PTC 3360

2.2 Camada de transporte: princípios da transferência confiável de dados – Parte II

(Kurose, Seção 3.4)

Agosto 2025

Capítulo 2 - Conteúdo

2.1 A camada de aplicação

2.2 A camada de transporte: princípios da transferência confiável de dados

2.3 A camada de rede

rdt3.0: Canais com erros e perdas de pacotes

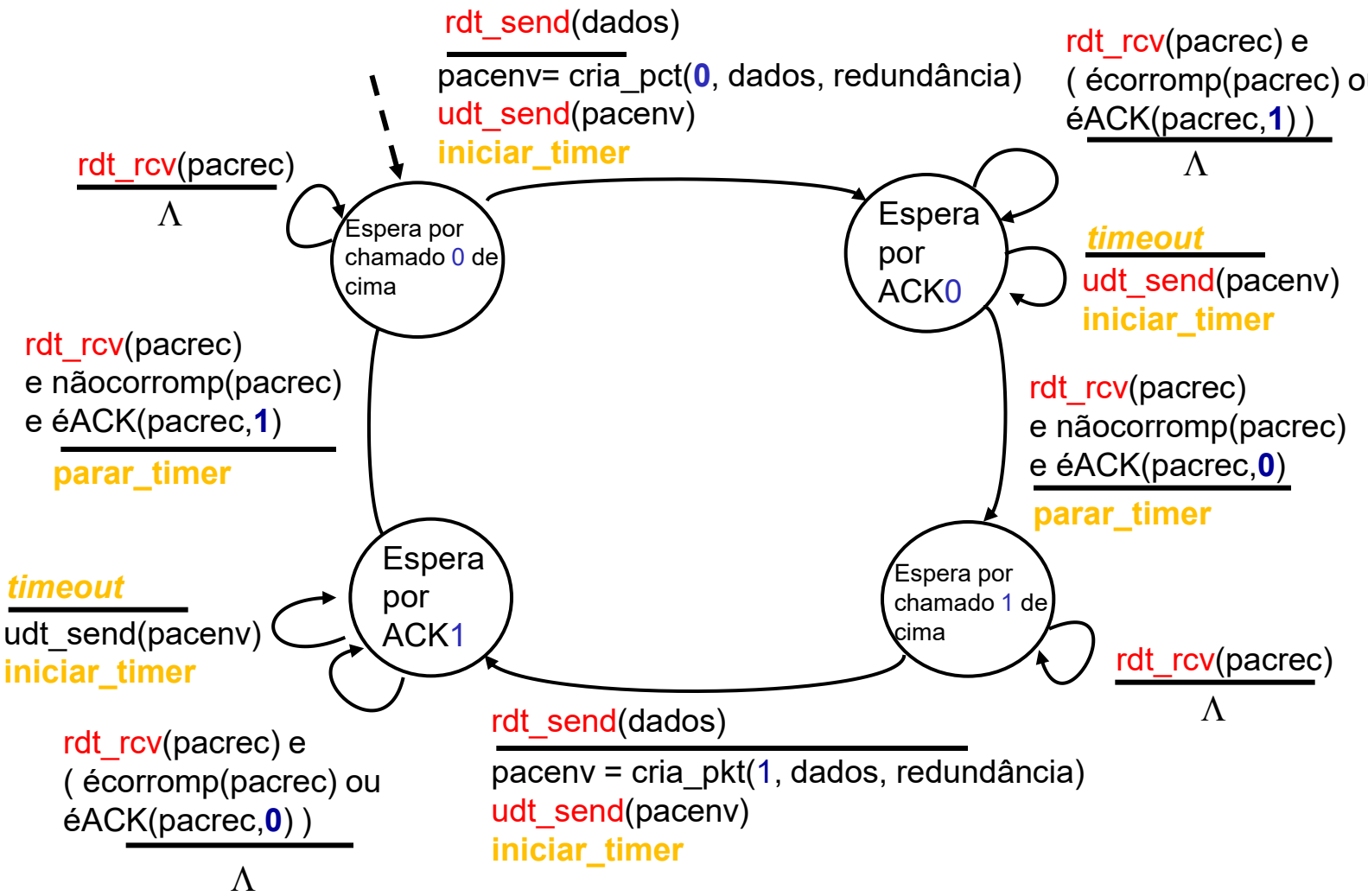
Nova hipótese: canal também pode perder pacotes (dados, ACKs)

- *Redundância*, `#seq`, ACKs, retransmissões ajudarão… mas não são suficientes.

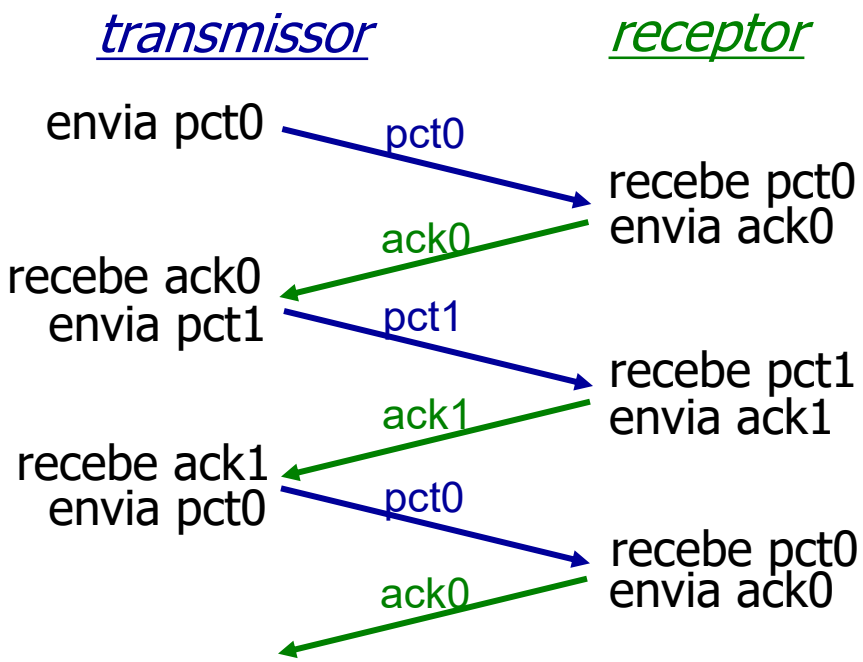
Abordagem: transmissor espera tempo "razoável" por ACK

- Retransmite se ACK não é recebido nesse tempo
- Se pacote (ou ACK) apenas atrasado (não perdido):
  - retransmissão será duplicada, mas `#seq` já lida com isso
  - destinatário precisa especificar `#seq` de pacote no ACK
- Requer *temporizador* de contagem regressiva

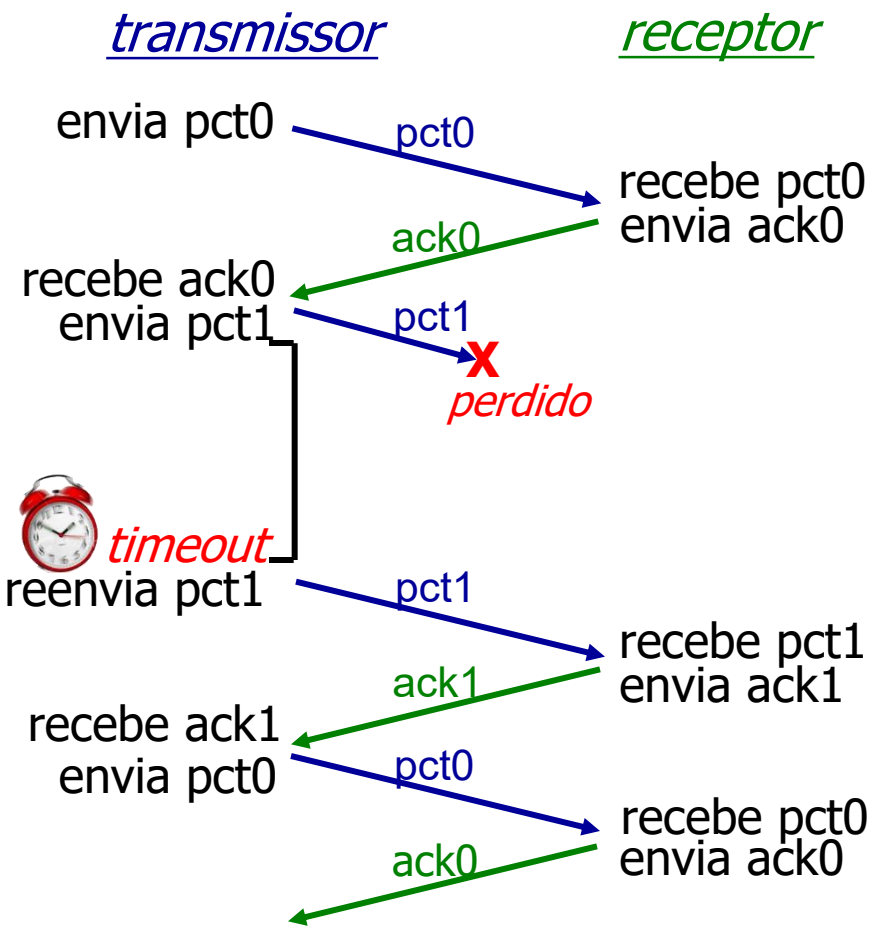
rdt3.0: Máquina do Transmissor (Receptor é Exercício)



rdt3.0 em ação (*protocolo bit alternante*)

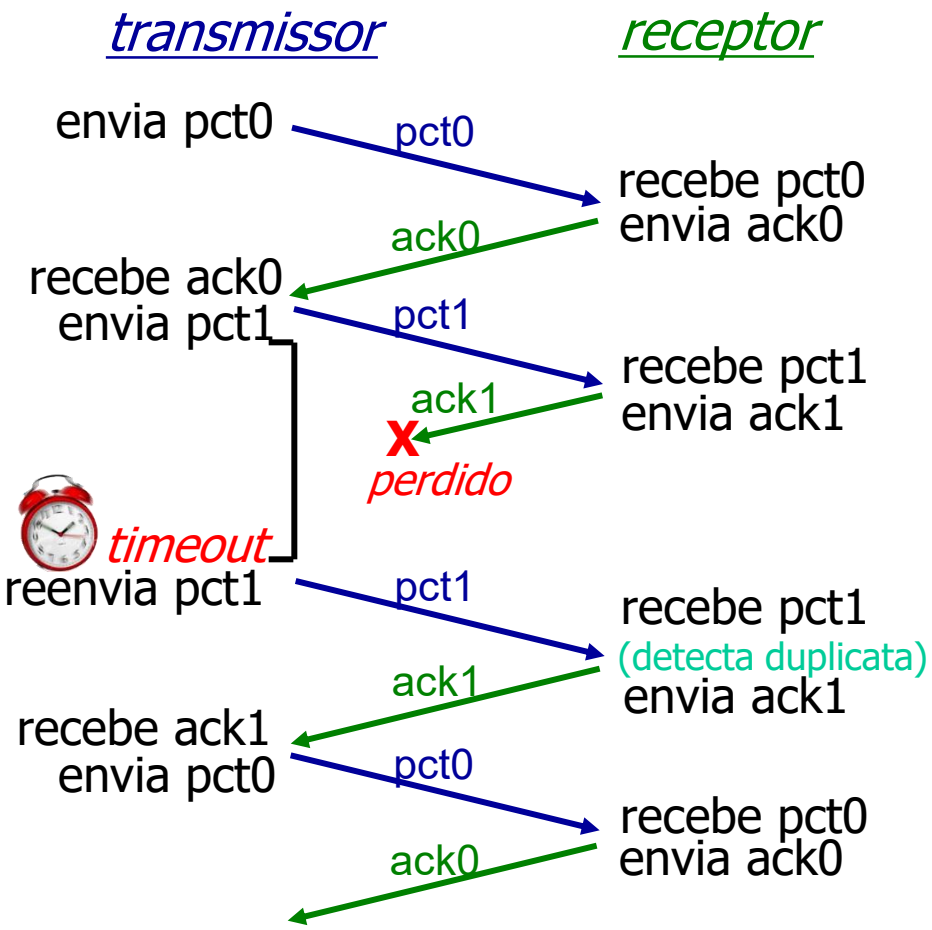


(a) sem perda

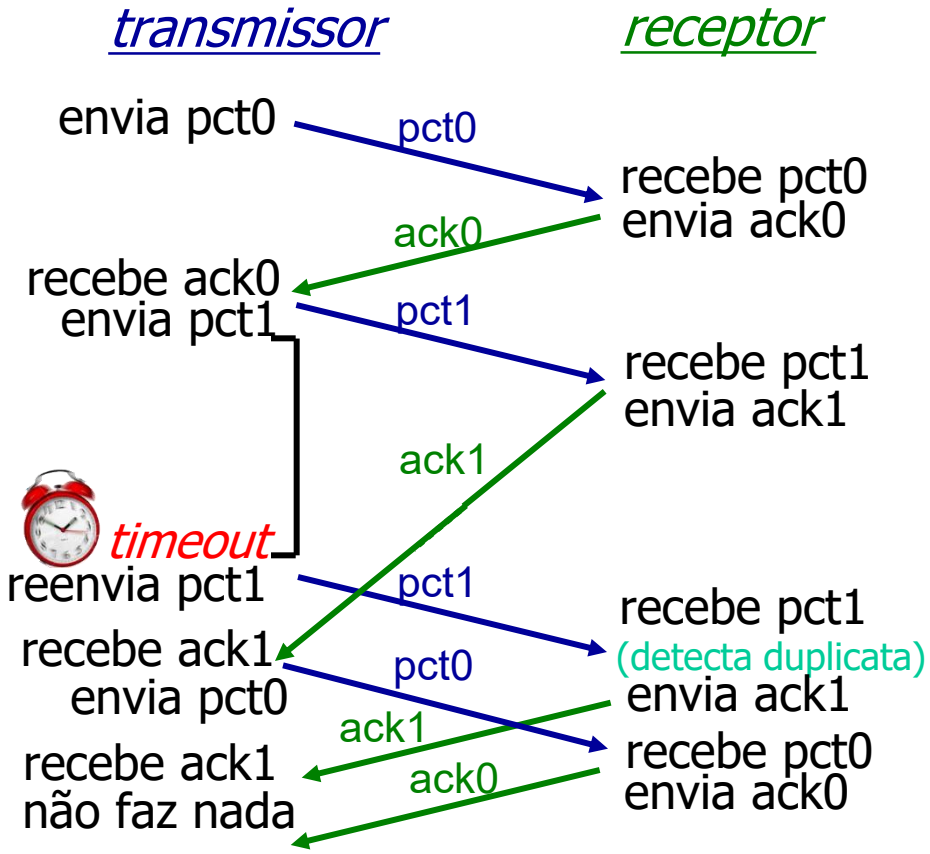


(b) perda de pacote

rdt3.0 em ação



(c) perda de ACK



(d) *timeout* prematuro/ ACK atrasado

Desempenho do rdt 3.0

- rdt 3.0 está correto, mas desempenho sofrível!
- *Exemplo: Enlace de 1 Gbit/s, RTT 30 ms, pacote de 8 000 bits*
- Atraso de Transmissão:

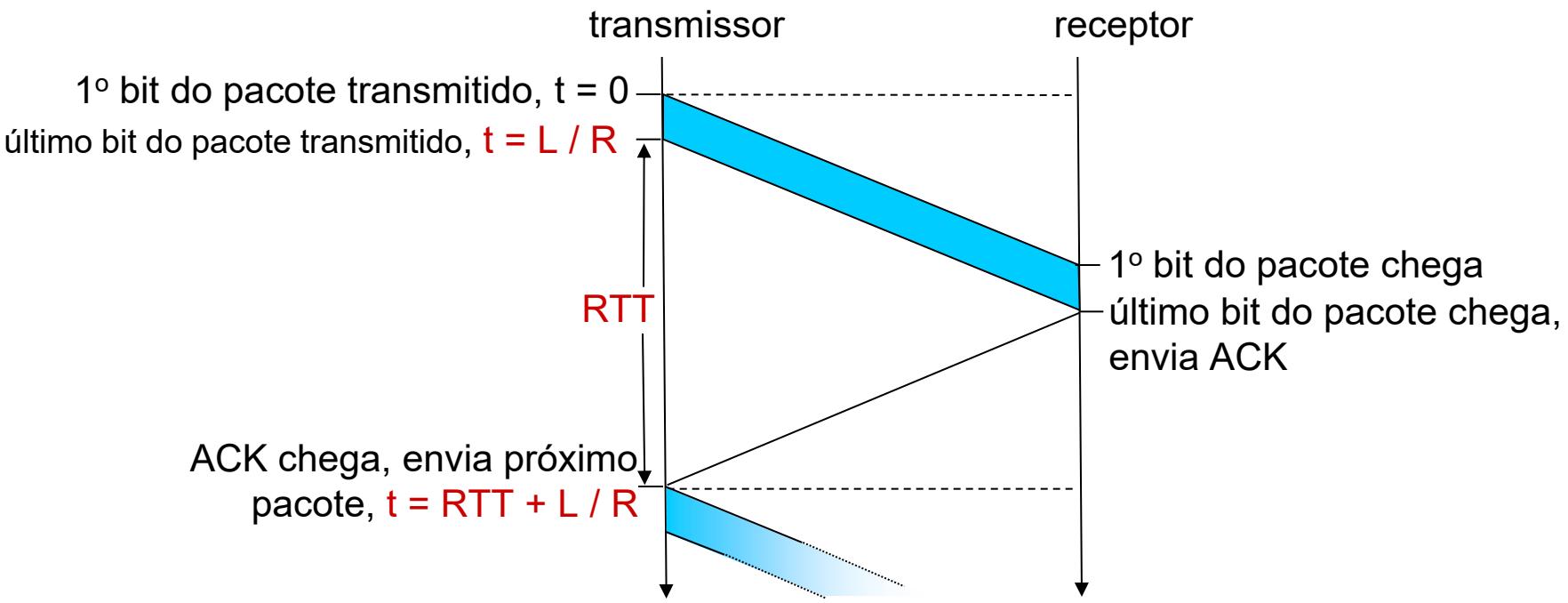
$$d_{\text{trans}} = \frac{L}{R} = \frac{8000 \text{ bits}}{10^9 \text{ bits}/s} = 8\mu s$$

- U_{trans}: *utilização* – fração do tempo em que transmissor está ocupado enviando

$$U_{\text{trans}} = \frac{\frac{L}{R}}{RTT + \frac{L}{R}} = \frac{0{,}008}{30{,}008} = 0{,}00027$$

- Vazão
  - Um pacote enviado a cada aproximadamente 30 ms: vazão de 267 kbits/s em um enlace de 1 Gbit/s (!!!)
- Protocolo de rede limita uso de recurso físico!
- Preço pago para ter RDT (muito caro?)

rdt3.0: operação *stop-and-wait*



$$U_{\text{transmissor}} = \frac{\frac{L}{R}}{RTT + \frac{L}{R}} = \frac{0,008}{30,008} = 0,00027$$

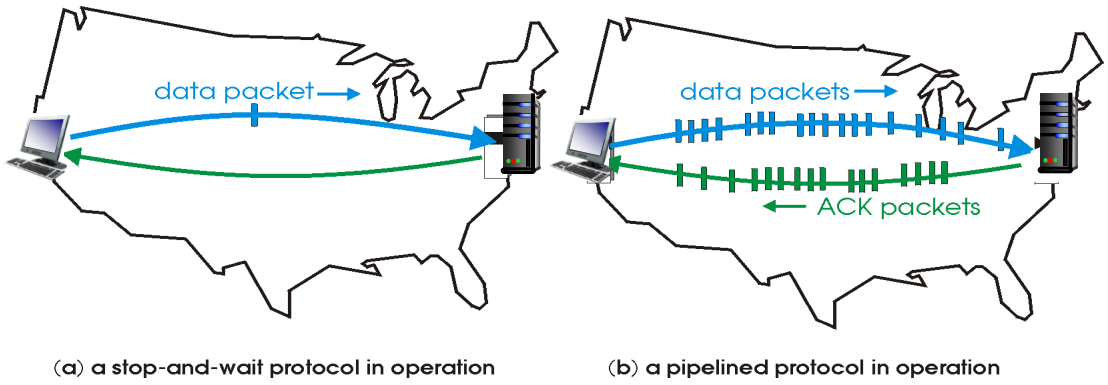
Exercícios interativos

- Exercício sobre o RDT 3.0 do livro do Kurose

Protocolos com paralelismo *(pipelining)*

Pipelining: transmissor permite múltiplos, pacotes "*in-flight*", ainda não reconhecidos (*acknowledged*)

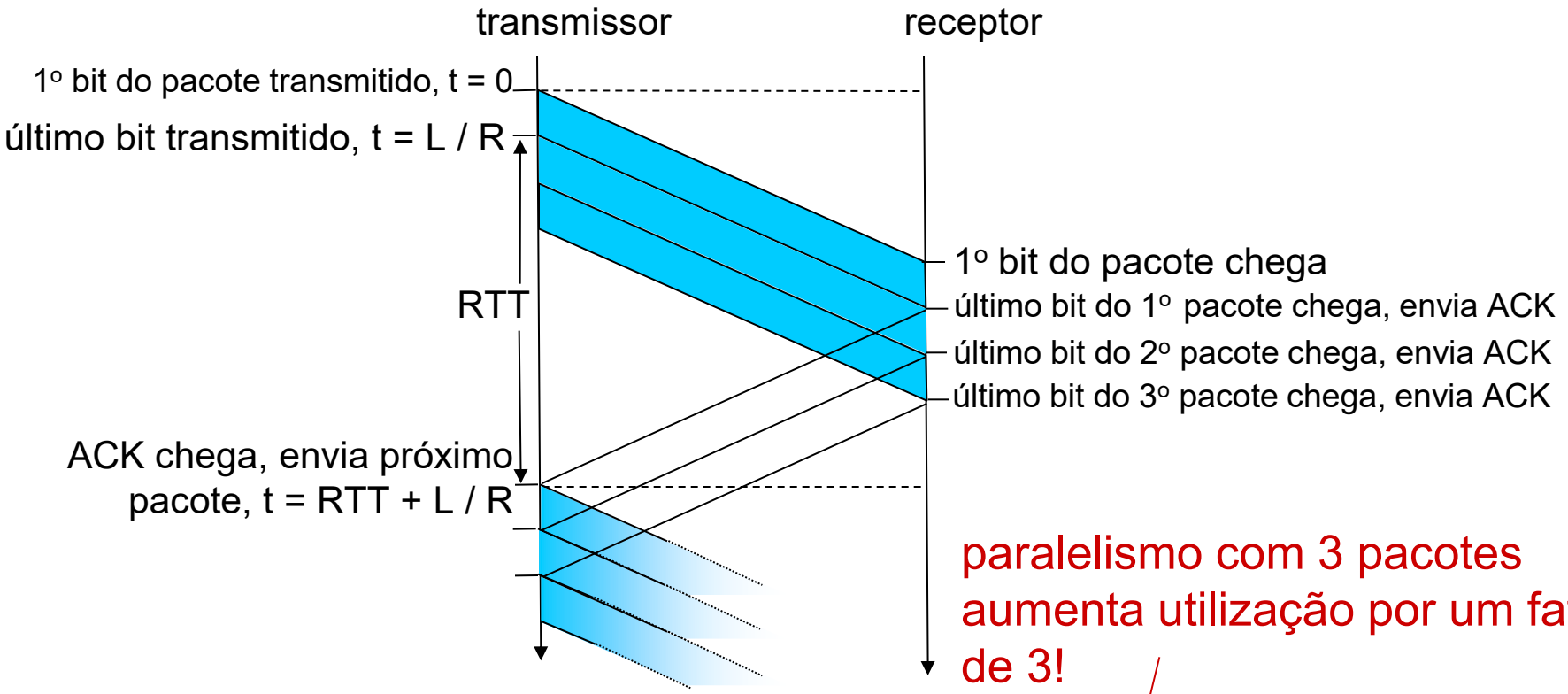
- intervalo dos números sequenciais precisa ser aumentada
- *buffers* no transmissor e/ou receptor



(a) a stop-and-wait protocol in operation (b) a pipelined protocol in operation

- 2 formas genéricas de protocolos com paralelismo: *go-Back-N, repetição seletiva*

Paralelismo: utilização aumentada



paralelismo com 3 pacotes aumenta utilização por um fator de 3!

Qual a utilização do remetente agora?

$$U_{\text{transmissor}} = \frac{3\frac{L}{R}}{RTT + \frac{L}{R}} = \frac{0,024}{30,008} = 0,00081$$

Técnicas básicas de paralelismo

Go-back-N (GBN):

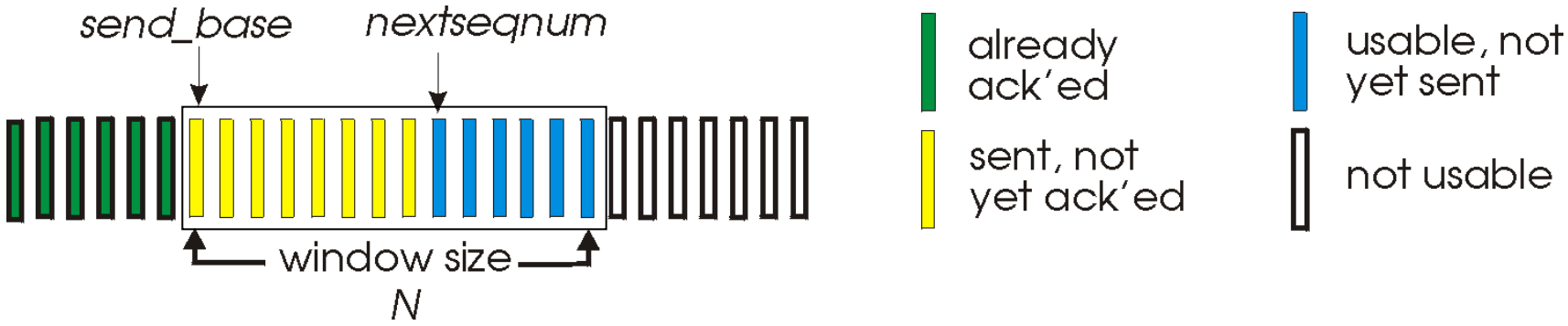
- Transmissor pode ter até *N* pacotes que ainda não retornaram ACKs
- Receptor envia *ACK acumulativo*
  - ACK *x* implica que todos os pacotes até *x* foram recebidos
- Transmissor tem apenas um temporizador associado ao pacote não reconhecido mais antigo
  - quando tempo expira, retransmite *todos* pacotes não reconhecidos

Repetição Seletiva (RS):

- Transmissor pode ter até *N* pacotes que ainda não retornaram ACKs
- Receptor envia *ACK individual* para cada pacote
- Transmissor mantém temporizador para cada pacote ainda não reconhecido
  - quando tempo expira, retransmite apenas aquele pacote associado com o temporizador expirado

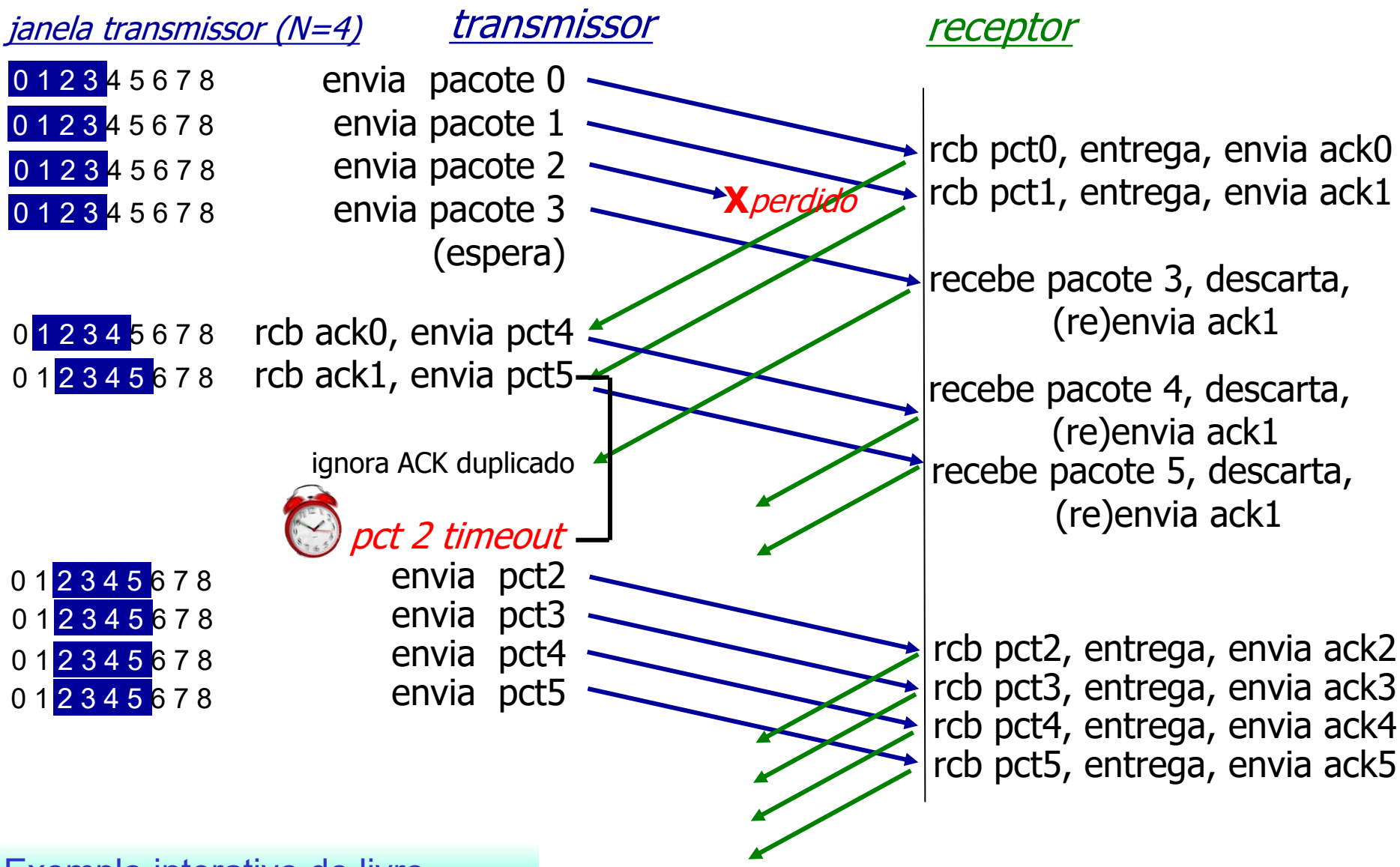
Go-Back-N: Transmissor

- número sequencial de *k*-bits no cabeçalho do pacote
- "janela" de até *N* pacotes consecutivos ainda não reconhecidos permitida



- ACK(*n*): quando recebido, reconhece recepção de todos os pacotes com número sequencial menor ou igual a *n* – *"ACK acumulativo"*
  - pode receber ACKs duplicados
  - temporizador para pacote não reconhecido mais antigo
- ***timeout***: retransmite todos os pacotes ainda não reconhecidos
- É um *protocolo de janela deslizante*

GBN em ação

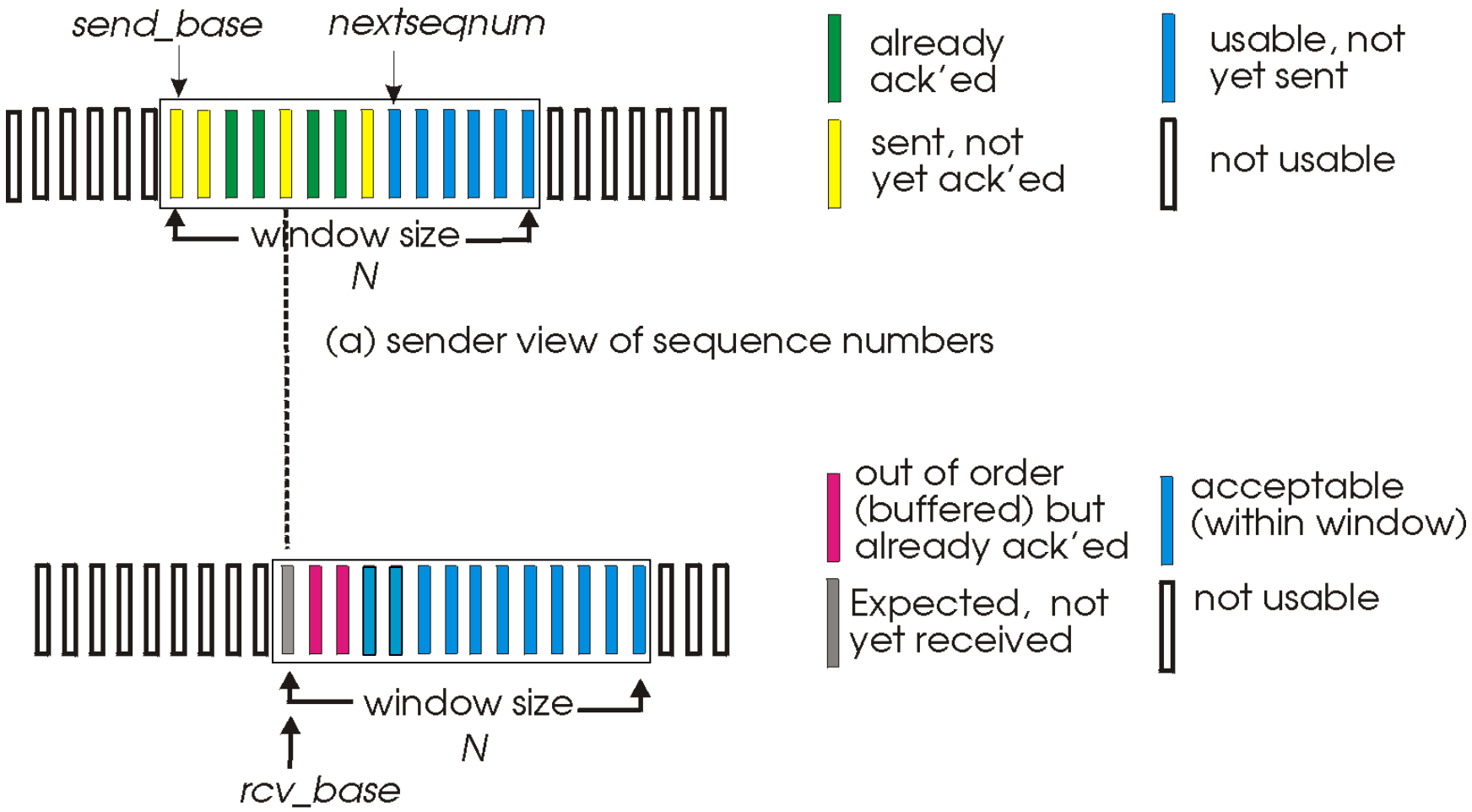


Exemplo interativo do livro

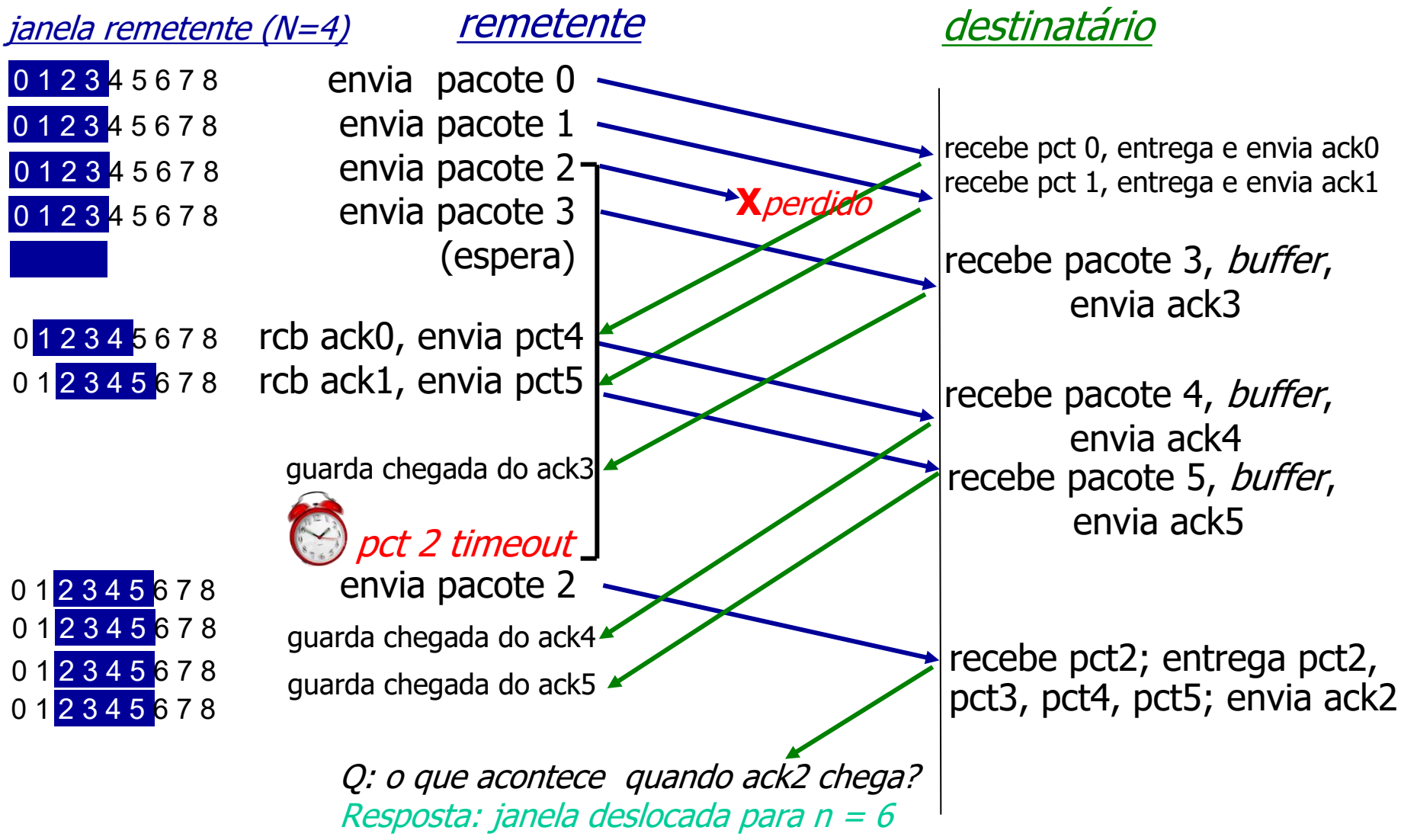
Repetição Seletiva

- Receptor reconhece *individualmente* cada pacote recebido corretamente
  - pacotes colocados em *buffer*, conforme necessário, para eventual entrega em ordem para camada superior
- Transmissor apenas reenvia pacotes para os quais ACK não foi recebido
  - temporizador para cada pacote não ACK
- Janela deslizante
  - janelas podem estar deslocadas entre remetente e destinatário
  - mais números sequenciais necessários

Repetição seletiva : janelas transmissor, receptor



Repetição seletiva em ação



Ver: https://media.pearsoncmg.com/aw/ecs_kurose_compnetwork_7/cw/content/interactiveanimations/selective-repeat-protocol/index.html

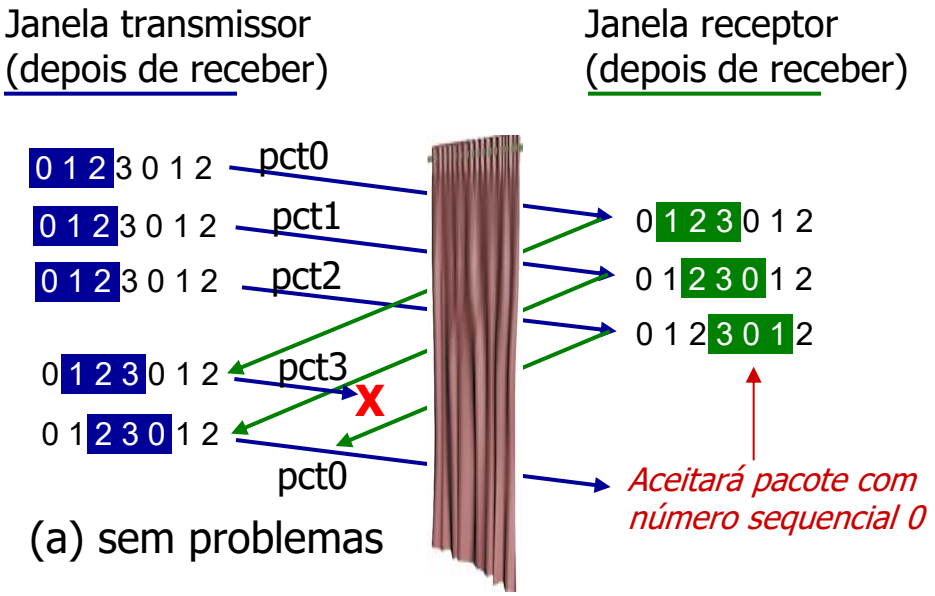
Repetição seletiva: dilema

Exemplo:

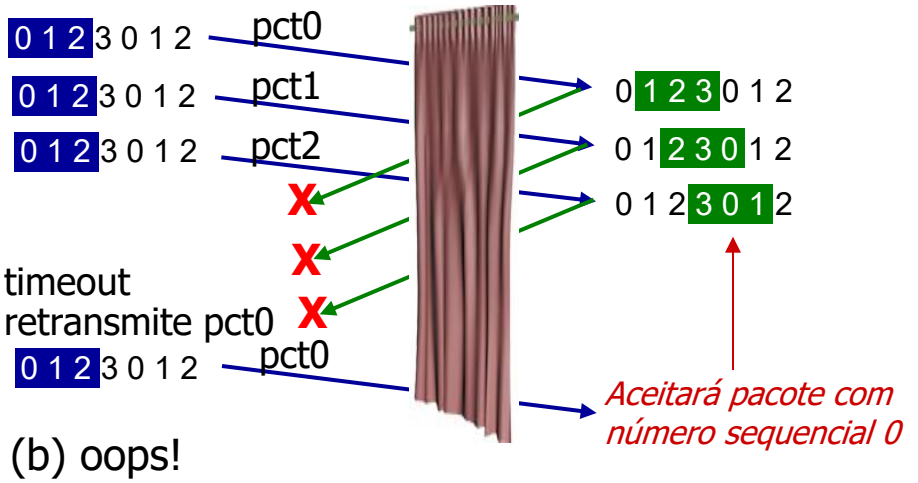
- *N*=3 e `#seq` : 0, 1, 2, 3
  - Receptor não vê diferença entre dois cenários!
  - Dados duplicados aceitos como novos em (b)

Q: Qual a relação entre números sequenciais e *N* para evitar problema em (b)?

Resposta: Escolher intervalo de comprimento *2N para* `#seq`



Receptor não consegue ver lado transmissor
Receptor se comporta de forma igual nos dois casos! Alguma coisa está (muito) errada!



Comparação: Vantanges do GBN e da Repetição Seletiva

- GBN
  - Menor complexidade – apenas um temporizador; não há necessidade de janelas no receptor ☺
  - Não são necessário *buffers* ☺
  - Muitas retransmissões desnecessárias ☹

- Repetição seletiva
  - Maior complexidade – um temporizador por pacote ☹
  - *Buffers* necessários para armazenar pacotes fora de ordem no receptor e ACKs no transmissor ☹
  - Menos retransmissões – apenas pacotes de fato necessários são retransmitidos (pacote ou ACK perdidos) ☺

- Qual é usado nos protocolos práticos em geral?

Resposta: São casos extremos de simplicidade e complexidade, respectivamente. Veremos que o TCP usa uma combinação deles...