



EACH

Escola de Artes, Ciências e Humanidades
da Universidade de São Paulo

ACH2026

Redes de Computadores

Capítulo 3 - Camada de Transporte

Profa. Dra. Cíntia B. Margi
Setembro/2009



EACH

Escola de Artes, Ciências e Humanidades
da Universidade de São Paulo

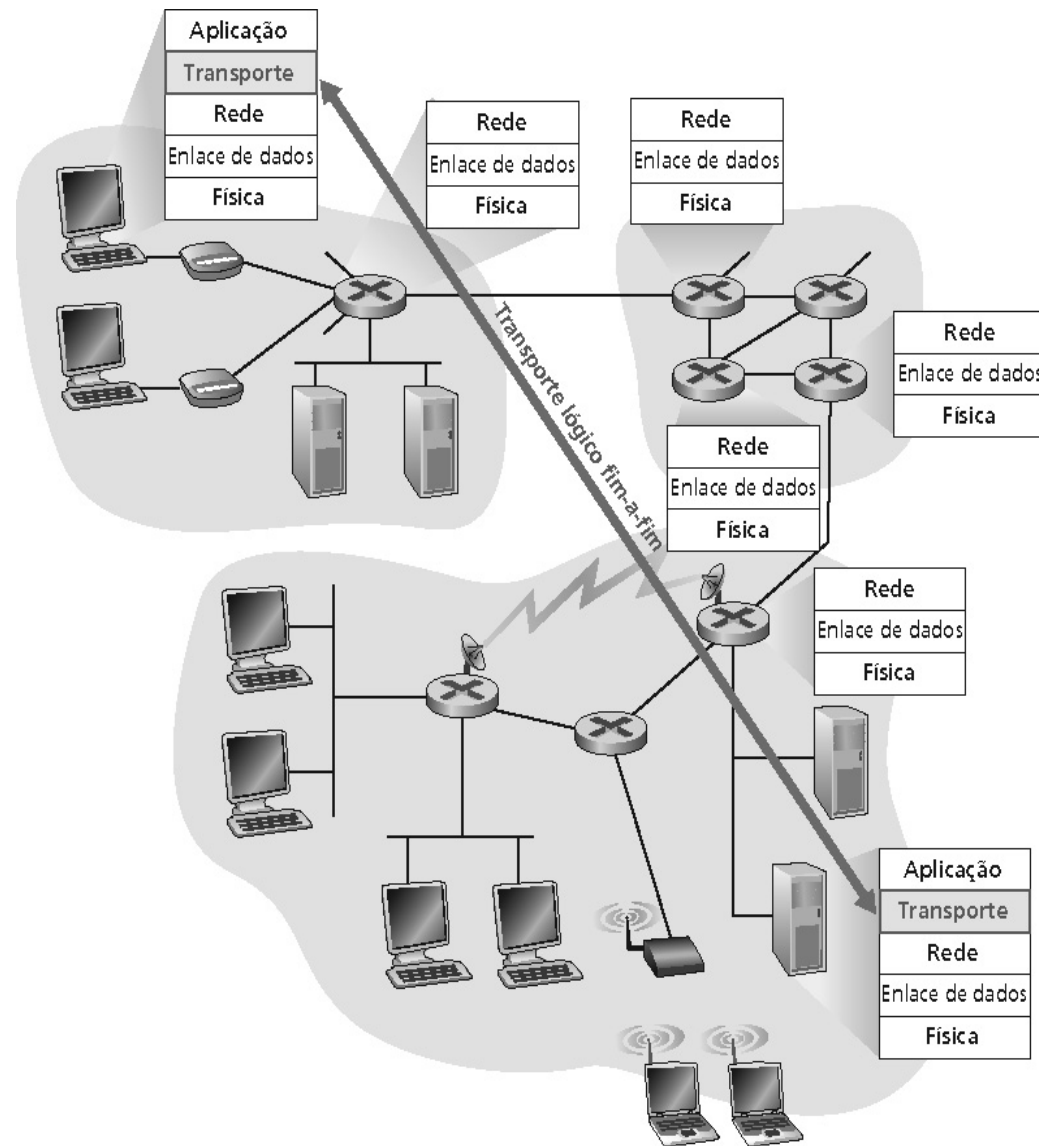
Serviços da Camada de Transporte



EACH

Escola de Artes, Ciências e Humanidades
da Universidade de São Paulo

Protocolos e Serviços de Transporte





Serviços de Transporte

∇ Fornecem **comunicação lógica** entre processos de aplicação em diferentes hospedeiros:

- protocolos de transporte são executados nos sistemas finais;
- Lado emissor: quebra as mensagens da aplicação em segmentos e envia para a camada de rede;
- Lado receptor: remonta os segmentos em mensagens e passa para a camada de aplicação.



Protocolos de Transporte

- ∇ Há mais de um protocolo de transporte disponível para as aplicações na Internet:
- TCP;
 - UDP.



Protocolos da Camada de Transporte

- TCP: confiável, garante ordem de entrega.
 - controle de congestionamento;
 - controle de fluxo;
 - orientado à conexão.
- UDP: não-confiável, sem ordem de entrega.
 - extensão do “melhor esforço” do IP.
- Serviços não disponíveis:
 - garantia a atrasos;
 - garantia de banda.



EACH

Escola de Artes, Ciências e Humanidades
da Universidade de São Paulo

Multiplexação / Demultiplexação



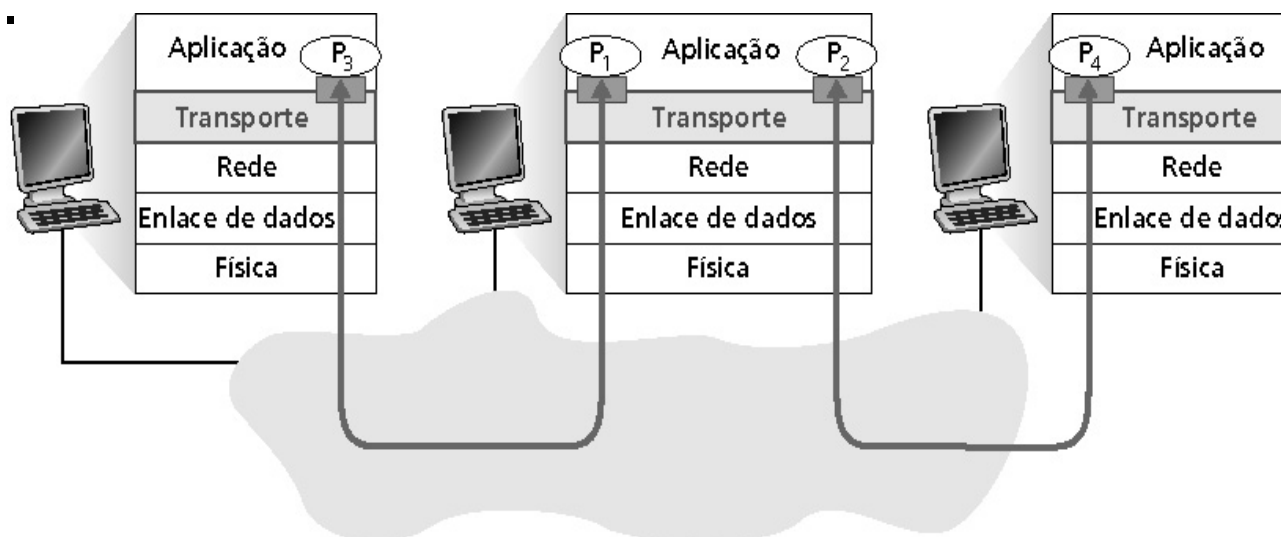
Multiplexação / Demultiplexação

Demultiplexação no receptor:

- entrega os segmentos recebidos ao socket correto.

Multiplexação no emissor:

- coleta dados de múltiplos sockets;
- envelope os dados com cabeçalho (usado depois para demultiplexação).



Legenda:

○ Processo ■ Socket



Como funciona a demultiplexação

- ∇ Computador recebe datagramas IP:
 - cada datagrama possui endereço IP de origem e IP de destino;
 - cada datagrama carrega 1 segmento da camada de transporte;
 - cada segmento possui números de porta de origem e destino.
- ∇ O hospedeiro usa endereços IP (32 bits) e números de porta (16 bits) para direcionar o segmento ao socket apropriado.



Demultiplexação não orientada à conexão

- ∇ Cria sockets com números de porta:

```
DatagramSocket mySocket1 = new  
    DatagramSocket(99111);
```



```
DatagramSocket mySocket2 = new  
    DatagramSocket(99222);
```
- ∇ Socket UDP identificado por dois valores:
 - endereço IP de destino,
 - número da porta de destino.



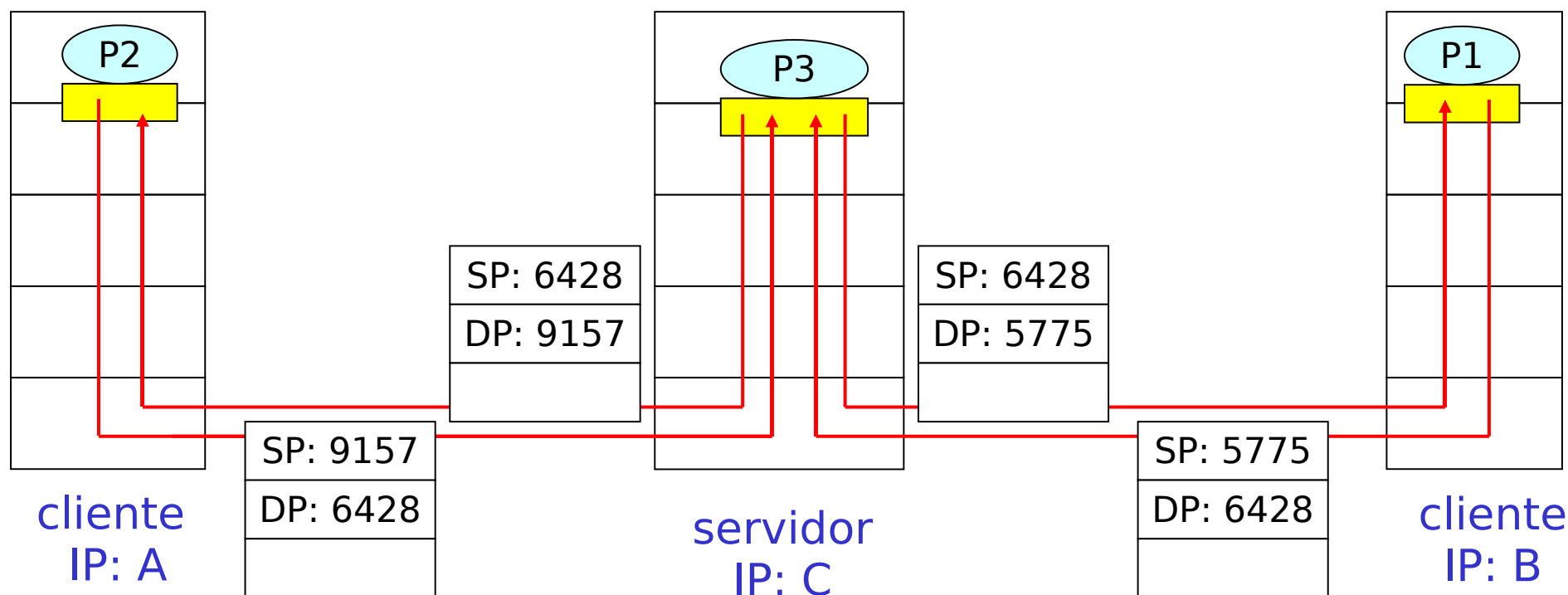
Demultiplexação não orientada à conexão (2)

- ∇ Quando o hospedeiro recebe o segmento UDP:
 - verifica o número da porta de destino no segmento;
 - direciona o segmento UDP para o socket com este número de porta.
- ∇ Datagramas com IP de origem diferentes e/ou portas de origem diferentes são direcionados para o mesmo socket.



Demultiplexação não orientada à conexão

```
DatagramSocket serverSocket = new DatagramSocket(6428);
```





Demultiplexação orientada à conexão

- ∇ TCP estabelece conexão.
- ∇ Conexão TCP (ou seja sockets servidor e cliente) identificada por 4 valores:
 - Endereço IP de origem
 - Porta de origem
 - Endereço IP de destino
 - Porta de destino
- ∇ Host receptor usa os quatro valores para direcionar o segmento ao socket apropriado.

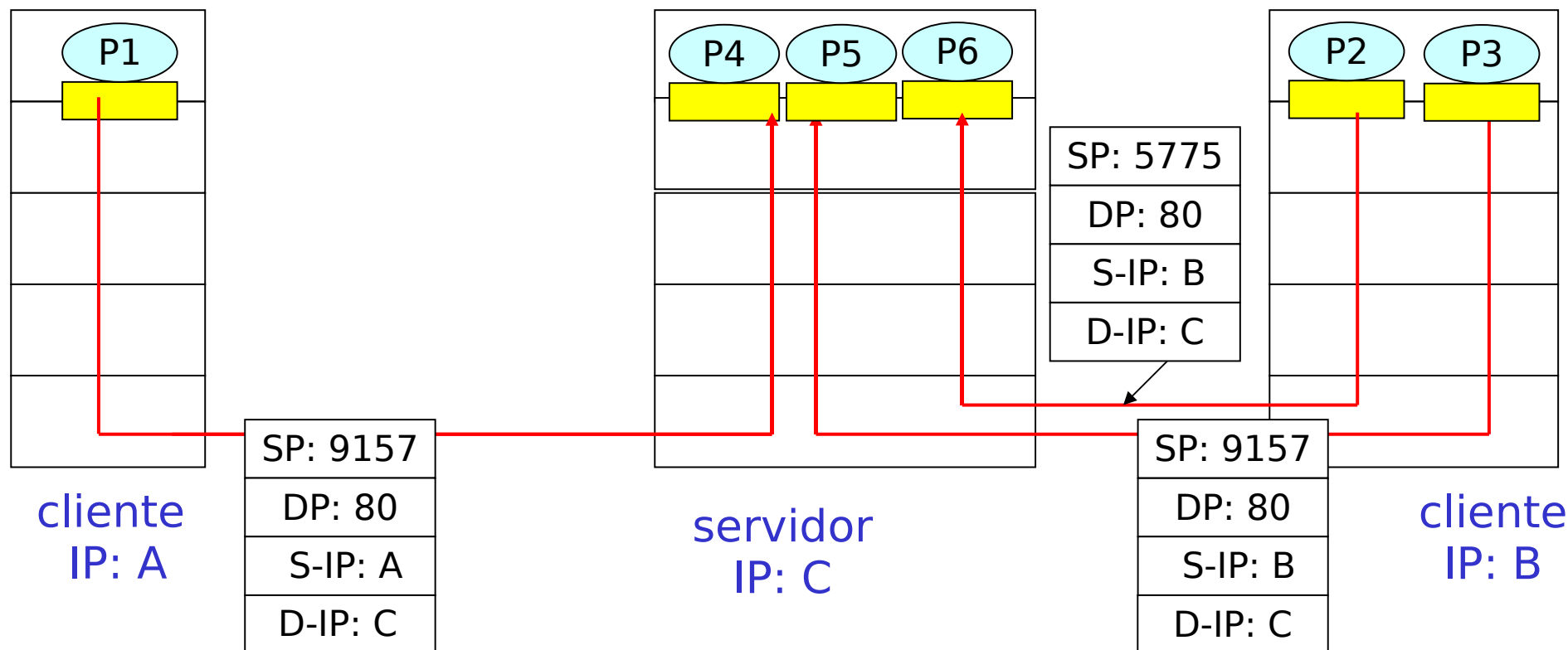


Demultiplexação orientada à conexão

- ∇ Host servidor pode suportar vários sockets TCP simultâneos:
- cada socket é identificado pelos seus próprios 4 valores;
 - servidores Web possuem sockets diferentes para cada cliente conectado;
 - HTTP não persistente terá um socket diferente para cada requisição.

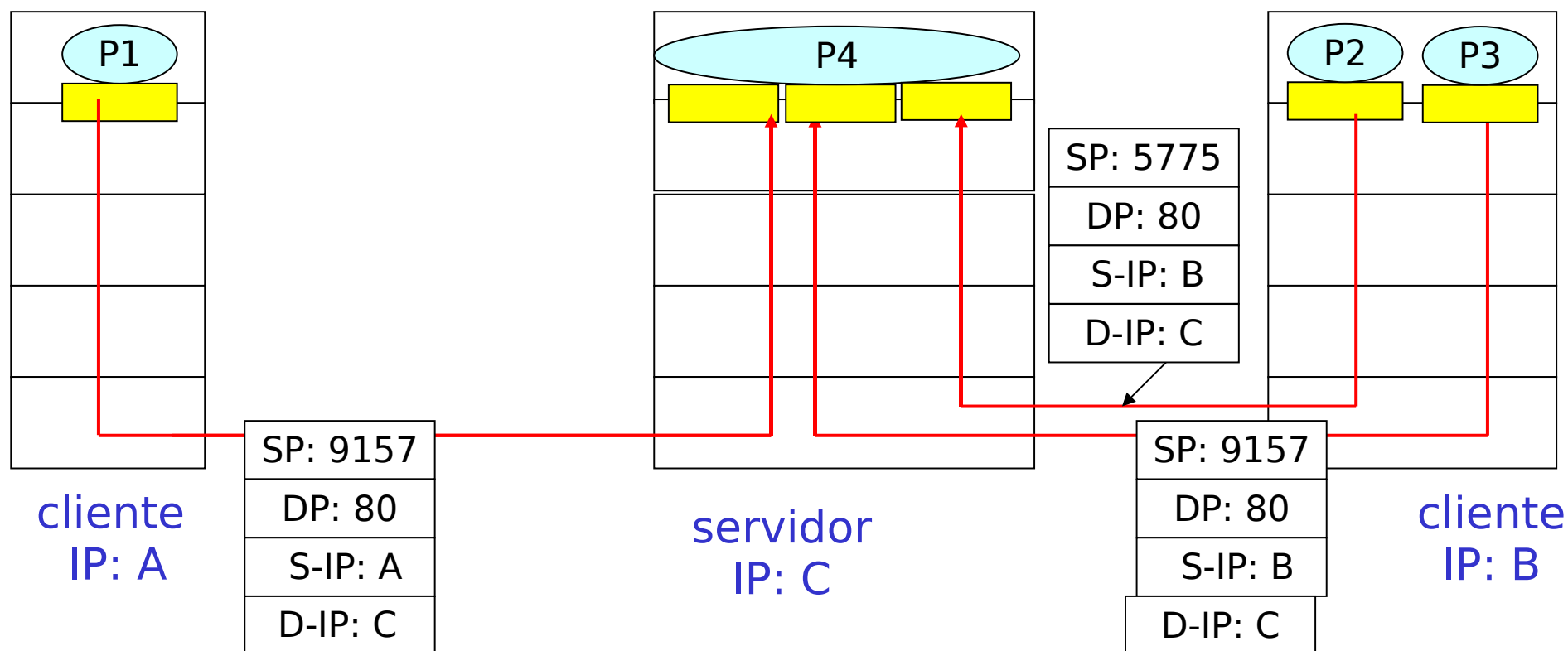


Demultiplexação orientada à conexão





Servidor Web multi-threaded





EACH

Escola de Artes, Ciências e Humanidades
da Universidade de São Paulo

Transporte não orientado à conexão: UDP



UDP (User Datagram Protocol)

- ∇ Definido pela RFC 768.
- ∇ Serviço de melhor esforço (*best effort*), sem *overheads*.
- ∇ Segmentos UDP podem ser:
 - perdidos;
 - entregues fora de ordem para a aplicação.
- ∇ Sem conexão:
 - não há apresentação entre transmissor e o receptor UDP;
 - cada segmento UDP é tratado de forma independente dos outros.



Por que UDP?

- ∇ Não há estabelecimento de conexão (que possa redundar em atrasos).
- ∇ Simples:
 - não há estado de conexão nem no transmissor, nem no receptor.
- ∇ Cabeçalho de segmento reduzido.
- ∇ Não há controle de congestionamento:
 - UDP pode enviar segmentos tão rápido quanto desejado (e possível).

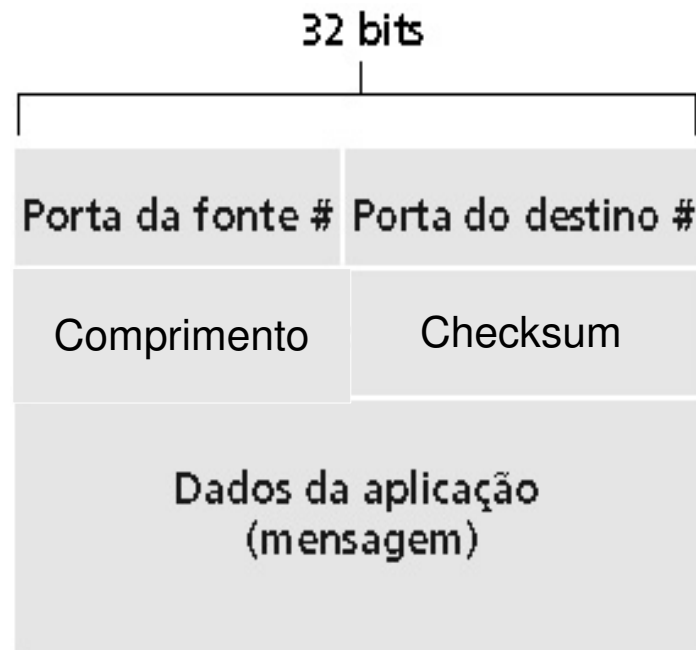


Uso do UDP

- Muito usado por aplicações de multimídia contínua (streaming):
 - tolerantes à perda;
 - sensíveis à taxa.
- DNS.
- SNMP.
- Transferência confiável sobre UDP:
 - acrescentar confiabilidade na camada de aplicação;
 - recuperação de erro específica de cada aplicação.



Segmento UDP





Soma de Verificação (*Checksum*) UDP

- ∇ Objetivo:
 - detectar “erros” (ex.: bits trocados) no segmento transmitido.
- ∇ Transmissor:
 - trata o conteúdo do segmento como seqüência de inteiros de 16 bits;
 - checksum: soma (complemento de 1 da soma) do conteúdo do segmento;
 - transmissor coloca o valor do checksum no campo de checksum do UDP.



Soma de Verificação (*Checksum*) UDP (cont.)

- ∇ Receptor:
- Calcula o checksum do segmento recebido.
 - Verifica se o checksum calculado é igual ao valor do campo checksum:
 - NÃO - erro detectado.
 - SIM - não há erros detectados.



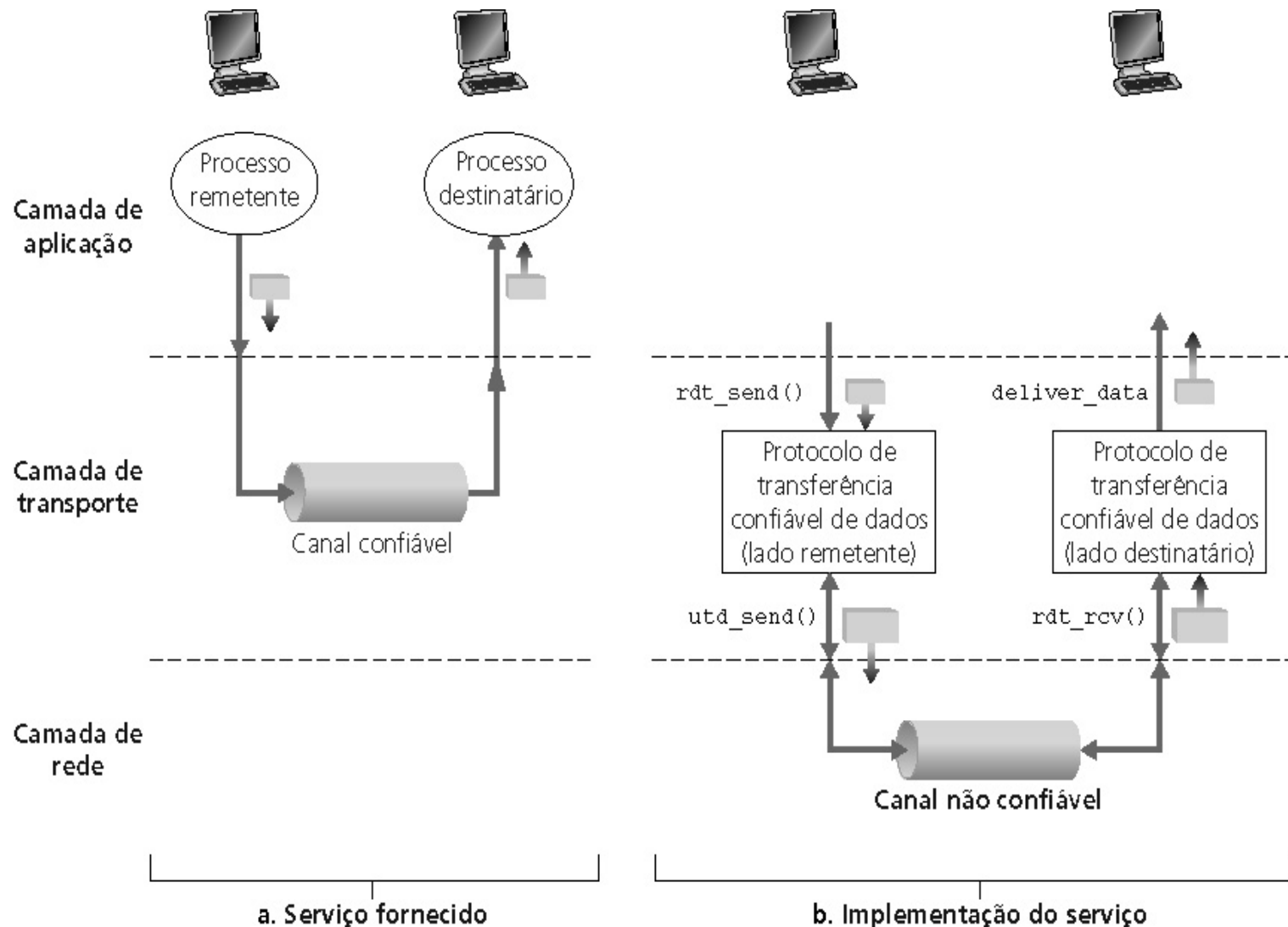
EACH

Escola de Artes, Ciências e Humanidades
da Universidade de São Paulo

Transferência confiável de dados



Transferência confiável de dados



Legenda:

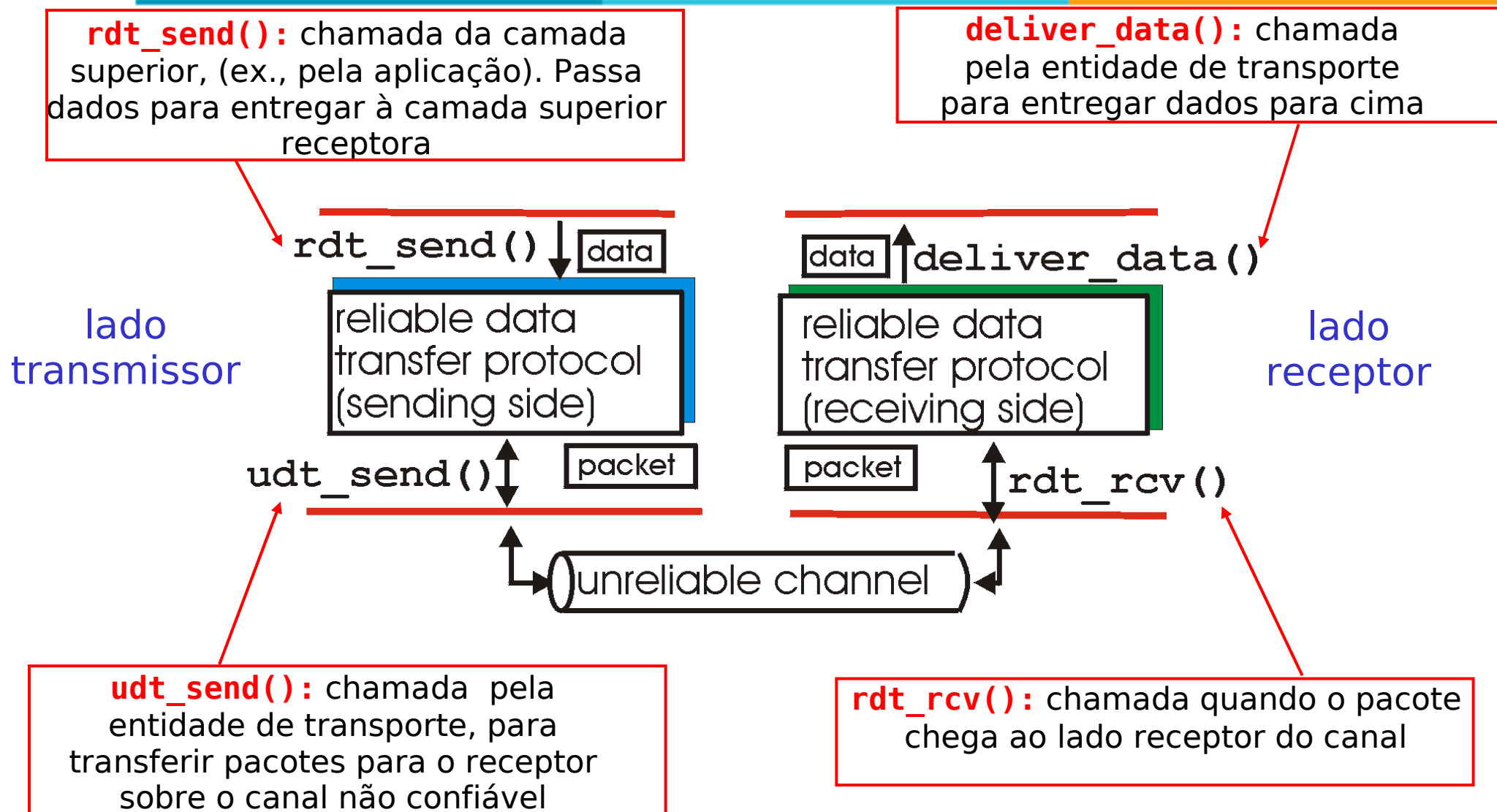
■ Dados ■ Pacote

Transferência confiável de dados

- ∇ “Um dos 10 maiores problemas em redes”.
- ∇ Características dos canais não confiáveis determinarão a complexidade dos protocolos confiáveis de transferência de dados (*rdt – reliable data transfer*).



Transferência confiável: ponto de partida



Etapas

- ∇ Desenvolver incrementalmente o transmissor e o receptor de um protocolo confiável de transferência de dados (rdt).
- ∇ Considerar apenas transferências de dados unidirecionais:
 - mas informação de controle deve fluir em ambas as direções!
- ∇ Usar máquinas de estados finitos (FSM) para especificar o protocolo transmissor e o receptor.

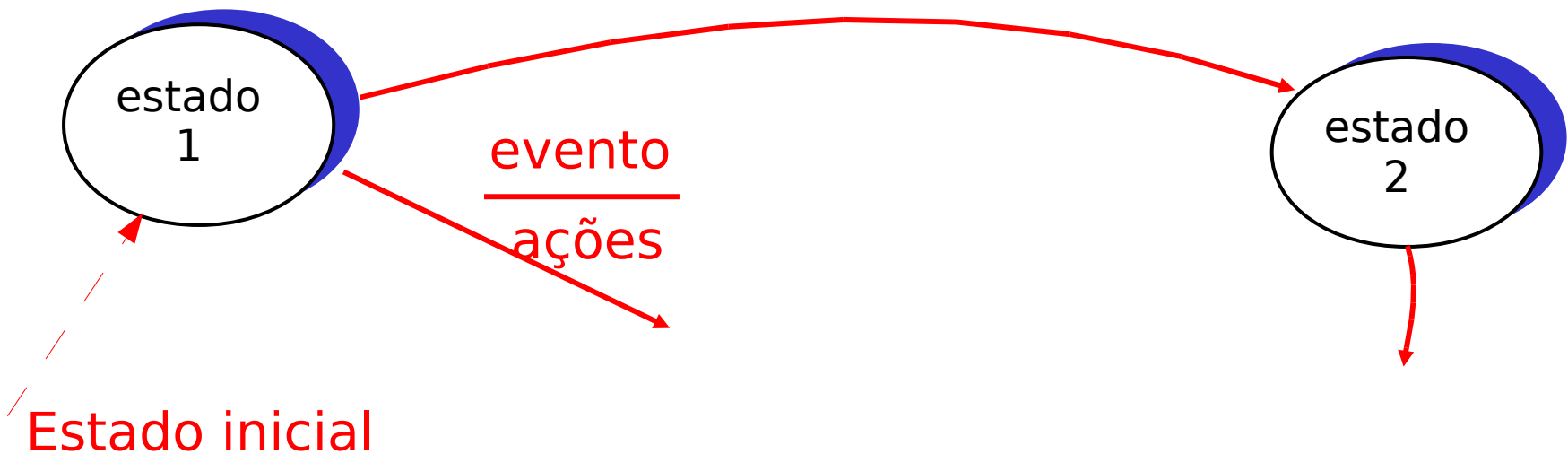


Etapas: FSM

Estado: quando neste “estado” o próximo estado fica unicamente determinado pelo próximo evento.

evento causando transição de estados

ações tomadas na transição de estado





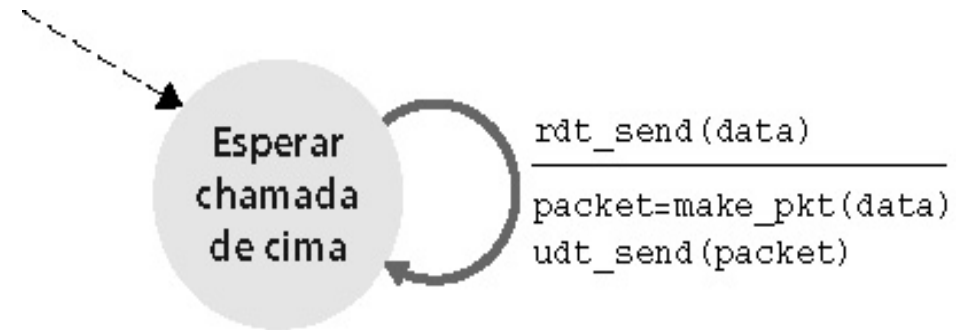
rdt 1.0

∇ Canal de transmissão
perfeitamente confiável:

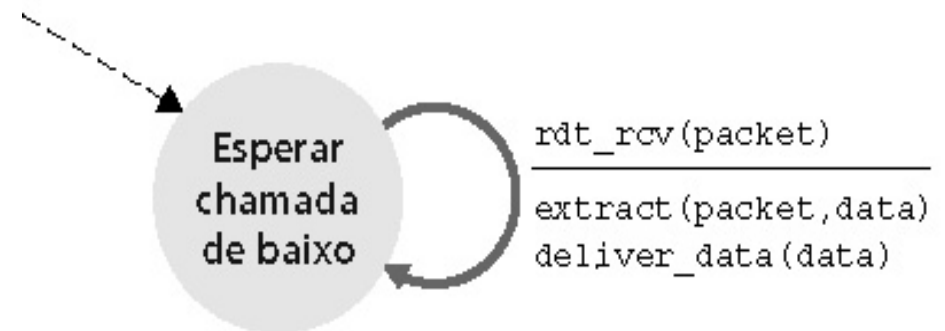
- não há erros de bits;
- não há perdas de pacotes;
- não há necessidade de pacotes de controle.

∇ FSMs separadas para
transmissor e receptor:

- remetente envia dados para o canal subjacente;
- destinatário lê os dados do canal subjacente.



a. rdt1.0: lado remetente



b. rdt1.0: lado destinatário



rdt 2.0: canal com erro de bits

- ∇ Canal subjacente pode trocar valores dos bits num pacote!
 - *Checksum* para detectar erros de bits.
- ∇ Como recuperar esses erros?
 - **Reconhecimentos (ACKs)**: destinatário avisa explicitamente ao remetente que o pacote foi recebido corretamente.
 - **Reconhecimentos negativos (NAKs)**: destinatário avisa explicitamente ao remetente que o pacote tem erros, e este reenvia o pacote.

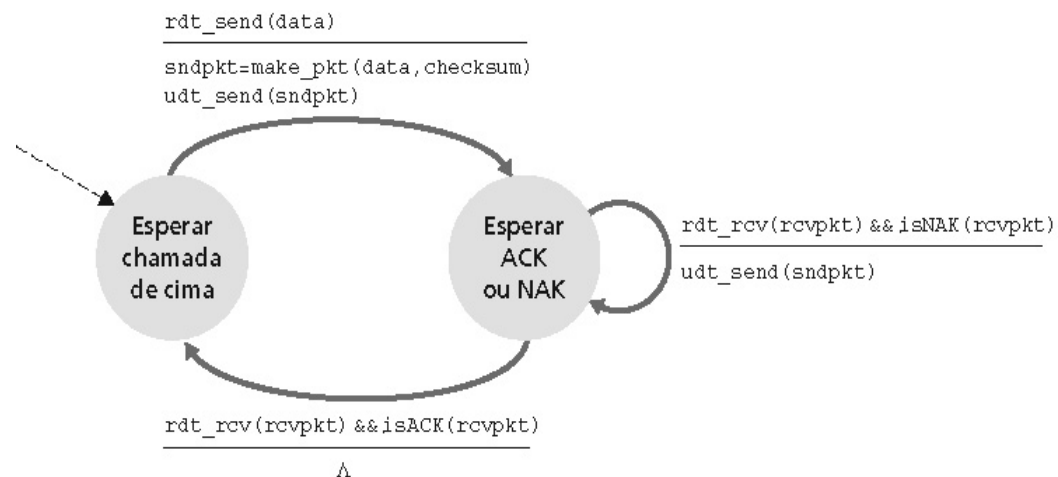


rdt 2.0

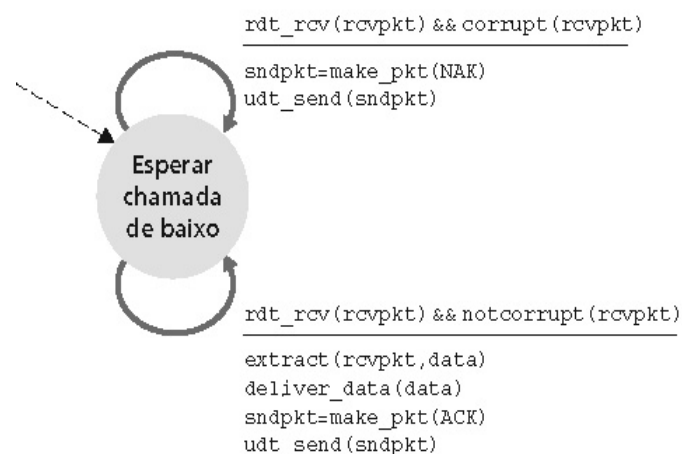
∇ Novos mecanismos no **rdt2.0** (além do **rdt1.0**):

- detecção de erros;
- realimentação do destinatário: mensagens de controle:
 - (ACK, NAK) rcvr->sender
- retransmissão.

∇ Protocolos ARQ: Automatic Repeat reQuest (solicitação automática de repetição).



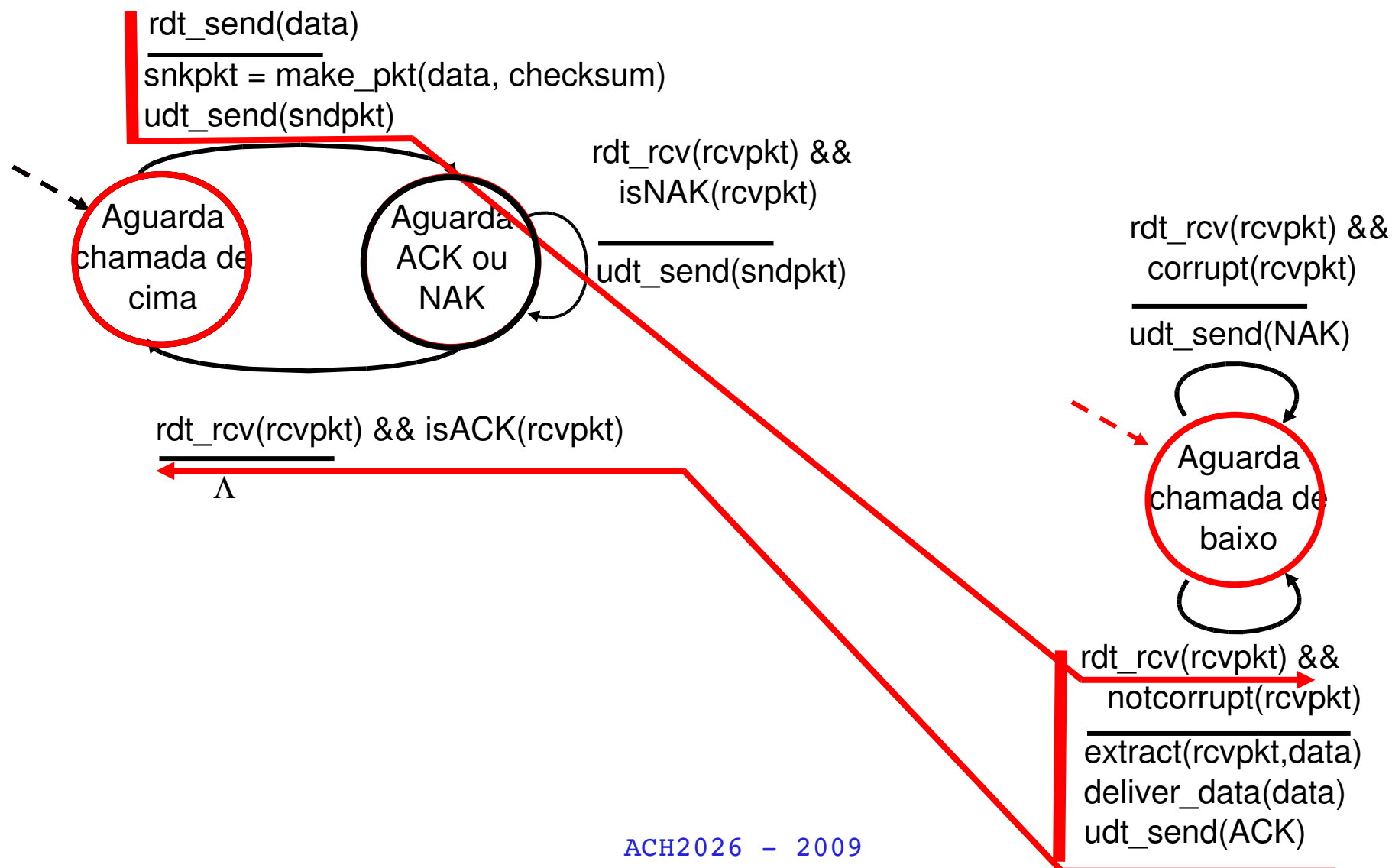
a. rdt2.0: lado remetente



b. rdt2.0: lado destinatário

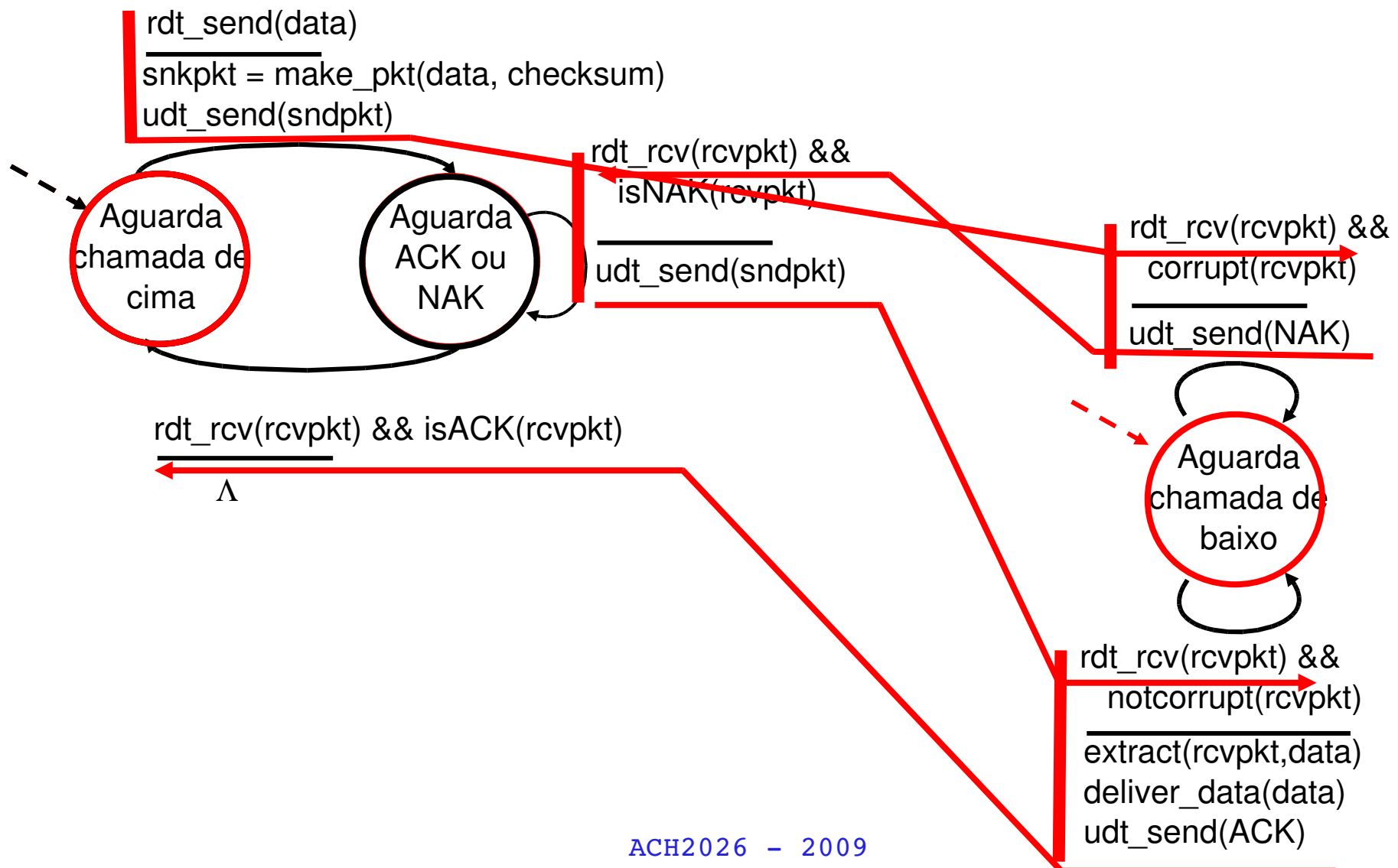


rdt 2.0: operação sem ocorrência de erros





rdt 2.0: operação com detecção de erros





rdt 2.0: Problemas?

∀ O que acontece se o ACK/NAK é corrompido?

- Transmissor não sabe o que aconteceu no receptor!
- Não pode apenas retransmitir: possível duplicata!



Tratando duplicatas

- ∇ Transmissor acrescenta número de sequência em cada pacote.
- ∇ Transmissor reenvia o último pacote se ACK/NAK for perdido.
- ∇ Receptor descarta (não passa para a aplicação) pacotes duplicados.
- ∇ Pare e espere (stop-and-go):
 - Transmissor envia um pacote e então espera pela resposta do receptor.



rdt2.1: remetente, trata ACK/NAKs perdidos

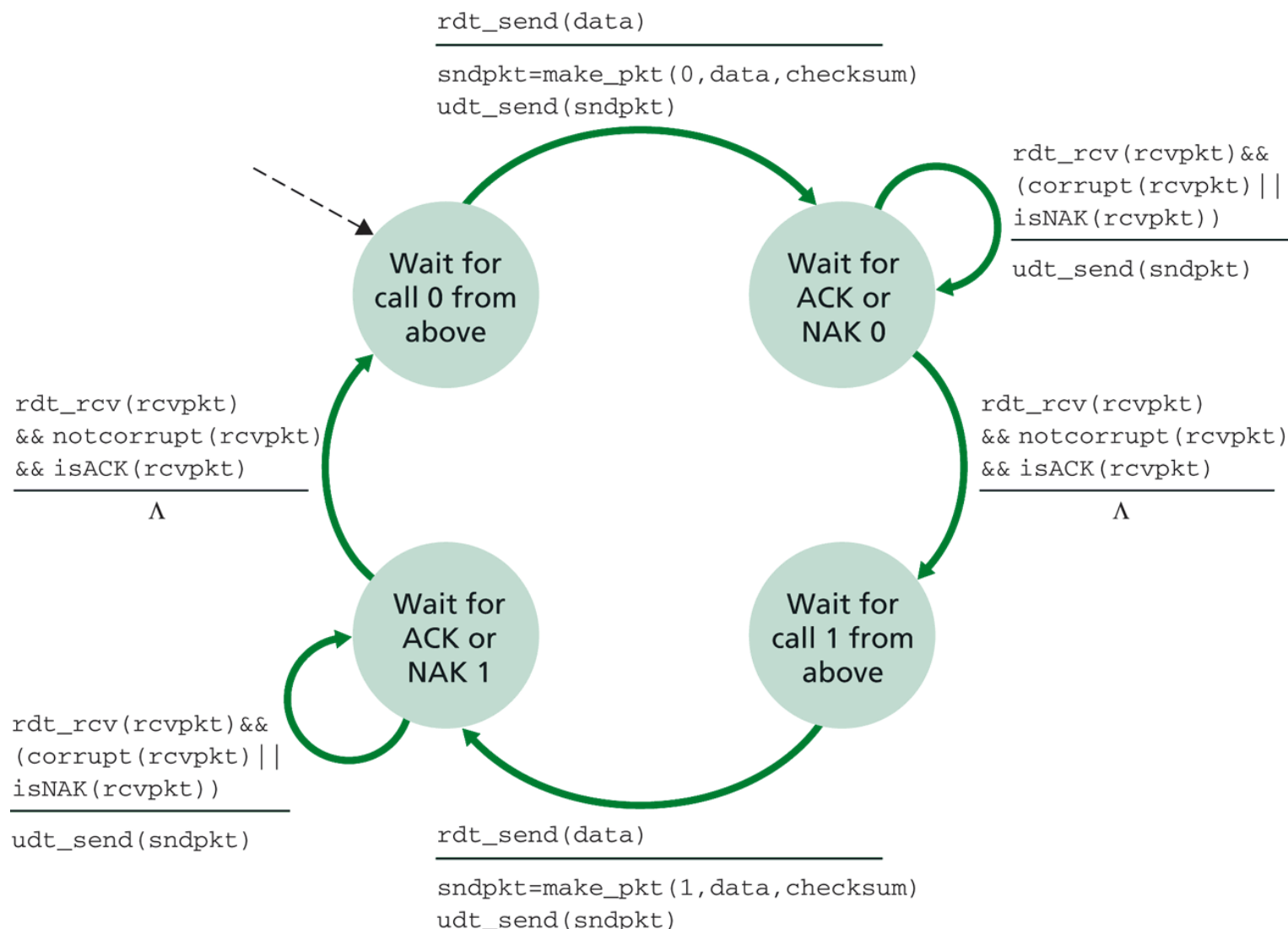


Figure 3.11 ♦ rdt2.1 sender



EACH

Escola de Artes, Ciências e Humanidades
da Universidade de São Paulo

rdt2.1: destinatário, trata ACK/NAKs perdidos

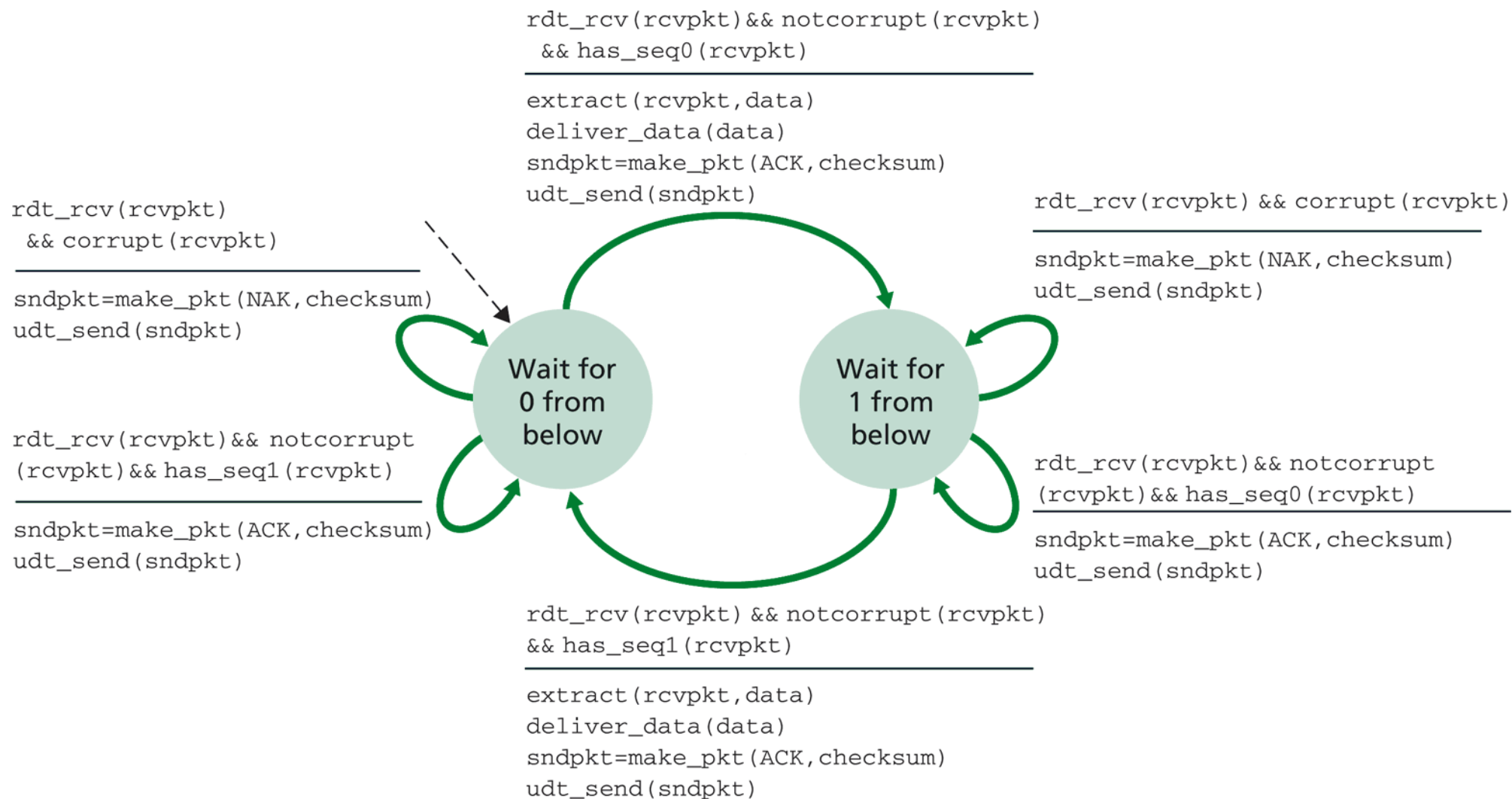


Figure 3.12 ♦ rdt2.1 receiver



rdt2.1: Discussão

Transmissor:

- ∇ Adiciona número de sequência ao pacote.
- ∇ Dois números (0 e 1) bastam. Por quê?
- ∇ Deve verificar se os ACK/NAK recebidos estão corrompidos.
- ∇ Duas vezes o número de estados.
 - O estado deve “lembrar” se o pacote “corrente” tem número de sequência 0 ou 1.

Receptor:

- Deve verificar se o pacote recebido é duplicado:
 - Estado indica se o pacote 0 ou 1 é esperado.
- Nota: receptor pode não saber se seu último ACK/NAK foi recebido pelo transmissor.



rdt2.2: protocolo sem NACK

- ∇ Mesma funcionalidade do rdt2.1, usando somente ACKs.
- ∇ Em vez de enviar NAK, o receptor envia ACK para o último pacote recebido sem erro.
 - Receptor deve incluir explicitamente o número de sequência do pacote sendo reconhecido.
- ∇ ACKs duplicados no transmissor resultam na mesma ação do NAK: **retransmissão do pacote corrente.**



rdt2.2: remetente

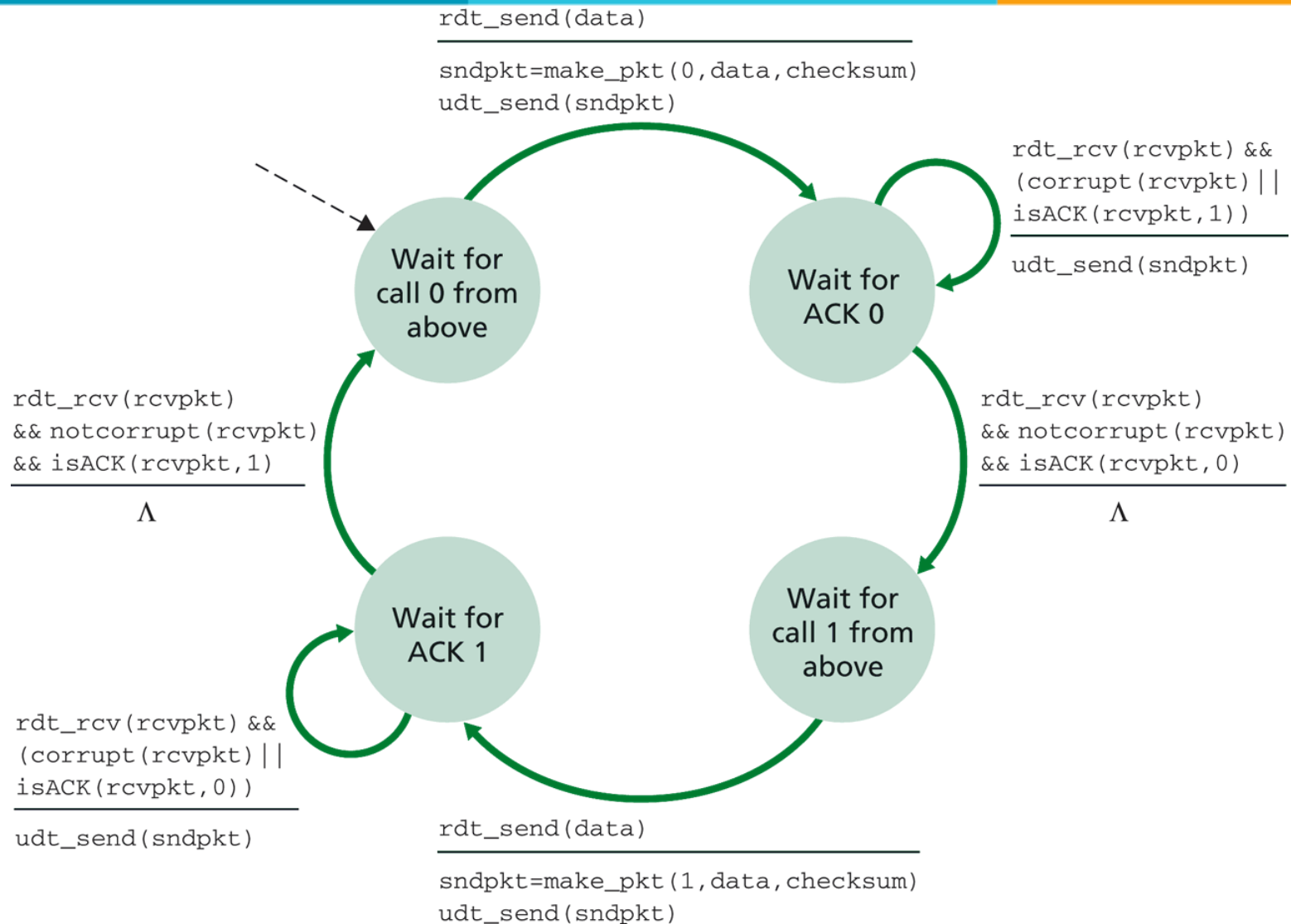


Figure 3.13 ♦ rdt2.2 sender



rdt2.2: destinatário

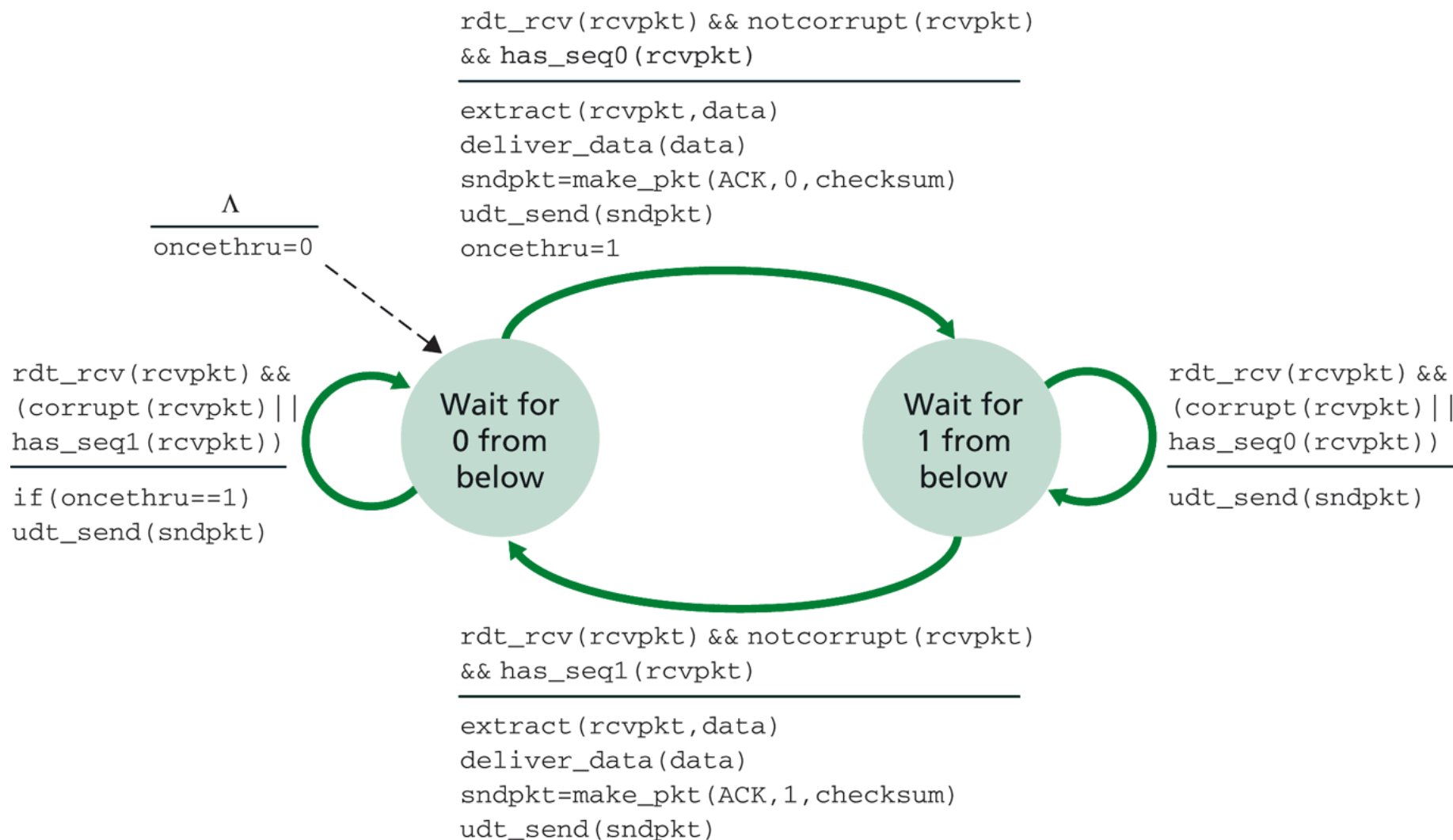


Figure 3.14 ♦ rdt2.2 receiver



rdt3.0: canal com erros e perdas

- ∇ Nova hipótese: canal de transmissão pode também perder pacotes!
- ∇ Checksum, números de sequência, ACKs, retransmissões serão de ajuda, mas não o bastante.
- ∇ Abordagem: transmissor espera um tempo “razoável” pelo ACK.
 - Retransmite se nenhum ACK for recebido nesse tempo.



rdt3.0: canal com erros e perdas (cont.)

- ∇ Se o pacote (ou ACK) estiver apenas atrasado (não perdido):
 - Retransmissão será duplicata, mas os números de sequência já tratam com isso.
- ∇ Receptor deve especificar o número de sequência do pacote sendo reconhecido.
- ∇ Exige um temporizador decrescente.



rdt3.0: remetente

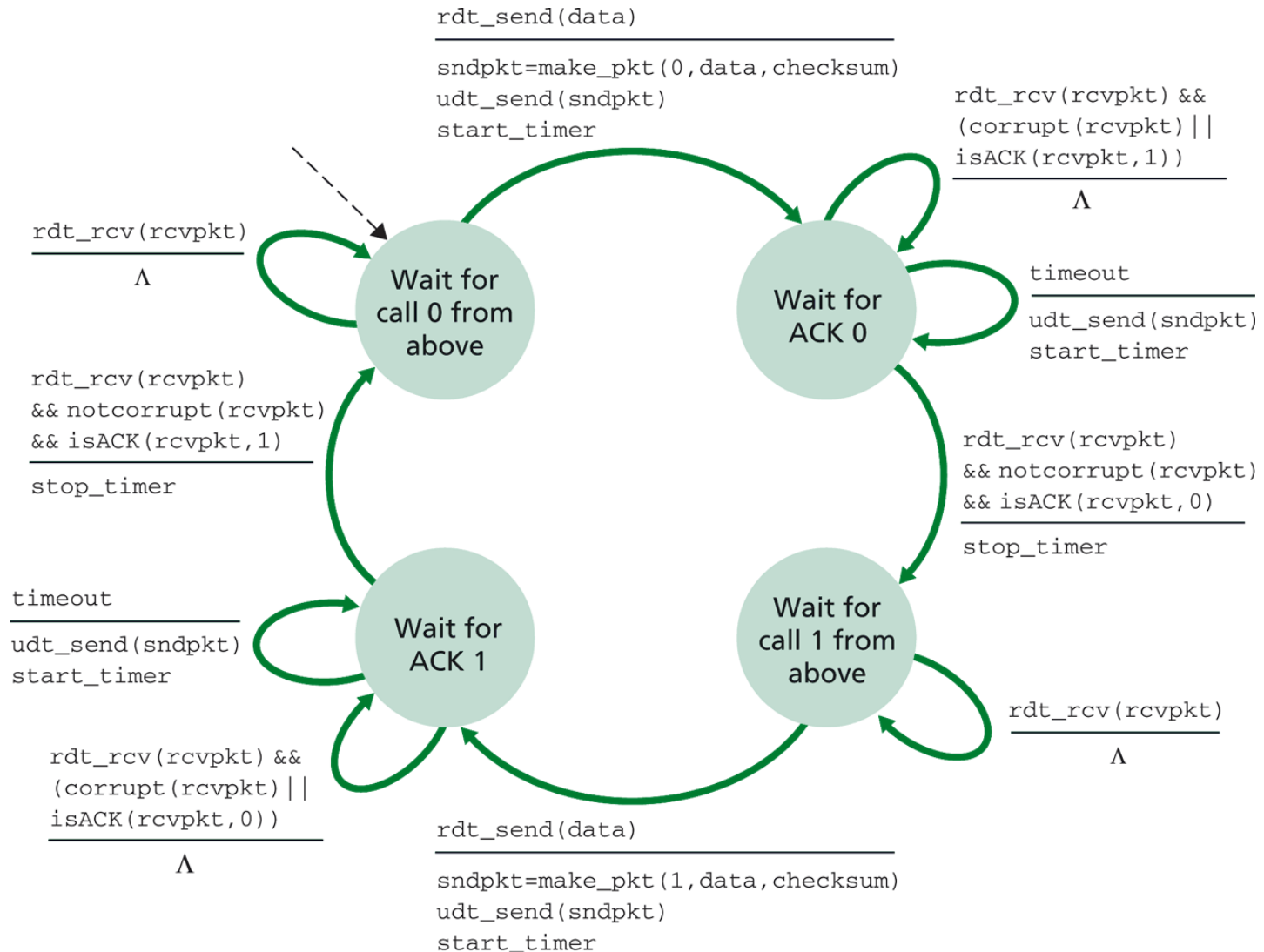
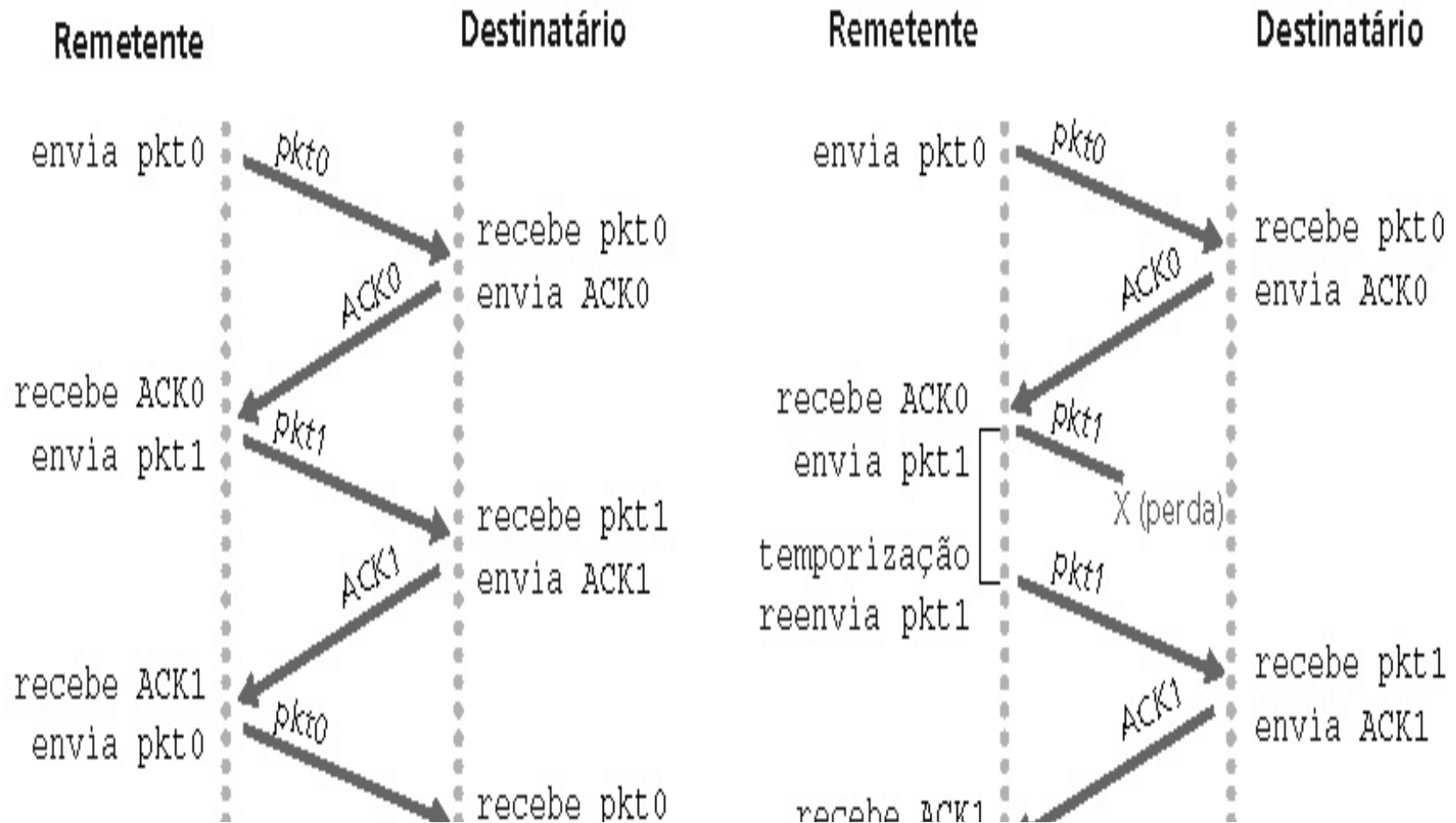


Figure 3.15 ♦ rdt3.0 sender

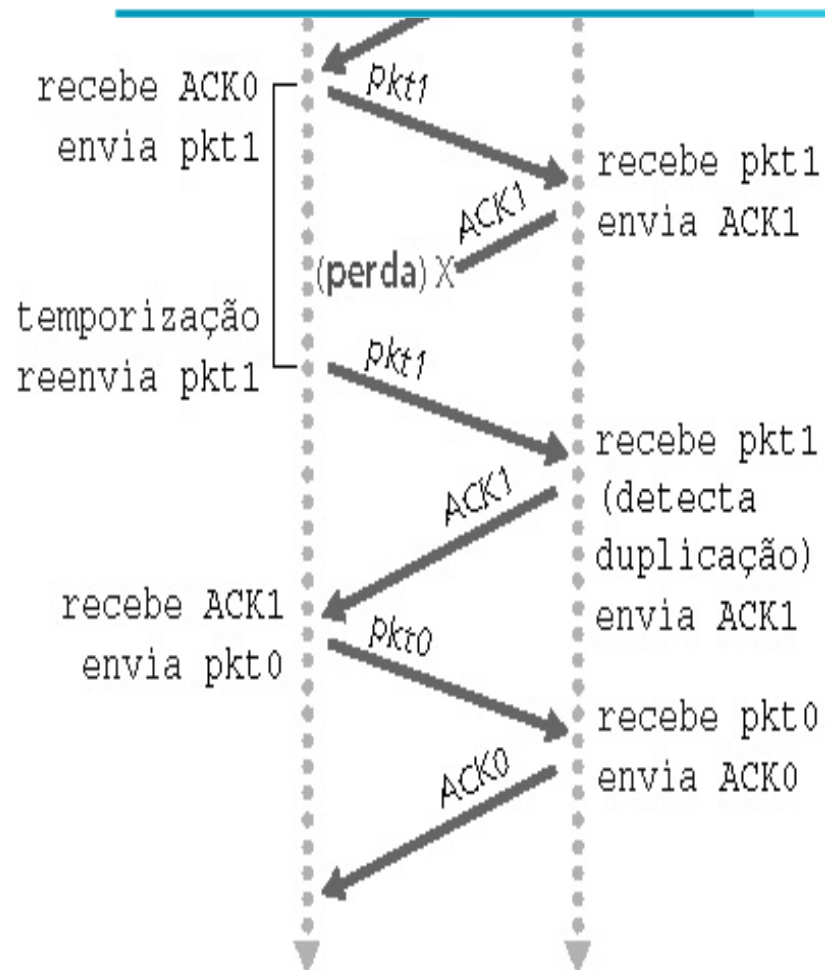


rdt3.0 - Operação

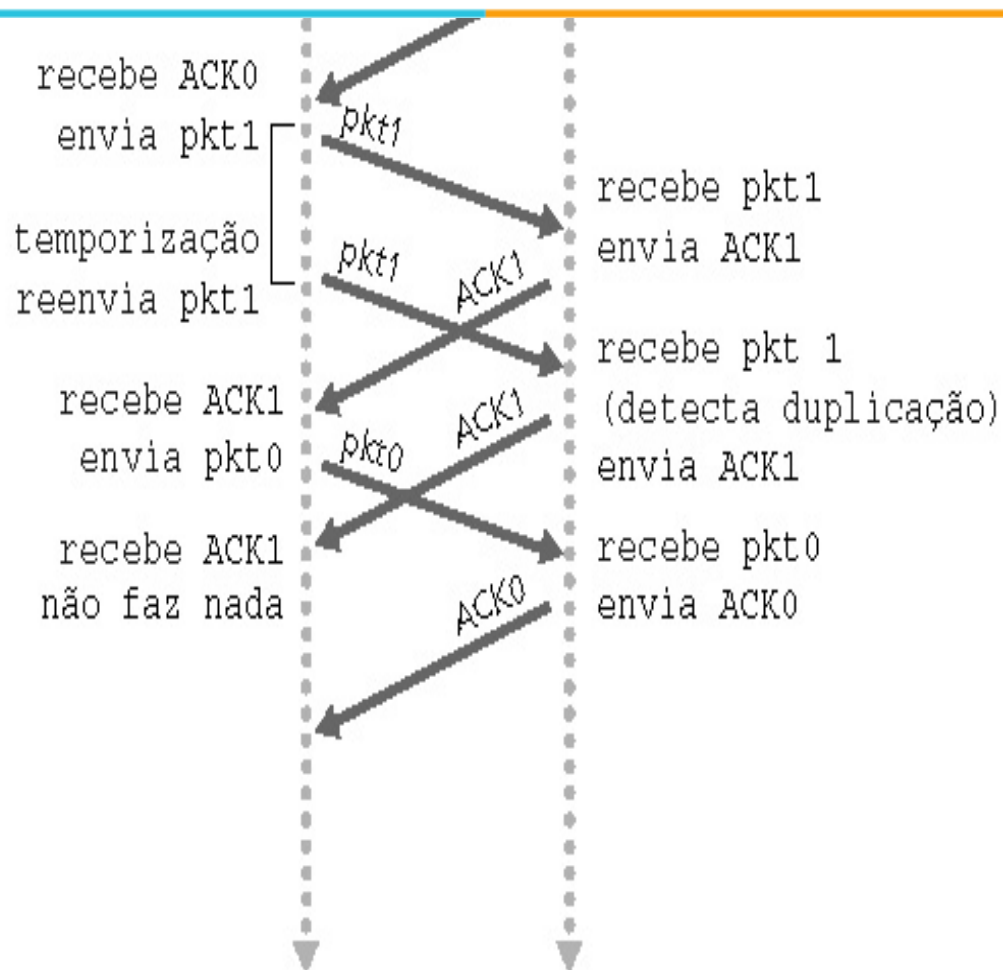




rdt3.0 - Operação



c. ACK perdido



d. Interrupção prematura

rdt3.0: desempenho

- ∇ rdt3.0 funciona, mas o desempenho é sofrível
- ∇ Exemplo: enlace de 1 Gbps, 15 ms de atraso de propagação, pacotes de 1 KB:

$$\text{Transmissão} = \frac{L \text{ (tamanho do pacote em bits)}}{R \text{ (taxa de transmissão, bps)}} = \frac{8 \text{ kb/pkt}}{10^9 \text{ b/s}} = 8 \text{ microsseg}$$

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

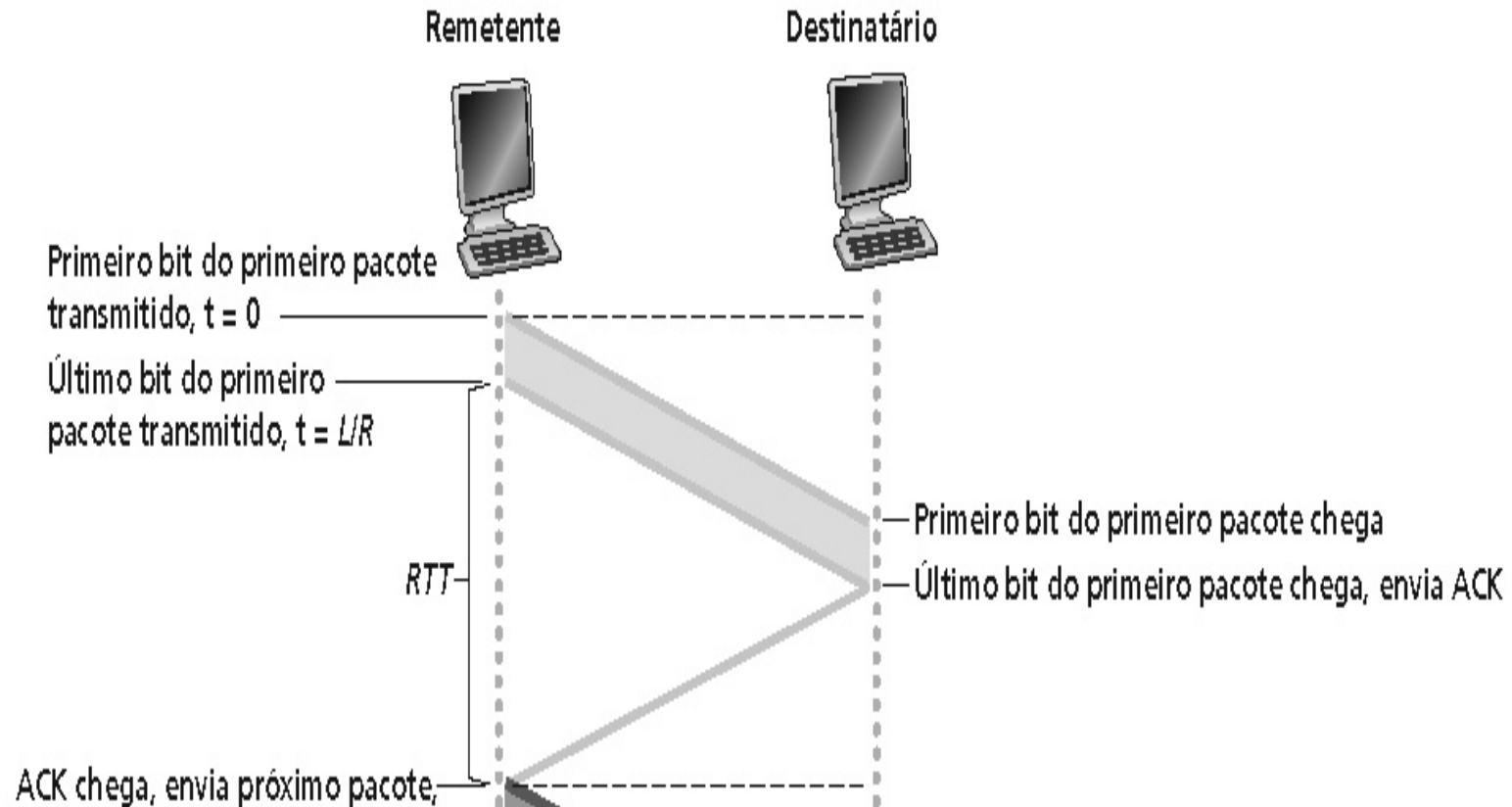
- U_{sender} : utilização — fração de tempo do transmissor ocupado

Um pacote de 1 KB cada 30 ms -> 33 kB/s de vazão sobre um canal de 1 Gbps.

O protocolo de rede limita o uso dos recursos físicos!



rdt3.0 – “Pare e Espere”



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

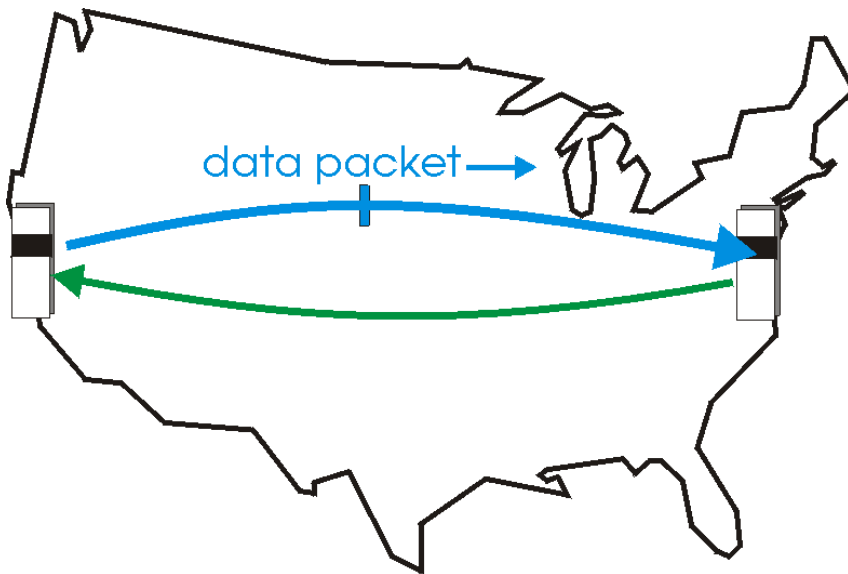


EACH

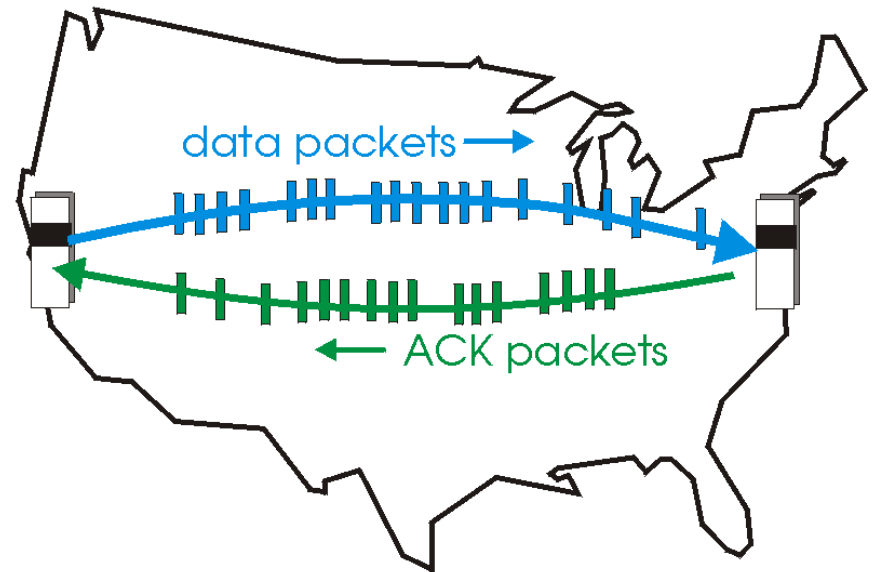
Escola de Artes, Ciências e Humanidades
da Universidade de São Paulo

Protocolos com paralelismo

- ∇ Paralelismo: transmissor envia vários pacotes ao mesmo tempo, todos esperando para serem reconhecidos.



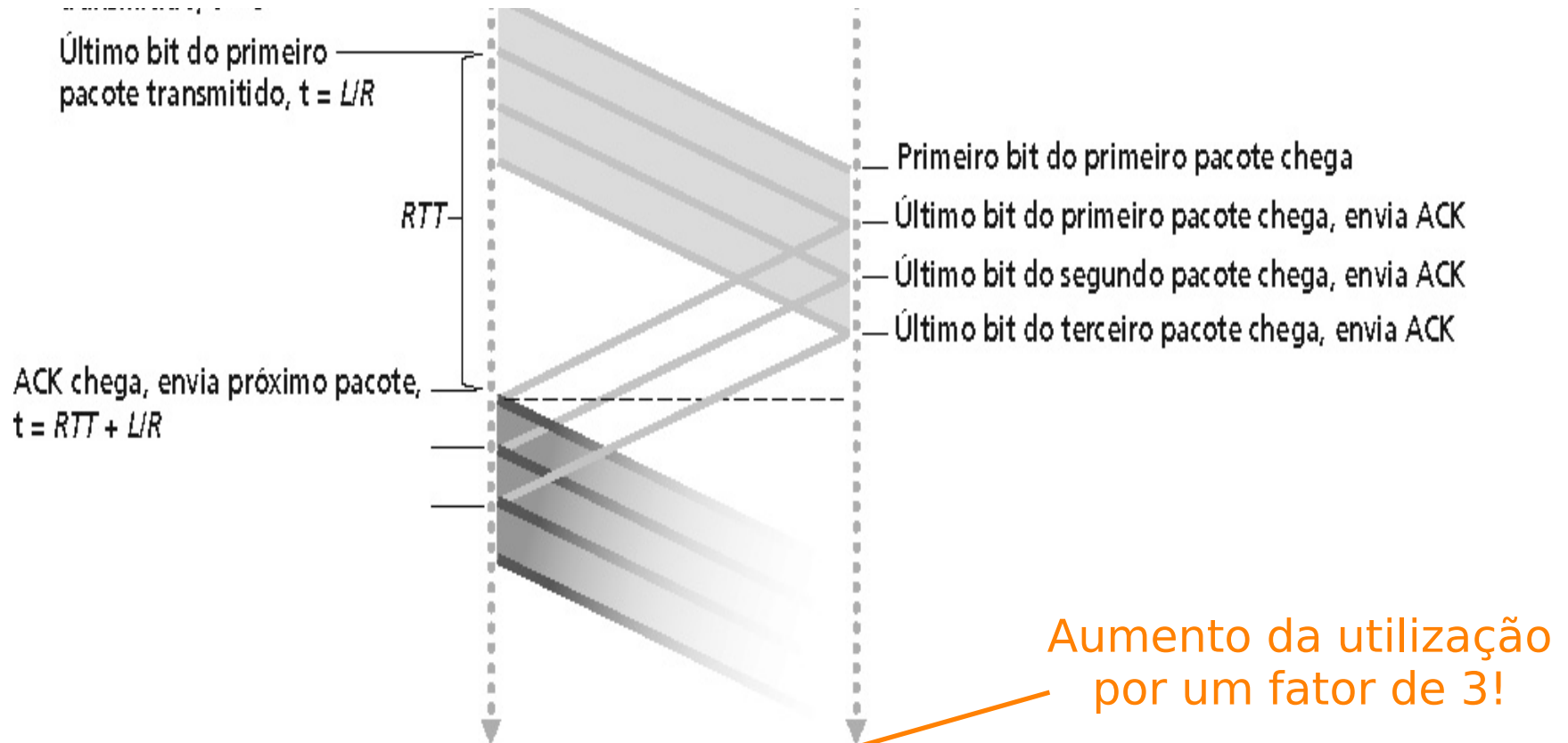
(a) operação do protocolo pare e espere



(a) operação do protocolo com paralelismo



Paralelismo: aumento da utilização



b. Operação com paralelismo

$$U_{\text{sender}} = \frac{3 * L / R}{RTT + L / R} = \frac{0,024}{30,008} = 0,0008$$

ACH2026 - 2009



Protocolos com paralelismo

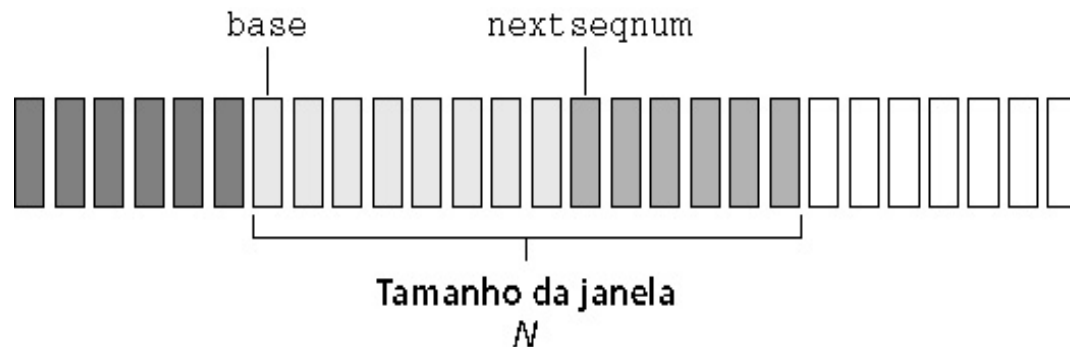
- ∇ Alterações necessárias:
 - faixa de números de seqüência deve ser aumentada;
 - armazenamento no transmissor e/ou no receptor.
- ∇ Duas formas genéricas de protocolos com paralelismo:
 - go-Back-N;
 - retransmissão seletiva.



Go-back-N (GBN)

Remetente:

- ∇ número de seqüência com k bits no cabeçalho do pacote;
- ∇ “janela” de até N pacotes não reconhecidos, consecutivos, são permitidos.



Legenda:

Já reconhecido	Autorizado, mas ainda não enviado
Enviado, mas ainda não reconhecido	Não autorizado



GBN: Remetente

- ∇ ACK(n): reconhece todos os pacotes até o número de seqüência N (incluindo este limite) = “ACK cumulativo”.
 - pode receber ACKs duplicados (veja receptor).
- ∇ Temporizador para cada pacote enviado e não confirmado.
- ∇ **Tempo de confirmação (n)**: retransmite pacote n e todos os pacotes com número de seqüência maior que estejam dentro da janela.



GBN: FSM do remetente

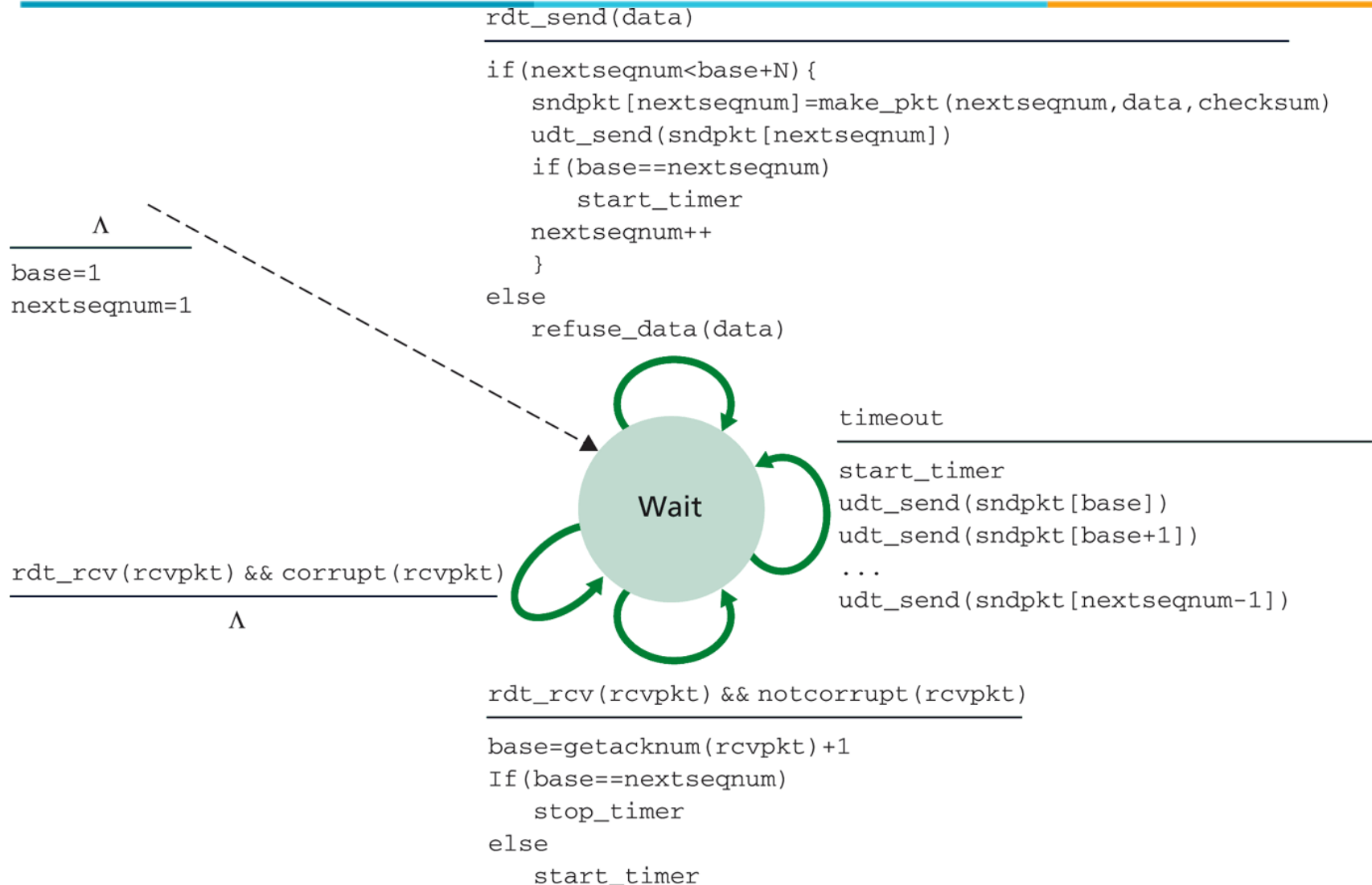


Figure 3.20 ♦ Extended FSM description of GBN sender



GBN: destinatário

- Somente ACK: sempre envia ACK para pacotes corretamente recebidos com o mais alto número de seqüência **em ordem**
 - pode gerar ACKs duplicados;
 - precisa lembrar apenas do **expectedseqnum**;
- Pacotes fora de ordem:
 - descarta (não armazena) -> **não há buffer de recepção!**
 - reconhece pacote com o mais alto número de seqüência em ordem.



GBN: destinatário

```
rdt_rcv(rcvpkt)
  && notcorrupt(rcvpkt)
  && hasseqnum(rcvpkt, expectedseqnum)
  _____
  extract(rcvpkt, data)
  deliver_data(data)
  sndpkt=make_pkt(expectedseqnum, ACK, checksum)
  udt_send(sndpkt)
  expectedseqnum++
```

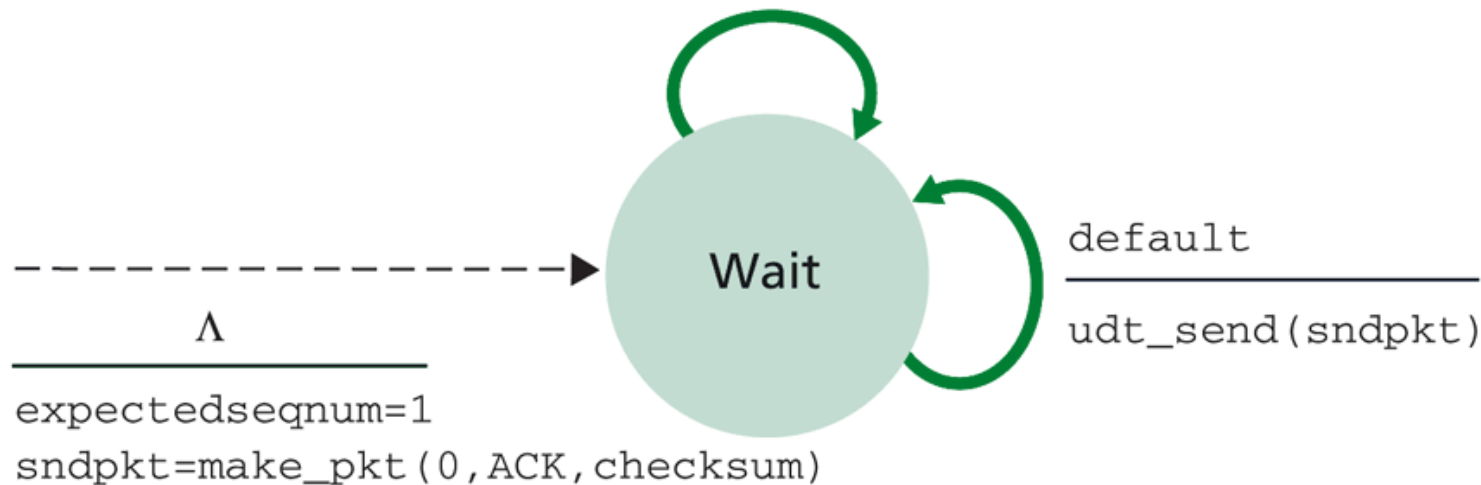


Figure 3.21 ♦ Extended FSM description of GBN receiver 57



EACH

Escola de Artes, Ciências e Humanidades
da Universidade de São Paulo

Operação GBN

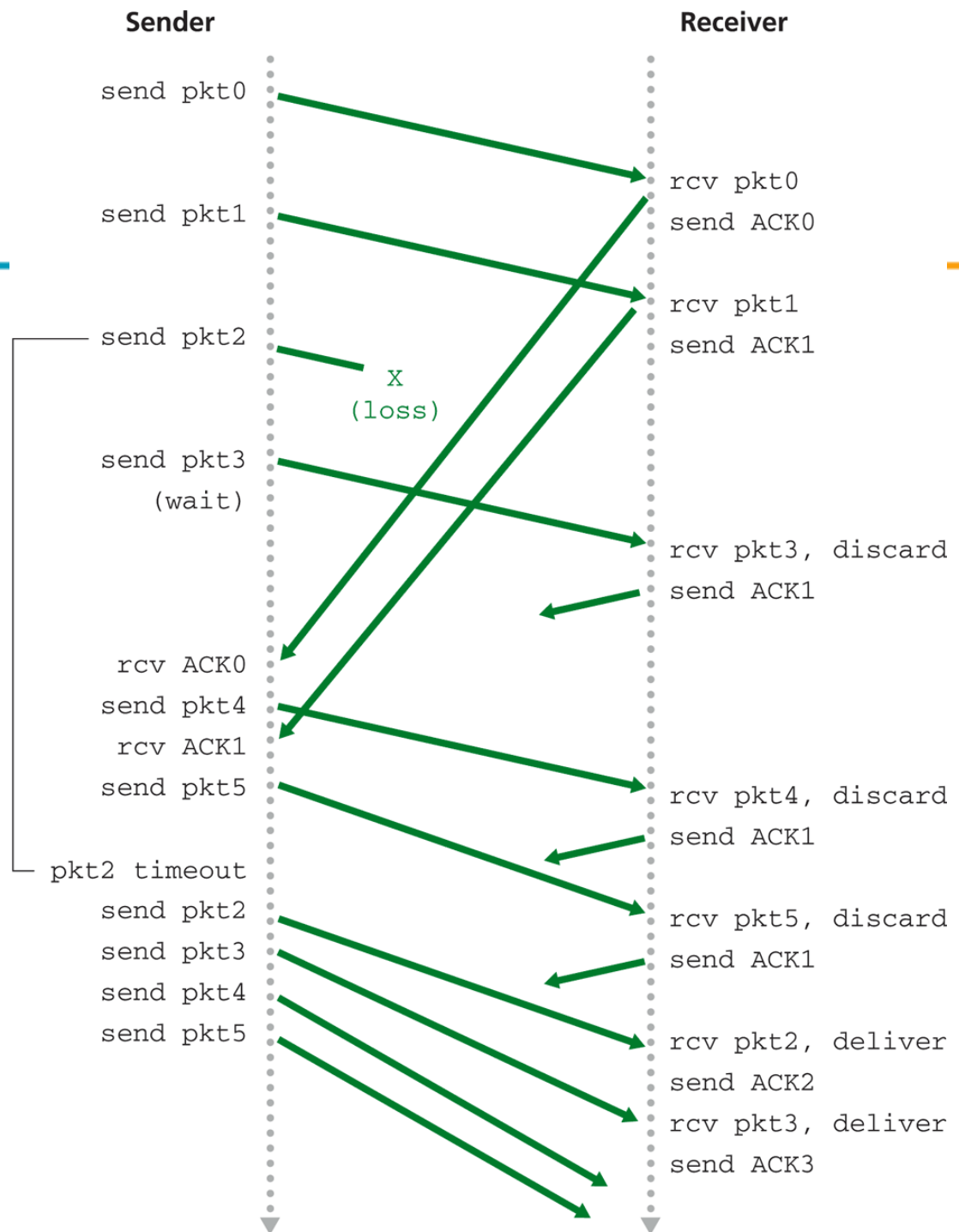


Figure 3.22 ♦ Go-Back-N in operation



GBN: applet

- Link:

http://media.pearsoncmg.com/aw/aw_kurose_network_2/applets/go-back-n/go-back-n.html



Retransmissão Seletiva

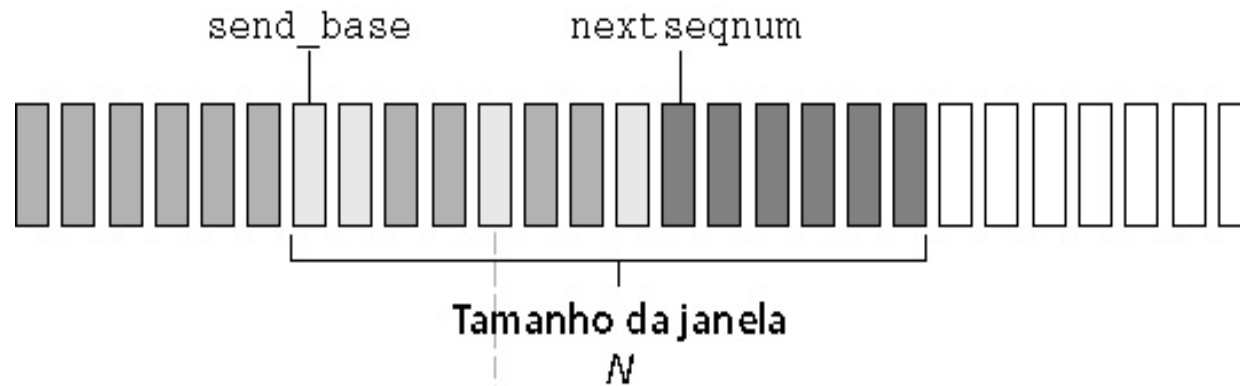
- Receptor reconhece **individualmente** pacotes recebidos corretamente.
- Armazena pacotes, se necessário, para eventual entrega em ordem.
- Transmissor somente reenvia os pacotes para os quais um ACK não foi recebido.
 - temporiza cada pacote não reconhecido.
- Janela de transmissão:
 - N números de seqüência consecutivos;
 - Novamente limita a quantidade de pacotes enviados, mas não reconhecidos.



EACH

Escola de Artes, Ciências e Humanidades
da Universidade de São Paulo

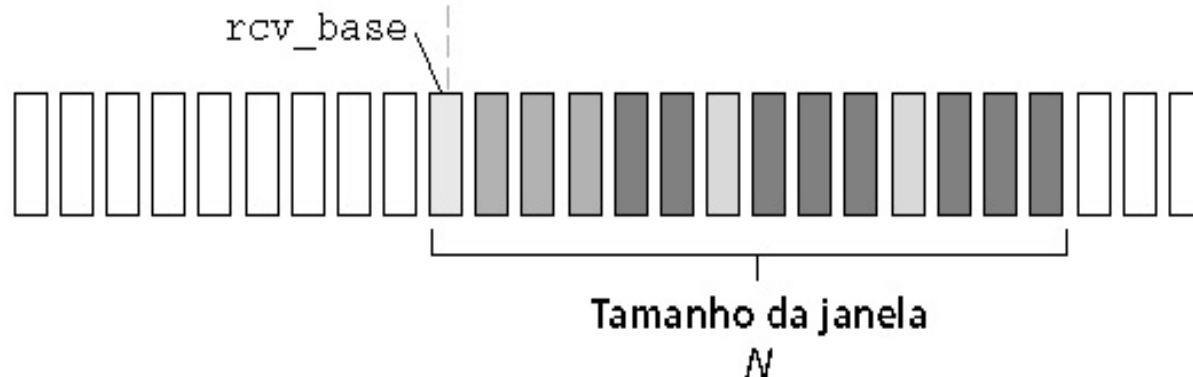
RS: janelas



a. Visão que o remetente tem dos números de sequência

Legenda:

	Já reconhecido		Autorizado, mas ainda não enviado
	Enviado, mas não autorizado		Não autorizado



b. Visão que o destinatário tem dos números de sequência

Legenda

	Fora de ordem (no buffer), mas já reconhecido (ACK)		Aceitável (dentro da janela)
	Aguardado, mas ainda não recebido		Não autorizado



RS: remetente

- ∇ Dados da camada superior:
 - se o próximo número de seqüência disponível está na janela, envia o pacote.
- ∇ Tempo de confirmação(n):
 - reenvia pacote n, reinicia temporizador.
- ∇ ACK (n) em [sendbase,sendbase+N]:
 - marca pacote n como recebido
 - se n é o menor pacote não reconhecido, avança a base da janela para o próximo número de seqüência não reconhecido.

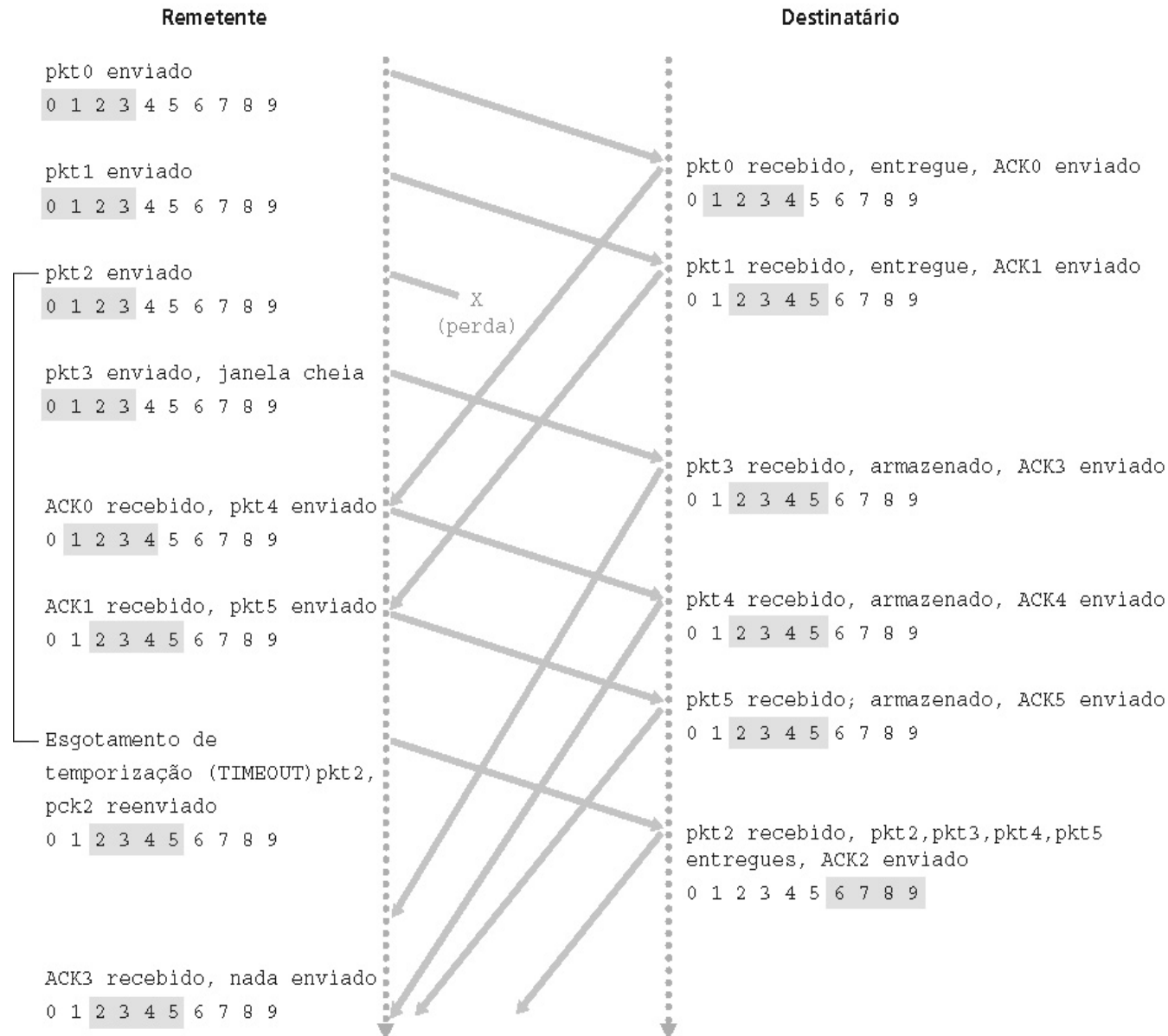


RS: destinatário

- ∇ Pacote n em $[rcvbase, rcvbase + N - 1]$:
 - envia $ACK(n)$;
 - fora de ordem: armazena;
 - em ordem: entrega (também entrega pacotes armazenados em ordem), avança janela para o próximo pacote ainda não recebido.
- ∇ pkt n em $[rcvbase - N, rcvbase - 1]$:
 - $ACK(n)$.
- ∇ Caso contrário:
 - Ignora.



RS: operação

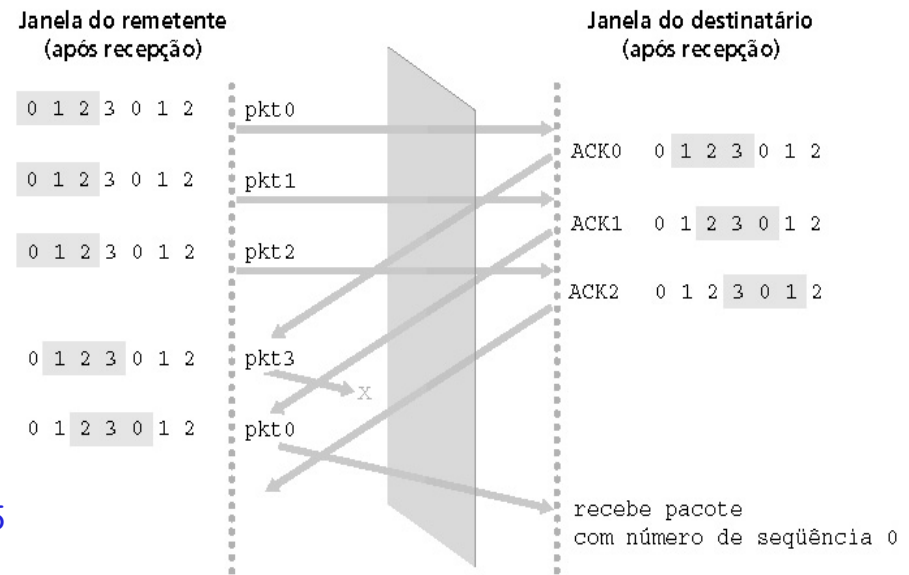
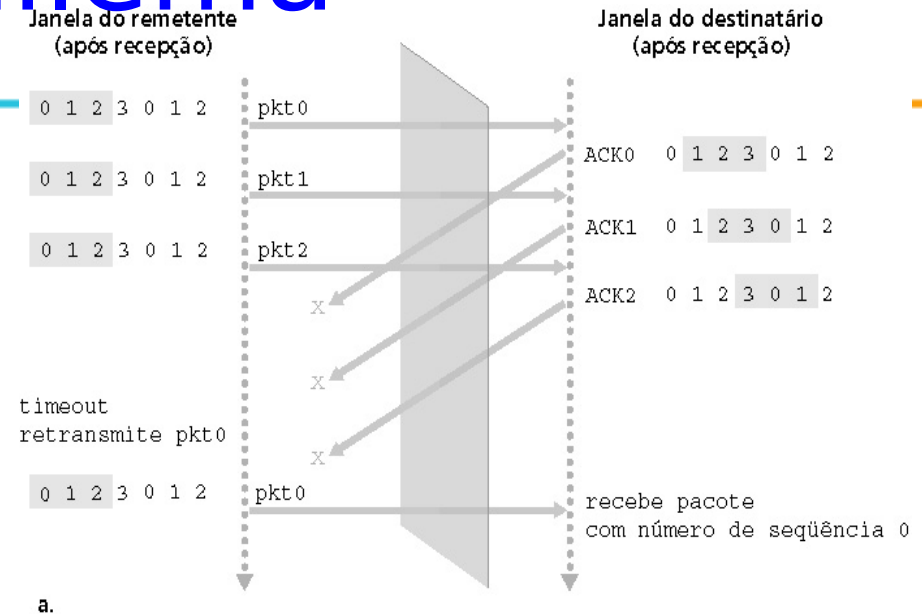




RS: dilema

Exemplo:

- Seqüências: 0, 1, 2, 3
 - Tamanho da janela = 3
 - Receptor não vê diferença nos dois cenários!
 - Incorretamente passa dados duplicados como novos (figura a)
- P.: Qual a relação entre o espaço de numeração seqüencial e o tamanho da janela?





EACH

Escola de Artes, Ciências e Humanidades
da Universidade de São Paulo

Perguntas??
