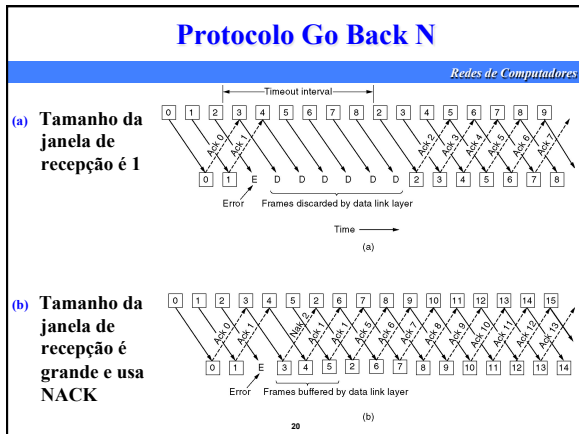
## Controle de Erro: Protocolo Go Back N

Redes de Computadores

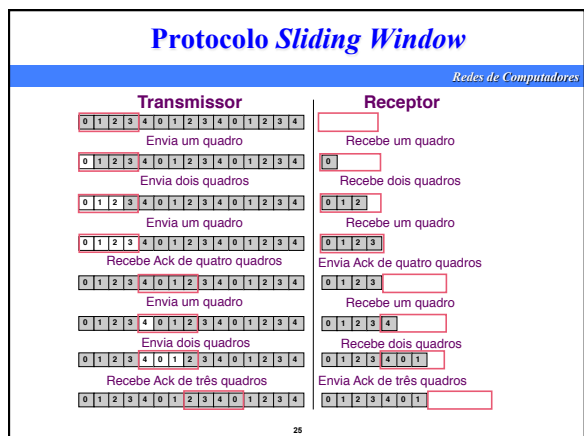
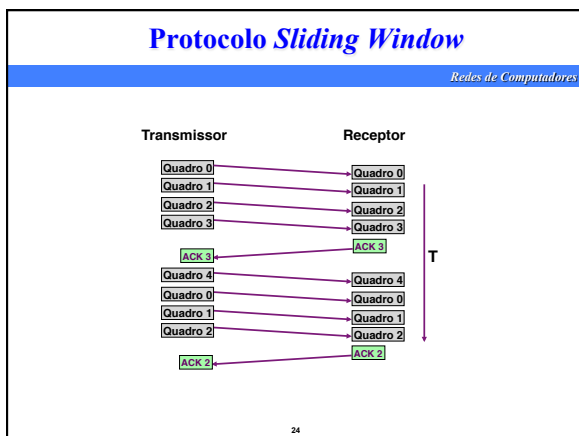
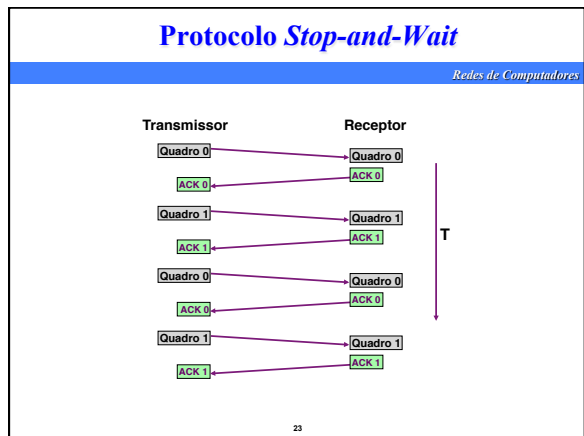
(a) Receptor transmite ACK cumulativo



19

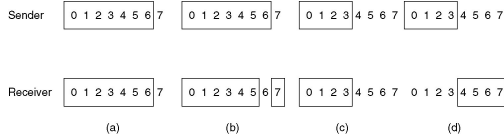


- ### Controle de Fluxo
- Redes de Computadores*
- ✓ Regula o fluxo de quadros entre transmissor e receptor
  - ✓ Resolve o problema de diferença entre velocidade de transmissão e recepção
  - ✓ Não permite que uma estação transmissora mais rápida sobrecarregue uma estação receptora
  - ✓ Técnicas:
    - *Stop-and-Wait*
    - *Sliding Window*
- 22



## A Sliding Window Protocol Using Selective Repeat

Redes de Computadores



- (a) Situação inicial com tamanho de janela = 7
- (b) Depois de transmitir e receber 7 quadros cujos ACKs não chegaram
- (c) Situação inicial com tamanho de janela = 4
- (d) Depois de transmitir e receber 4 quadros cujos ACKs não chegaram

28

Redes de Computadores

## Enlace Ponto a Ponto Protocolo PPP

27

## Controle de Enlace Ponto-a-Ponto

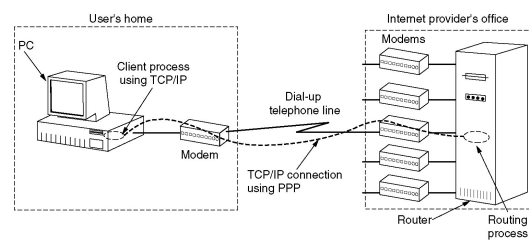
Redes de Computadores

- ✓ Um transmissor, um receptor, um link: mais fácil que um enlace broadcast:
  - *não há Controle de Acesso ao Meio*
  - *não há necessidade de endereçamento de enlace*
  - *ex.: enlace discado, linha ISDN*
- ✓ protocolos ponto-a-ponto populares para camada de enlace:
  - *SLIP (Serial Line IP)*
  - *PPP (Point-to-Point Protocol)*
  - *HDLC: High Level Data Link Control (A camada de enlace costumava ser considerada de alto nível na pilha de protocolos!)*

28

## Acesso Discado usa PPP

Redes de Computadores



29

## PPP Requisitos de Projeto [RFC 1577]

Redes de Computadores

- ✓ **Delimitação de quadro:** encapsulamento do pacote da camada de rede no quadro da camada de enlace
- ✓ **Múltiplos protocolos de rede:** habilidade para transportar múltiplos protocolos de rede e identificá-los no destino
- ✓ **Múltiplos tipos de enlace:** capacidade de utilização em diferentes tipos de enlace (transmissão serial/paralela, síncrona/assíncrona)
- ✓ **transparência de bits:** deve transportar qualquer padrão de bits no campo de dados
- ✓ **deteção de erros** (mas não correção)
- ✓ **gerenciamento da conexão:** detecta e informa falhas do enlace para a camada de rede
- ✓ **negociação de endereço da camada de rede:** os pontos terminais do enlace podem aprender e configurar o endereço de rede de cada outro
- ✓ **Simplicidade:** protocolo ponto a ponto deve ser simples
  - *+ de 50 RFCs!*

30

## PPP não-requisitos

Redes de Computadores

- ✓ **não há correção nem recuperação de erros**
- ✓ **não há controle de fluxo**
- ✓ **aceita entregas fora de ordem**
- ✓ **não há necessidade de suportar enlaces multiponto**
  - *HDLC suporta*

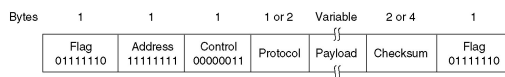
Recuperação de erros, controle de fluxo, re-ordenação dos dados são todos deixados para as camadas mais altas!

31

## PPP Formato do Quadro

Redes de Computadores

- ✓ **Flag:** delimitador
- ✓ **Endereço:** não tem função (apenas uma opção futura)
- ✓ **Controle:** não tem função; no futuro é possível ter múltiplos campos de controle
- ✓ **Protocolo:** indica o protocolo da camada superior ao qual o conteúdo do quadro deve ser entregue (ex.: IP - 21) (default = 2 bytes)

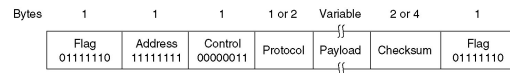


32

## PPP Formato dos dados

Redes de Computadores

- ✓ **info:** dados da camada superior sendo transportados
- ✓ **CRC:** verificação de redundância cíclica para detecção de erros (default = 2 bytes)



33

## Delimitação do Quadro: Stuffing de Caracter

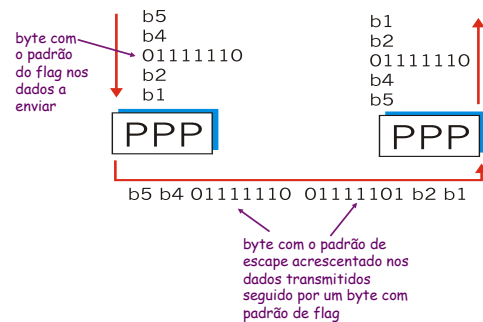
Redes de Computadores

- ✓ **Requisito de "transparência de dados":** o campo de dados deve poder incluir o padrão correspondente ao flag <01111110>
  - **Q: se for recebido o padrão <01111110>, é dado ou flag?**
- ✓ **Transmissor:** acrescenta ("stuffs") um byte extra com o padrão <01111101> (escape) antes de cada byte com o padrão de flag <01111110> nos *dados*
- ✓ **Receptor:**
  - **um byte 01111101 seguido de 01111110: descarta o primeiro e continua a recepção de dados**
  - **único byte 01111110: então é um flag**

34

## Byte Stuffing

Redes de Computadores



35

## PPP

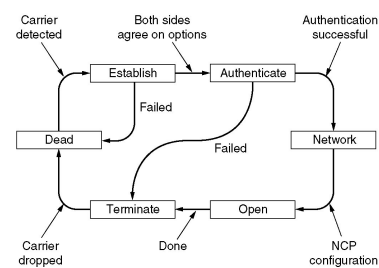
Redes de Computadores

- ✓ **Antes de trocar dados da camada de rede, os parceiros da camada de enlace devem**
  - **configurar o enlace PPP (tamanho máximo do quadro, autenticação)**
    - Protocolo LCP – Link Control Protocol
      - Encapsulado no PPP – tipo do protocolo C021
  - **aprender/configurar as informações da camada de rede**
    - configuração dinâmica de endereço
    - Protocolo NCP – Network Control Protocol – específico para cada protocolo de rede
      - Ex.: IPCP para o protocolo IP (tipo = 8021)

36

## Controle do Enlace PPP

Redes de Computadores



37

## Tipos de Pacotes - Protocolo LCP

*Redes de Computadores*

Nome	Sentido	Descrição
Configure-request	T => R	Lista de opções e valores propostos
Configure-ack	T <= R	Todas opções aceitas
Configure-nack	T <= R	Algumas opções não aceitas
Configure-reject	T <= R	Algumas opções não negociáveis
Terminate-request	T => R	Solicitação de término do enlace
Terminate-ack	T <= R	Confirmação de término
Code-reject	T <= R	Solicitação não reconhecida
Protocol-reject	T <= R	Protocolo não reconhecido
Echo-request	T => R	Por favor envie esse quadro de volta
Echo-reply	T <= R	Aqui está o quadro de volta
Discard-request	T => R	Descarte esse quadro (teste)