

# Redes de Computadores

## Controle de erro

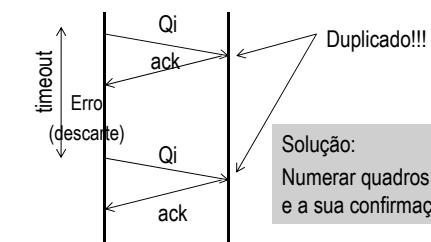
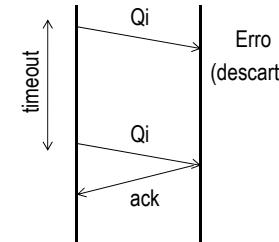
### Aula 08

## Controle de erros

- ❑ É o processo de garantir a entrega confiável dos dados, isto é, sem erros, sem duplicação e entregues na ordem da emissão
  - Fundamental para entrega confiável (serviços orientados a conexão)
- ❑ Técnicas usuais:
  - Envio de confirmação ao transmissor por parte do receptor:
    - Positiva: quadro foi recebido corretamente
    - Negativa: um quadro não foi recebido corretamente
  - Em caso de confirmação negativa retransmite o quadro
  - Reenvio automático de um quadro de dados após um tempo pré-determinado (*time-out*) caso não seja recebido uma confirmação (positiva ou negativa)
- ❑ *Automatic Repeat reQuest (ARQ)*

## *Stop and Wait ARQ*

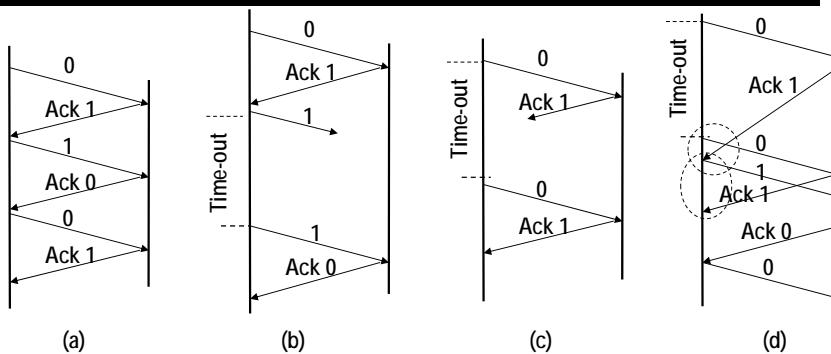
- ❑ Emissor envia um quadro / e espera confirmação do receptor
  - Se receptor detecta erros no quadro de dados → descarta quadro
    - Após *time-out*, o transmissor reenvia o quadro de dados
  - Se transmissor detecta erros no quadro de ACK → descarta quadro
    - Transmissor reenvia quadro de dados quando ocorrer *time-out*



## Protocolos *Automatic Repeat reQuest (ARQ)*

- ❑ *Stop and Wait - ARQ*
- ❑ *Go-Back n*
- ❑ *Selective Repeat (selective reject ou selective retransmission)*

## Esquema stop-and-wait



Vantagens e desvantagens:

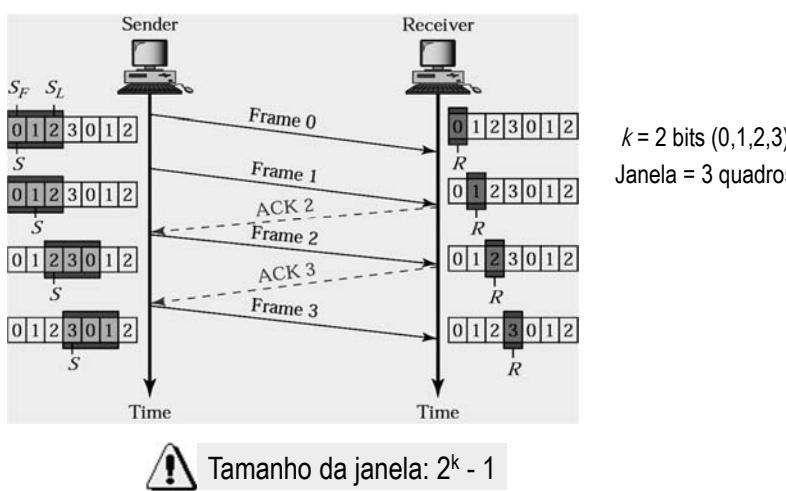
- Simples
- Ineficiente (afinal é um stop-and-wait !!!)

Janela  
deslizante

## Protocolo Go-back n

- Baseado no princípio de janela deslizante
  - Na ausência de erros faz confirmação positiva
    - Envia número do próximo quadro a ser recebido (ACK positivo → RR n ou RNR n)
  - Na presença de erros faz confirmação negativa
    - Descarta quadro de dados e sinaliza (ACK negativo → REJ n)
- Em caso de detecção de erro:
  - *Destino*: descarta o quadro com erro e todos os subsequentes até que o quadro com erro seja corretamente recebido
  - *Fonte*: reenvia o quadro c/ erro e todos os subsequentes que porventura já tenham sido enviados (*go back n*)
- Controle de fluxo é o tamanho da janela

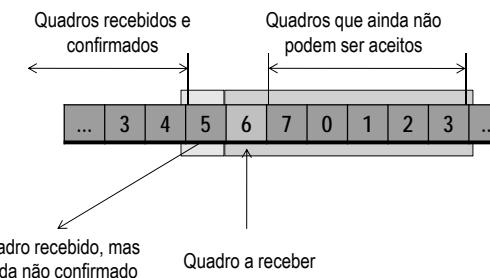
## Go-back n ARQ: princípio de funcionamento



## Janela para Go-back N ARQ: Receptor

Ex:

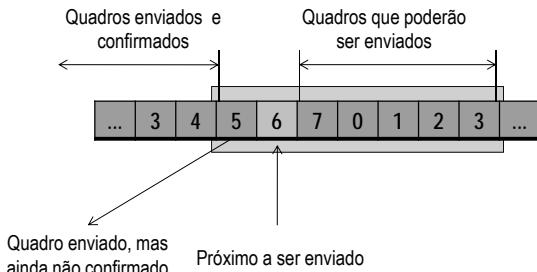
$k = 3$ , números de sequência de 0 a 7, janela máxima de 7



## Janela para Go-back N ARQ: Emissor

Ex:

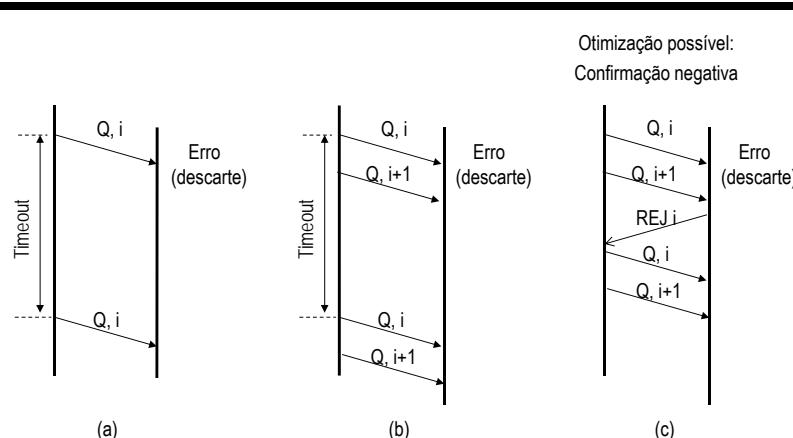
$k = 3$ , números de sequência de 0 a 7, janela máxima de 7



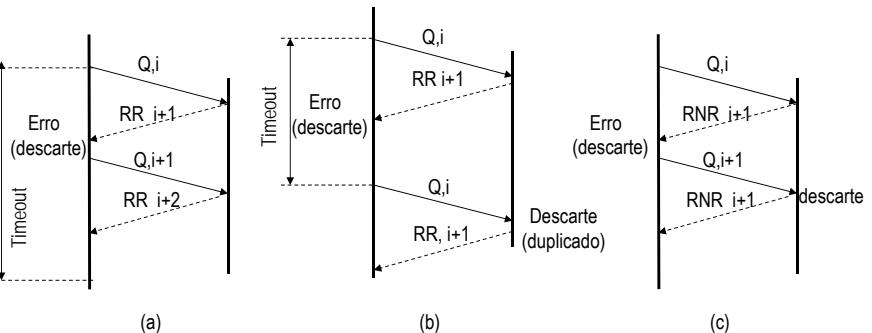
## Go-back n: erros possíveis

- Quadros podem ser perdidos ou “adulterados” (erro)
  - Resultado final é o mesmo, pois um quadro “adulterado” é descartado
- Três situações genéricas:
  - Erro/perda no quadro de dados
  - Erro/perda no quadro de confirmação positiva (RR n ou RNR n)
  - Erro/perda no quadro de confirmação negativa (REJ n)
- Recuperação do erro/perda baseada:
  - Na retransmissão apropriada de quadros
    - Estouro de *timeout* OU via solicitação explícita
  - Efeito acumulativo do RR n ou RNR n

## Go-back n: Erro em quadro de dados

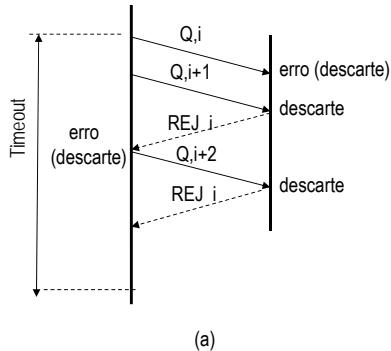


## Go-back n: Erro em quadro de controle (RR ou RNR)

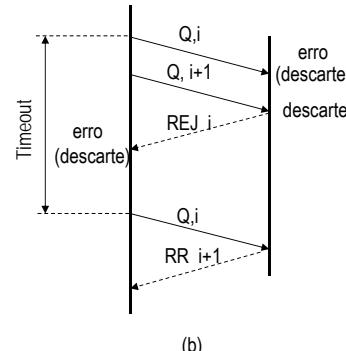


Com quadro RNR o comportamento é idêntico.

## Go-back n: erro em quadro de controle (REJ)



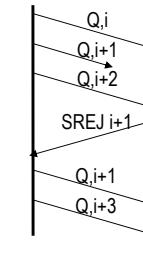
(a)



(b)

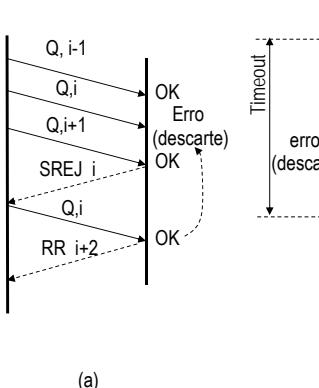
## Protocolo Selective Repeat ARQ

- Descarta (rejeita) apenas os quadros com erro
  - Literatura também se encontra o termo *selective reject*
- Quadros corretos subsequentes a um quadro com erro (ou perdido) são aceitos
  - Necessário bufferizar quadros no receptor
- Minimiza retransmissões porém exige um controle mais complexo

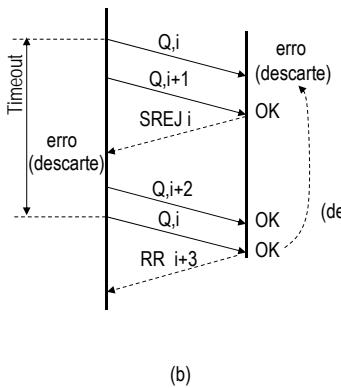


Para o selective repeat o tamanho da janela é  $2^{k-1}$

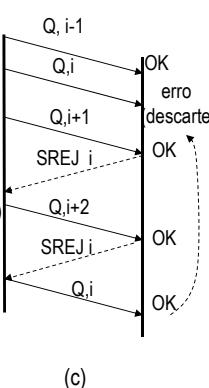
## Selective repeat: erro em quadro de dados e controle



(a)



(b)

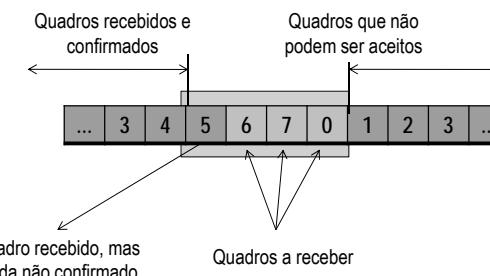


(c)

## Janela para Selective repeat ARQ: receptor

Ex:

$k = 3$ , números de sequência de 0 a 7, janela máxima de 4



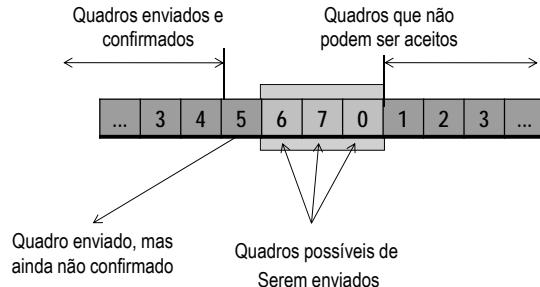
Quadro recebido, mas ainda não confirmado

Quadros a receber

## Janela para Selective repeat ARQ: emissor

Ex:

$k = 3$ , números de sequência de 0 a 7, janela máxima de 4



Redes de Computadores

17

## Problema: tamanho da janela

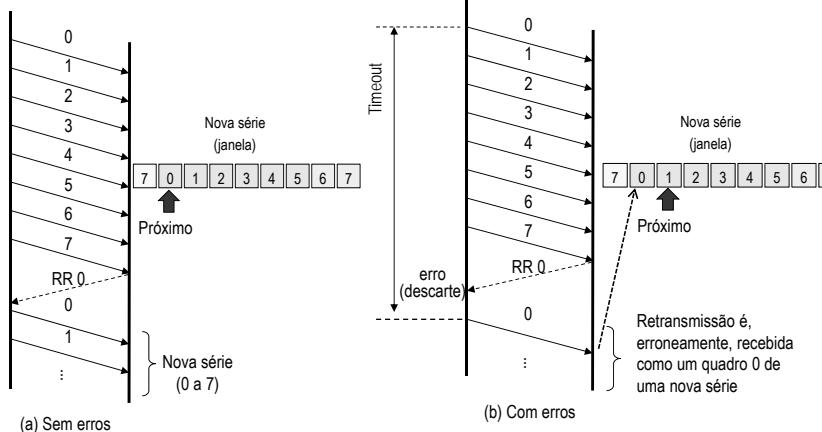
- Quadros são numerados em módulo  $m$ 
  - Consequência direta: repetição cíclica da sequência de numeração
- Questão: como diferenciar um quadro / novo de uma retransmissão de um quadro / antigo?
  - Estratégia: evitar que uma sequência nova sobreponha a numeração de uma antiga limitando o tamanho da janela
  - Go back n: receptor espera um quadro
  - Selective repeat: receptor espera um conjunto de quadros

Instituto de Informática - UFRGS  
A. Caiximini - 24-mars-18

Redes de Computadores

18

## Problema do tamanho da janela

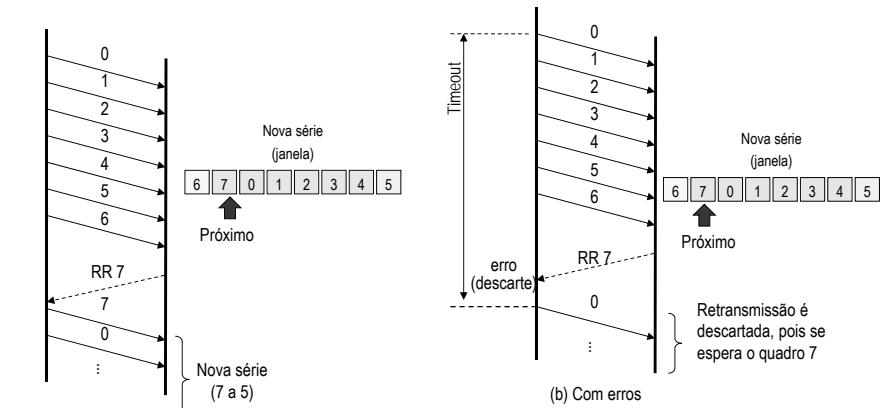


Redes de Computadores

19

## Go back n: tamanho da janela $2^n-1$

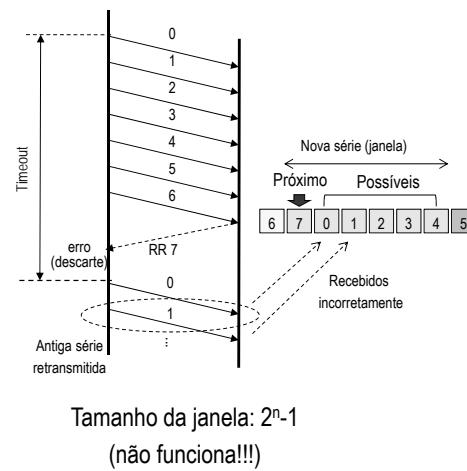
Instituto de Informática - UFRGS  
A. Caiximini - 24-mars-18



Redes de Computadores

20

## Selective repeat: tamanho da janela $2^{(n-1)}$



## Análise de desempenho (probabilidade $P$ erros)

□ Stop-and-wait  $U = \frac{1-P}{(2a+1)}$

$$a = \frac{t_{prop}}{t_{quadro}}$$

□ Go back N

$$\text{eficiência} \begin{cases} \frac{1-P}{(1+2aP)} & \text{para } W \geq 2a+1 \\ \frac{W(1-P)}{(2a+1)(1-P+WP)} & \text{para } W < 2a+1 \end{cases}$$

□ Selective Repeat

$$\text{eficiência} \begin{cases} 1 & \text{para } W \geq 2a+1 \\ \frac{W(1-P)}{(2a+1)} & \text{para } W < 2a+1 \end{cases}$$

## Leituras complementares

- Stallings, W. *Data and Computer Communications* (6<sup>th</sup> edition), Prentice Hall 1999.
  - Capítulo 7, seção 7.1 e 7.3
- Tanenbaum, A. *Redes de Computadores* (4<sup>a</sup> edição), Editora Campus, 2003.
  - Capítulo 3, seções 3.3 e 3.4