

Redes de Computadores

Controle de erro

Aula 08

Controle de erros

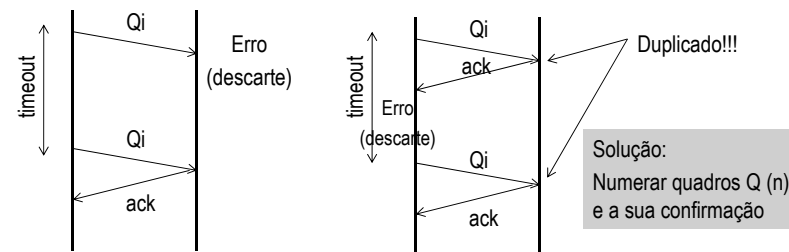
- ❑ É o processo de garantir a entrega confiável dos dados, isto é, sem erros, sem duplicação e entregues na ordem da emissão
 - Fundamental para entrega confiável (serviços orientados a conexão)
- ❑ Técnicas usuais:
 - Envio de confirmação ao transmissor por parte do receptor:
 - Positiva: quadro foi 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)

Protocolos *Automatic Repeat reQuest* (ARQ)

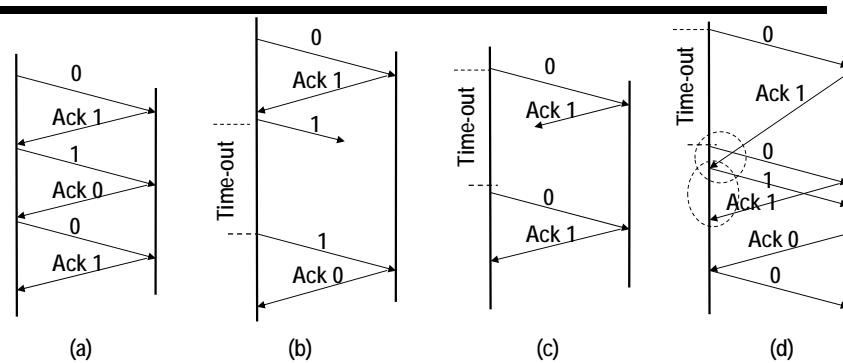
- ❑ *Stop and Wait - ARQ*
- ❑ *Go-Back n*
- ❑ *Selective Repeat (selective reject ou selective retransmission)*

Stop and Wait ARQ

- ❑ Emissor envia um quadro *i* 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*



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

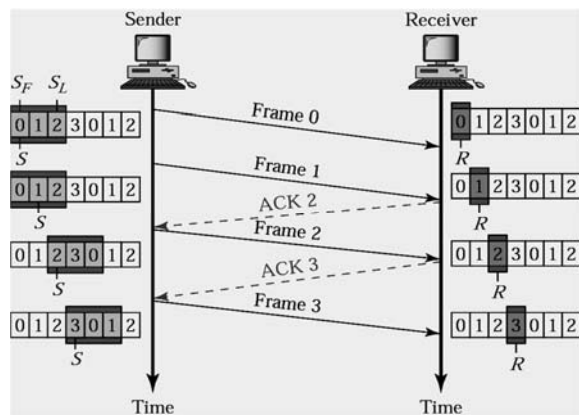
- Na ausência de erros faz confirmação positiva
 - Envia número do próximo quadro a ser recebido (ACK positivo → RR n ou RNR n)
- Na presença de erros faz confirmação negativa
 - Descarta quadro de dados e sinaliza (ACK negativo → REJ n)

❑ 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



$k = 2$ bits (0,1,2,3)
Janela = 3 quadros



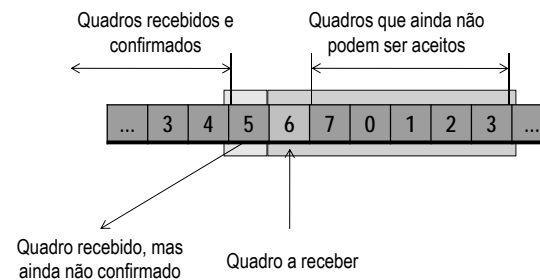
Tamanho da janela: $2^k - 1$

(o por quê veremos na sequência...)

Janela para Go-back N ARQ: Receptor

Ex:

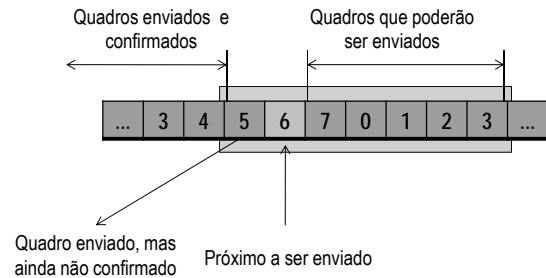
$k = 3$, números de sequência de 0 a 7, janela máxima de 7



Janela para Go-back N ARQ: Emissor

Ex:

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

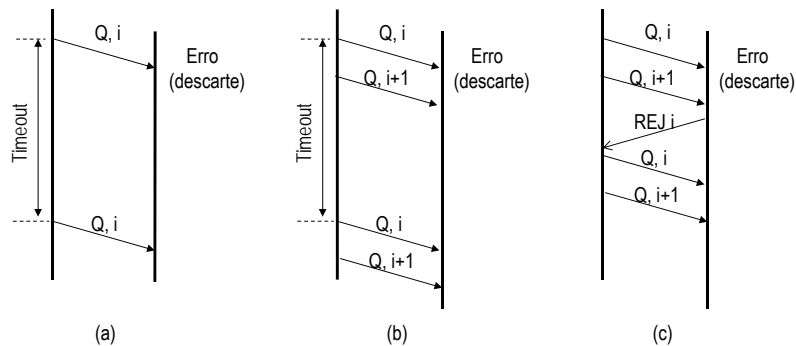


Go-back n: erros possíveis

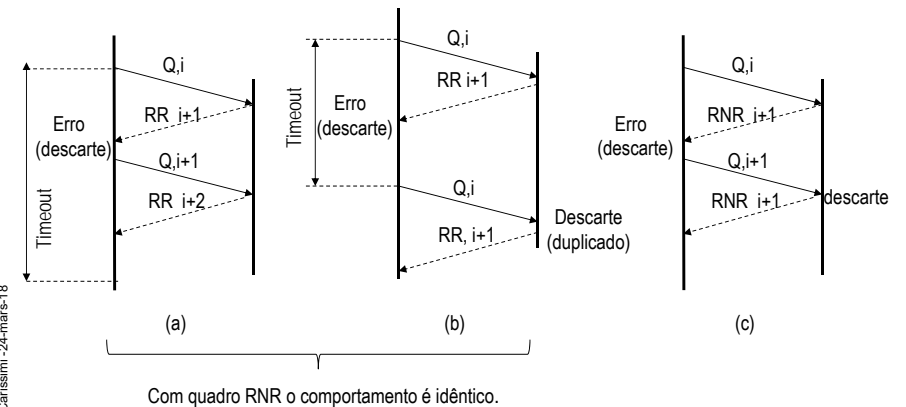
- ❑ Quadros podem ser perdidos ou “adulterados” (erro)
 - Resultado final é o mesmo, pois um quadro “adulterado” é descartado
- ❑ Três situações genéricas:
 - Erro/perda no quadro de dados
 - Erro/perda no quadro de confirmação positiva (RR n ou RNR n)
 - Erro/perda no quadro de confirmação negativa (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

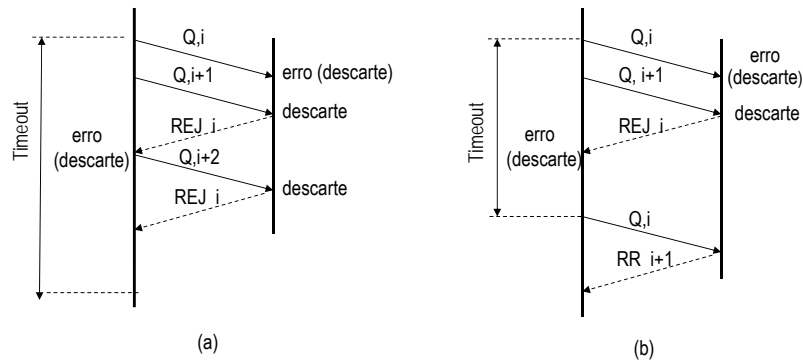
Otimização possível:
Confirmação negativa



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



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



13

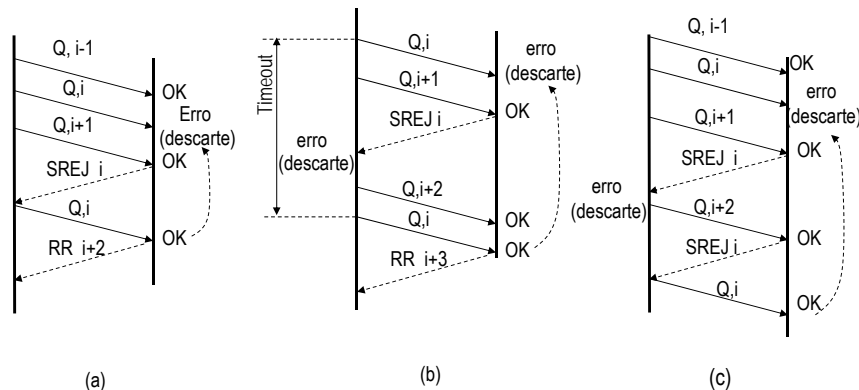
Protocolo *Selective Repeat* ARQ

- ❑ 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



14

Selective repeat: erro em quadro de dados e controle

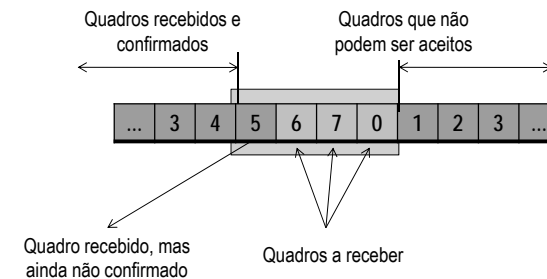


15

Janela para *Selective repeat* ARQ: receptor

Ex:

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



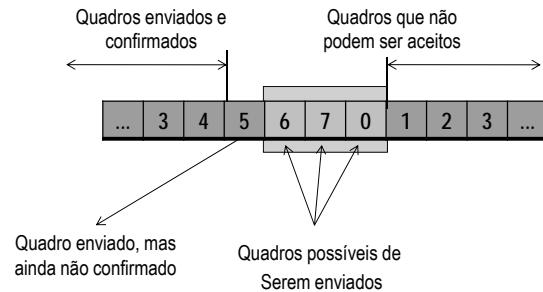
Redes de Computadores

16

Janela para Selective repeat ARQ: emissor

Ex:

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



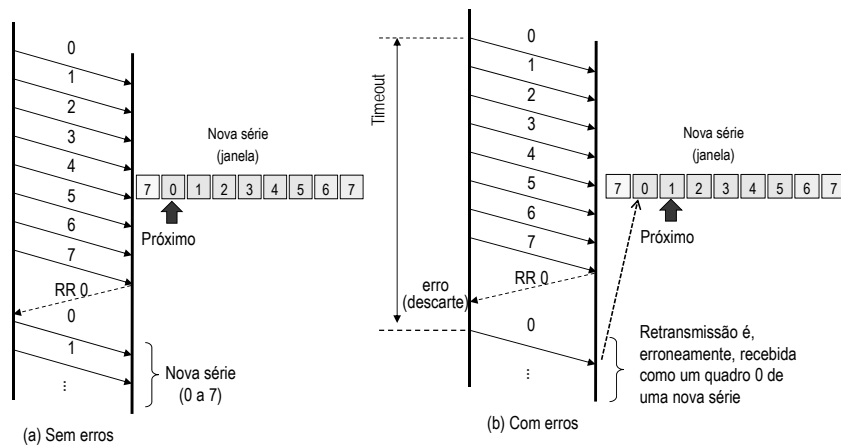
17

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

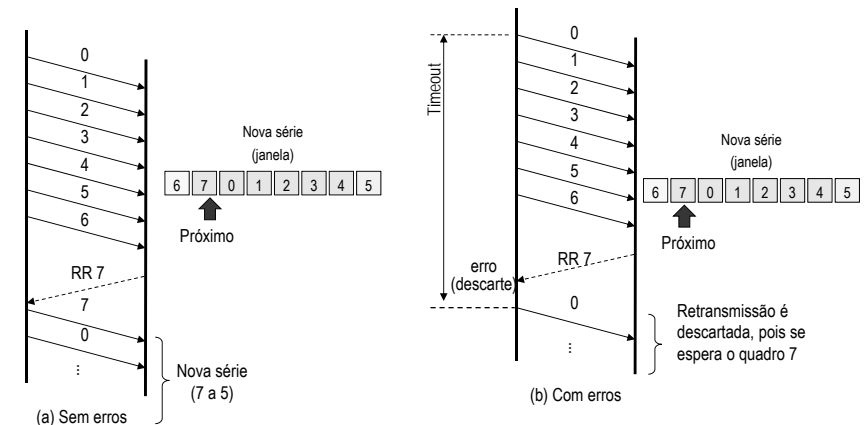
18

Problema do tamanho da janela



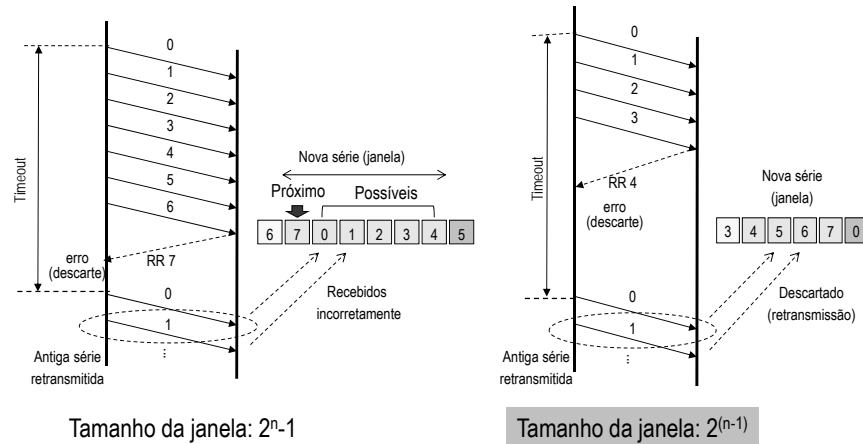
19

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



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*

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*

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* (6th edition), Prentice Hall 1999.
 - Capítulo 7, seção 7.1 e 7.3
- Tanenbaum, A. *Redes de Computadores* (4^a edição), Editora Campus, 2003.
 - Capítulo 3, seções 3.3 e 3.4