



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

# Comunicações por Computador

## Cap 2 - Elementos de Protocolos

*(Controlo da Ligação de Dados)*

**Universidade do Minho**  
**Grupo de Comunicações por Computador**  
**Departamento de Informática**

# Controlo da ligação de dados

## *introdução*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- A existência de ligações físicas e a transmissão de sinais analógicos ou digitais, por si só, **não** garantem a comunicação de dados entre entidades residentes em diferentes estações.
- São necessárias **regras** definindo como se faz a transferência dos dados:

## **Protocolo de comunicação**

# Controlo da ligação de dados

## *introdução*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- A troca de dados entre entidades que pretendem comunicar deve ser regulada a fim de se criar um **contexto comum** e um **sincronismo** entre elas.
- As *regras* resultantes constituem o que se designa por *protocolo de comunicação*.

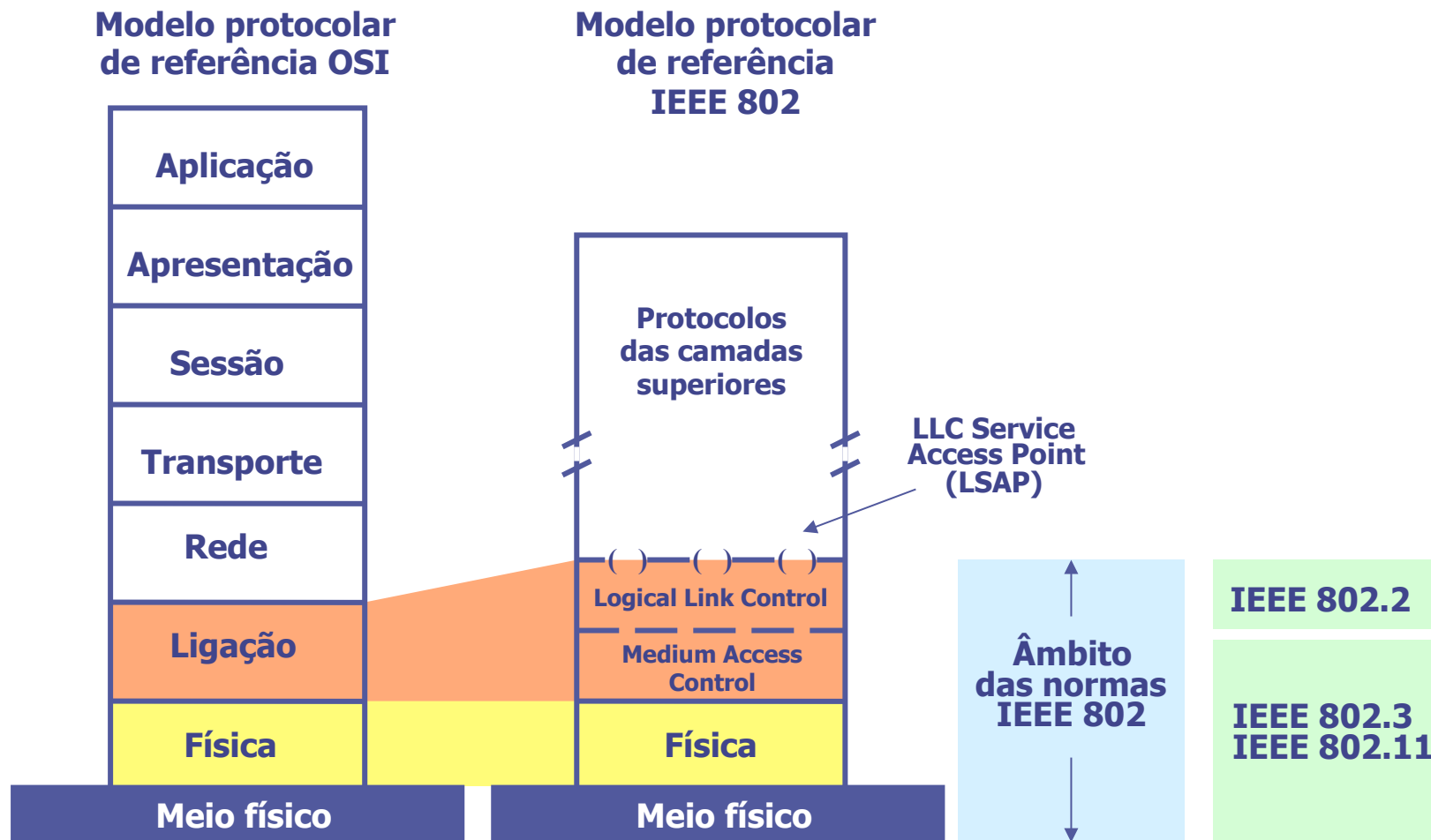
Os protocolos de ligação lógica ou ligação de dados constituem o primeiro nível de **troca ordenada, controlada e fiável** de dados entre sistemas interligados por meio de uma ligação física.

# Redes Locais de Computadores

*protocolos: nível de ligação de dados*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática



# Controlo da ligação de dados

*introdução: funções distintivas dos níveis físico e lógico*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

## Nível físico

- envio de um sinal sobre um meio de transmissão
- sincronismo (nível do bit)
- codificação de linha
- modulação do sinal
- multiplexagem física
- interface com o meio

## Nível de ligação lógica

- estrutura das tramas
- configuração e acesso à linha
- endereçamento
- controlo de fluxo
- controlo de erros
- gestão da ligação (controlo da troca de dados)

# Controlo da ligação de dados

## *principais funções de um protocolo de ligação*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- **definição da trama** - formato da unidade de dados (Protocol data unit - PDU)
- **configuração da linha** - considera a topologia, define a disciplina de acesso à linha e a sua duplexidade
- **endereçamento** - identifica os interfaces das estações que podem enviar e receber tramas
- **controlo de fluxo** - regula a cadência de tramas enviadas
- **controlo de erros** - detecta erros de transmissão e executa procedimentos de recuperação
- **gestão da ligação** - define como se faz o estabelecimento, a manutenção e a terminação da associação lógica.

# Controlo da ligação de dados

**definição da trama:** exemplo de um formato e semântica



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Cada protocolo define um formato de PDU, bem como os valores, o significado e o comprimento dos seus campos. Exemplo:

←----- sentido da transmissão



← Campo do endereço → Campo de controlo ← Campo de informação →

Campo de  
Controlo de  
erros

valores do  
campo do  
endereço:

0001	= A
0010	= B
0011	= C
0100	= D
...	

valores e significado do campo de tipo:	100	= trama-I
	001	= trama-ACK (confirma)
	010	= trama-NAK (rejeita)
	001	= trama-Poll (cede controlo)
	000	= trama-Select (estabelece)
	011	= trama-Fin (termina)
...		

Tramas de  
controlo

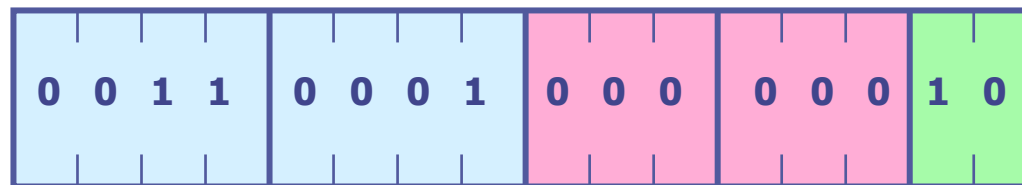
# Controlo da ligação de dados

*definição da trama: exemplo de um formato e semântica*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- As tramas de controlo não possuem o campo de dados e portanto são tramas curtas.
- Exemplo de uma trama-Select:



trama-Sel C, A, 0

Endereço  
de destino  
(C)

Endereço  
de origem  
(A)

tipo  
(trama-Sel)

número  
(0)

CRC

- Nesta definição protocolar pressupõe-se que, nas tramas de resposta (ACK e NAK), o **número** confirma a recepção no sentido oposto da trama número - 1
- Nas restantes tramas, o **número** representa a numeração de sequência da própria trama



# Controlo da ligação de dados

## *protocolos (disciplinas) de linha*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Tipo de estações
  - Primária: faz gestão da ligação (1:n) (tramas comando)
  - Secundária: sob controlo da primária (tramas resposta)
  - Mista: partilha o controlo da ligação com outra do mesmo tipo (pode comportar-se como primária ou como secundária)
- Fases de uma ligação lógica:
  - 1) Estabelecimento da ligação: *trama-Sel* : *noReply, trama-ACK, ...*
  - 2) Transferência de dados: *tramas-I* : *tramas-ACK, trama-NAK, ...*
  - 3) Terminação: *trama-Fin* : *trama-ACK, noReply, ...*

Em geral, estas fases de controlo (não necessariamente todas) estão presentes em protocolos de linha PP e MP.

# Controlo da ligação de dados

## *protocolos de linha*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- **Ligações Ponto-a-Ponto (PP)**
  - Em geral são ligações com um canal para transmissão em cada sentido
  - Por usarem canal dedicado (não partilhado), a ligação lógica pode efectuar-se imediatamente porque o canal está naturalmente *adquirido*.
- **Ligações Multiponto (MP)**
  - Em geral são ligações com um único canal de transmissão que é partilhado por várias estações
  - A ligação lógica tem de ser precedida pela aquisição do canal através de um ***protocolo de acesso ao meio (protocolo MAC)***.

# Controlo da ligação de dados

*protocolos de linha: protocolo MAC (Medium Access Control)*



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Departamento de Informática

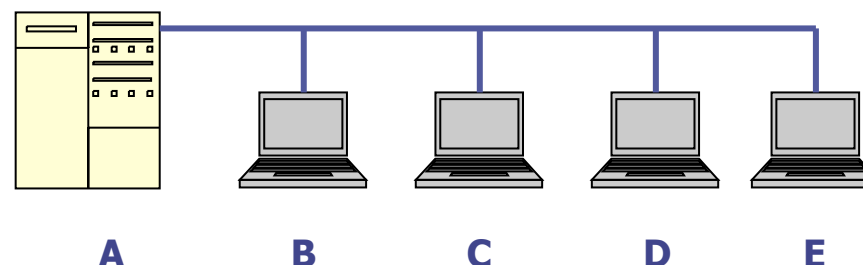
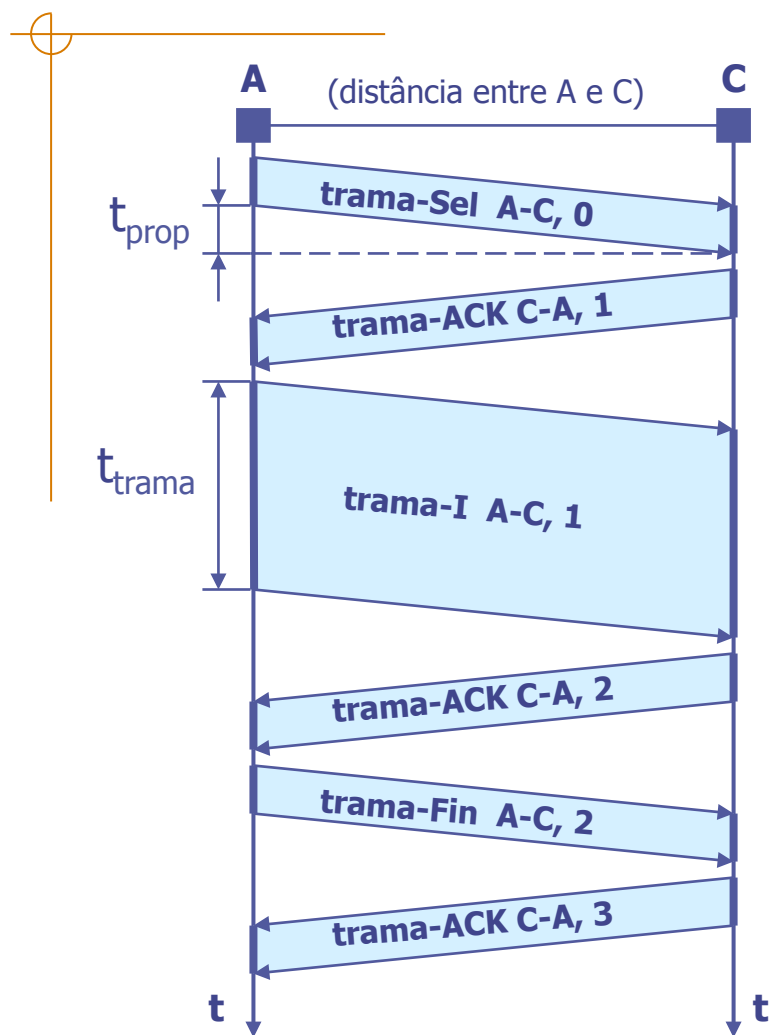
- Tipos de protocolos de acesso para ligações MP
  - **Poll/Select:** a estação primária passa o controlo para uma estação secundária (**poll**) ficando esta autorizada a **seleccionar** outra estação para enviar dados.
  - **Contencioso:** todas as estações são primárias e secundárias (mistas) podendo duas ou mais transmitir simultaneamente dando origem a **colisões** de tramas que terão de ser posteriormente retransmitidas. Existe **contenção para a aquisição** do meio.

# Controlo da ligação de dados

## *protocolos de linha: Poll-Select*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática



Considere-se que a estação (A) é a primária e que as restantes são estações secundárias

A estação primária (A) selecciona a estação secundária (C) para lhe enviar dados

Diz-se que (A) estabelece uma ligação lógica com a estação (C)

$t_{prop}$  = tempo de propagação entre A e C

$t_{trama}$  = tempo de transmissão da trama-I

# Controlo da ligação de dados

## *endereçamento*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Característica comum a todas as ligações multiponto: necessidade de **endereçamento**.
  - *Poll/select ; contencioso* - exige o endereço das estações envolvidas
- Numa ligação PP, não há a necessidade de se usar endereçamento nas tramas, embora seja usado a fim de dar generalidade ao protocolo.
  - Designações comuns: endereço Ethernet, endereço MAC, endereço hardware, ... (ver módulo 3)

# Controlo da ligação de dados

## *controlo de fluxo*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Técnica para assegurar que a estação que transmite não sobrecarrega a que recebe, evitando perda de tramas.
- Em geral, a existência de *buffers* na estação de recepção, reduz mas não elimina a necessidade de controlar o fluxo.
- A perda de tramas pode ocorrer, também, na(s) rede(s) de interligação das estações quando estas se encontram congestionadas nalgum ponto do percurso entre a estação que transmite e a que recebe.
- Técnicas mais comuns de controlo de fluxo:
  - *stop-and-wait*
  - *sliding window* (janela deslizante)

# Controlo da ligação de dados

## *controlo de fluxo*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- ***Stop-and-Wait***

- Após a transmissão de uma trama, a fonte aguarda confirmação da sua recepção (ACK) antes de transmitir a trama seguinte.
  - O receptor pode parar o fluxo de dados suspendendo temporariamente as confirmações.
- Esta técnica funciona bem quando uma mensagem é fragmentada em poucas tramas de grande dimensão.
- Contudo, se o tamanho das tramas é grande...
  - é maior a probabilidade de erro na trama,
  - é maior ocupação de recursos (buffers, processadores),

# Controlo da ligação de dados

## *controlo de fluxo*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- ***Sliding-Window***

- permite que existam **múltiplas tramas** de dados em trânsito
- o transmissor pode enviar até **W** tramas de dados sem que receba qualquer confirmação da sua receção
- obriga o uso de sequenciação ( $n$  bits, numeração módulo  $2^n$ )
- cada confirmação positiva indica a próxima trama esperada
- pode haver **confirmação simultânea** de múltiplas tramas
- existem mecanismos distintos para transmitir e receber

- **W** é designado **abertura da janela**

- ( $W_{\max}=2^n-1$  em Go-back-N)
- ( $W_{\max}=2^{n-1}$  em Selective Reject)

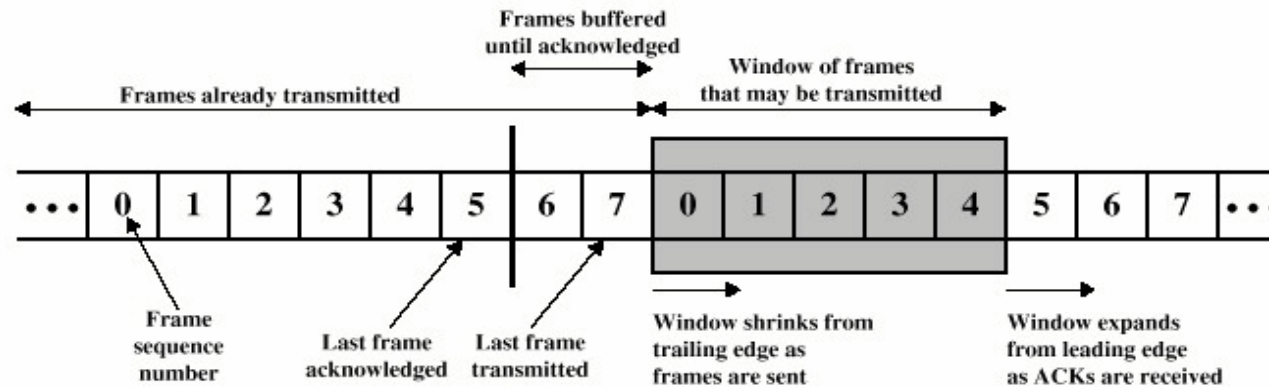


# Controlo da ligação de dados

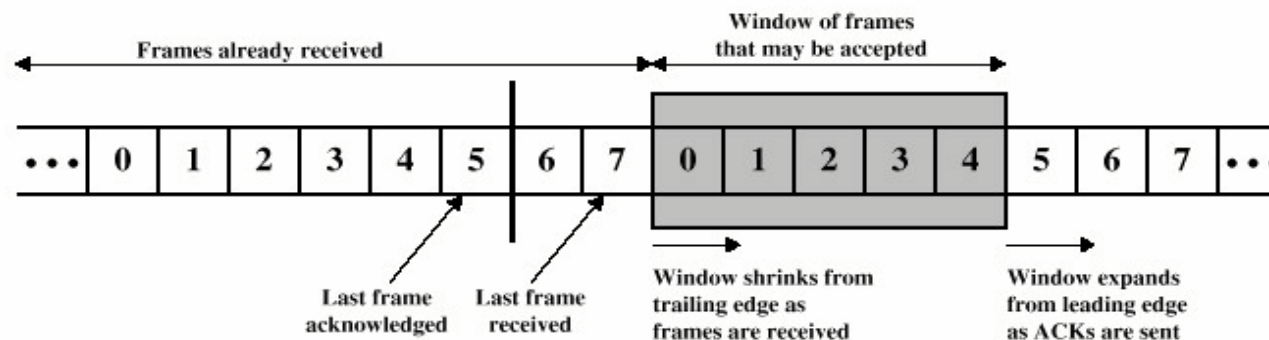
## *controlo de fluxo: janela deslizante, funcionamento*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática



**a) Na perspectiva da estação transmissora**



**b) Na perspectiva da estação receptora**

Janela deslizante com  $n=3$  e  $W=7$

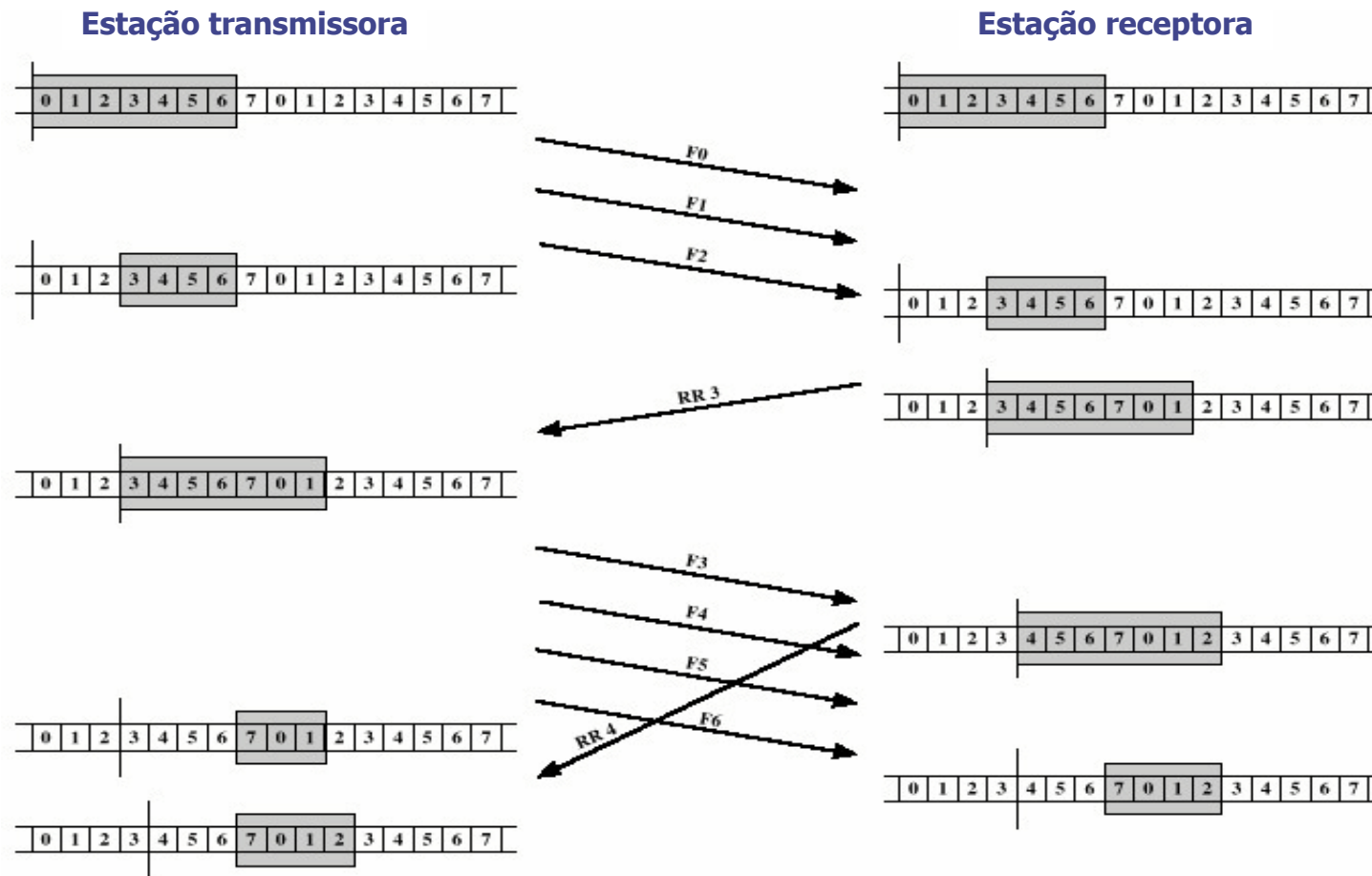
[DCC, Stallings99]

# Controlo da ligação de dados

## controlo de fluxo



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática



Janela deslizante com  $n=3$  e  $W=7$

[DCC, Stallings99]

# Controlo da ligação de dados

*controlo de fluxo - utilização da ligação*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- A utilização ou rendimento da ligação depende de **W** e do parâmetro **a**
- O parâmetro **a** é a razão entre o tempo de propagação e o tempo de transmissão

$$a = t_{\text{prop}} / t_{\text{trama}}$$

$$a = (d/v) / (L/r)$$

$$a = rd / vL$$

d - distância (m); v - velocidade de propagação (m/s);

L - comprimento trama (bits); r - ritmo de transmissão (bps)

# Controlo da ligação de dados

## *controlo de fluxo - utilização da ligação*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- *Stop-and-Wait (Pára-e-Espera)*

- A **Utilização** da ligação é a fração do tempo total que é útil, ie, que é utilizado a transferir tramas de dados,  $U = t_{\text{util}} / t_{\text{total}}$ :

$$U = 1 / (1 + 2a)$$

- *Sliding Window (Janela Deslizante)*

Exemplo: ligação *full-duplex* entre duas estações A e B

- **Caso 1** - A estação A transmite continuamente. A confirmação de chegada da trama 1 ocorre **antes** da janela se fechar, então

$$U = 1 \quad \text{se} \quad W \geq 2a + 1$$

- **Caso 2** - A estação A tem a janela fechada em  $t_0 + W$  e não pode enviar tramas até  $t_0 + 2a + 1$  (chegada do primeiro ACK), então

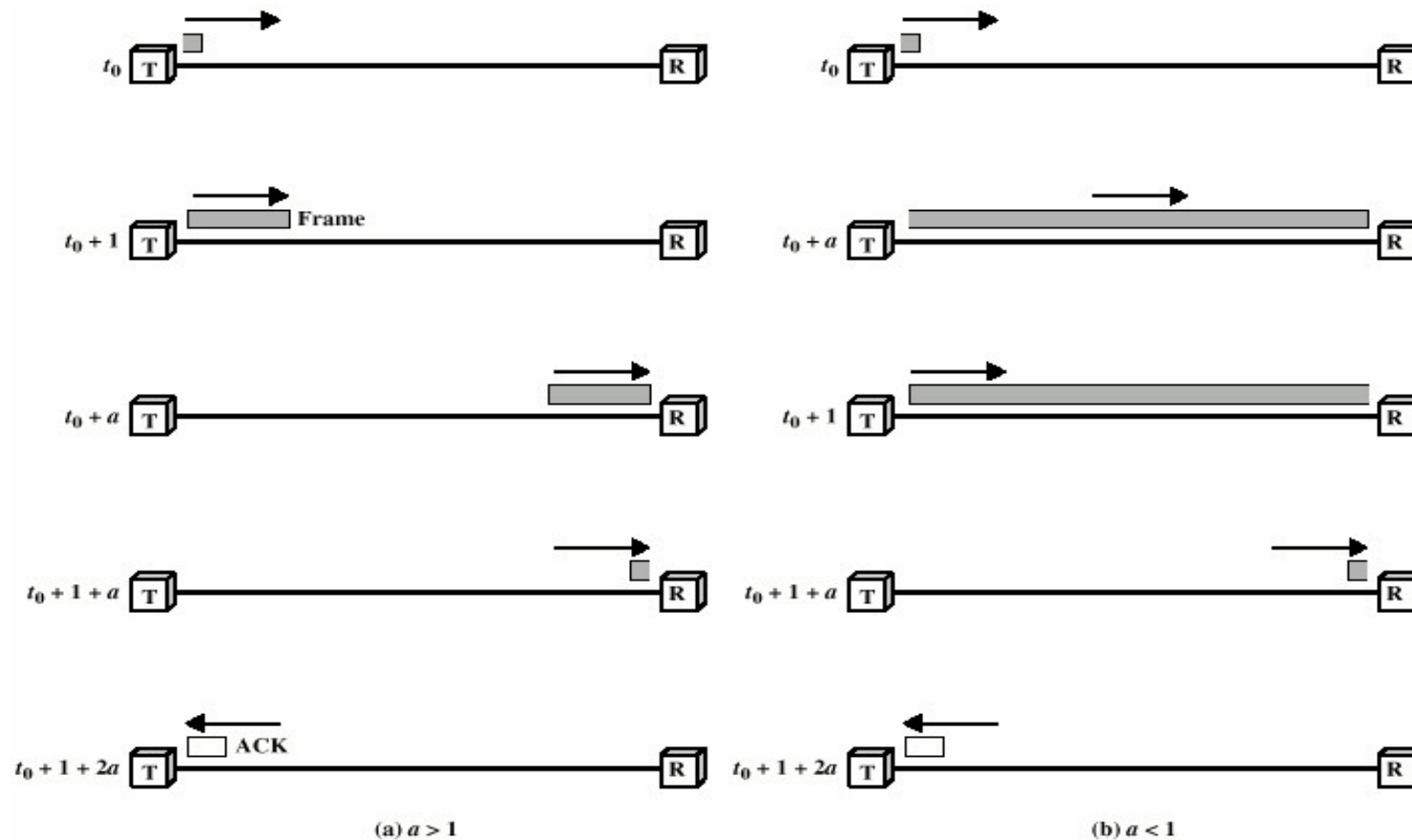
$$U = W / (2a + 1) \quad \text{se} \quad W < 2a + 1$$

# Controlo de ligação de dados

*controlo de fluxo - utilização da ligação (Stop-and-Wait)*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática



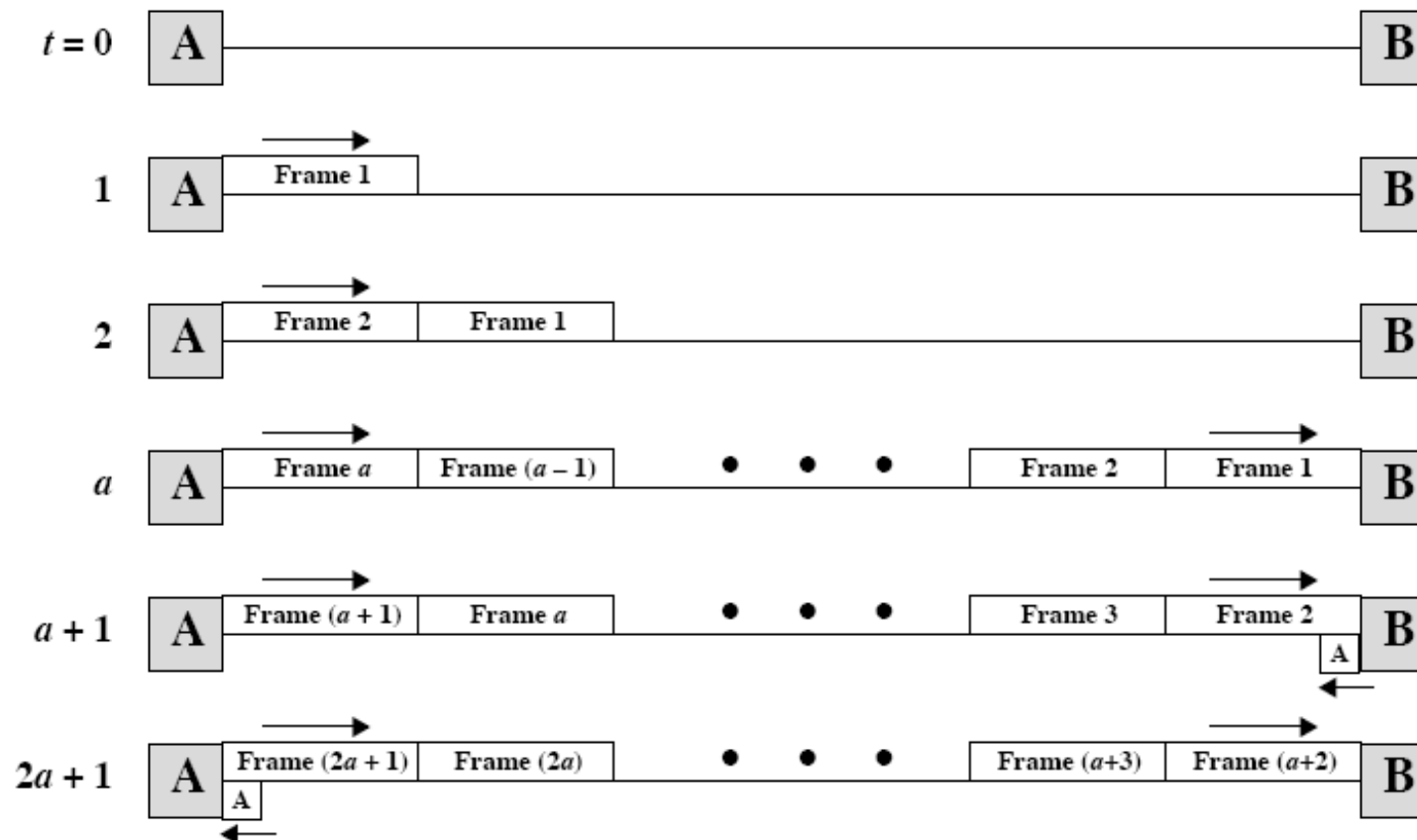
fazendo  $t_{\text{trama}} = 1$  tem-se  $t_{\text{prop}} = a$

Efeito do parâmetro  $a$

[DCC, Stallings99]

# Controlo de ligação de dados

*controlo de fluxo - utilização da ligação (janela dest.)*

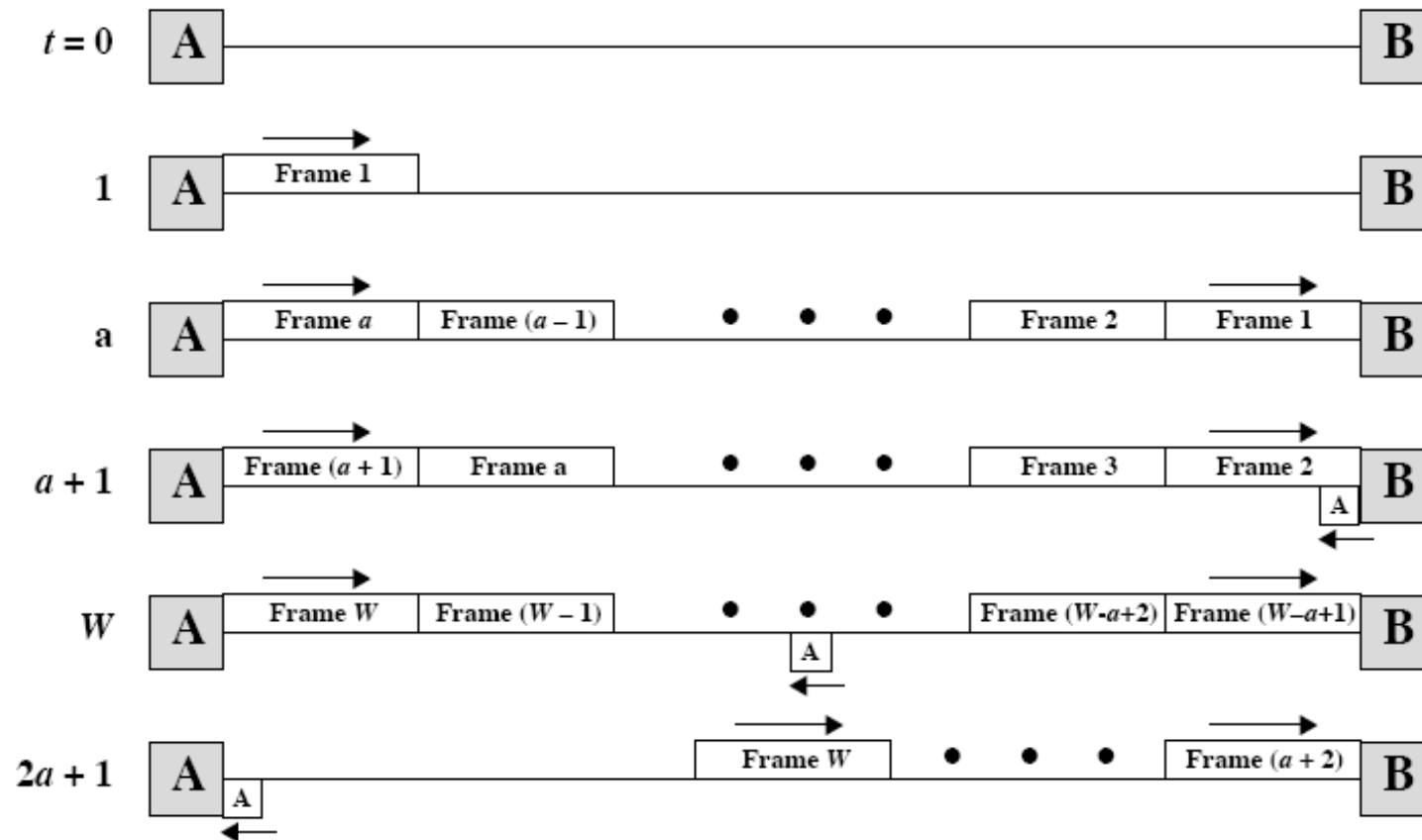


(a)  $W \geq 2a + 1$

A trama ack 1 chega antes da janela da estação A fechar

# Controlo de ligação de dados

*controlo de fluxo - utilização da ligação (janela dest.)*



(b)  $W < 2a + 1$

A janela fecha antes de ack 1 chegar à estação A

# Controlo de ligação de dados

*parâmetro a. Exemplos*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- **Exemplo 1:** Rede LAN

Assumindo os valores:

Distância: duas estações a 10 Km de distância

Velocidade prop.:  $V = 2 \times 10^8$  m/s

Tamanho trama:  $L = 1000$  bits

Ritmo de transmissão:  $r = 10$  Mbps

**Solução**

E1:  $a = 0.5$

E2:  $r = 2,5$  Mbps

- **Exercício1:** calcular  $a = ?$
- **Exercício2:** Que ritmo de transmissão deve ser considerado de forma que um mecanismo de *stop-and-wait* obtenha um factor de utilização de 80% ?



# Controlo de ligação de dados

*parâmetro a. Exemplos*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- **Exemplo 2:** Rede WAN com ATM

Assumindo os valores:

Distância: duas estações a 1000 Km de distância

Velocidade prop.:  $V = 2 \times 10^8$  m/s

Tamanho trama:  $L = 424$  bits

Ritmo de transmissão:  $r = 155$  Mbps

**Solução**

E1:  $a = 1827,8$

E2:  $w = 1825$

- **Exercício1:** calcular  $a = ?$
- **Exercício2:** Qual o tamanho de janela necessária para se obter um grau de utilização de 50%?

# Controlo de ligação de dados

## *controlo de erros*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Envolve a **detecção de falhas** nas tramas trocadas de modo a tornar a ligação de dados fiável.
- Tipos de falhas: trama perdida ou trama errada
- As técnicas para controlo de erros são ARQ, que envolve:
  - detecção de erros na trama recebida através do CRC
  - confirmação positiva: para tramas recebidas sem erros
  - confirmação negativa e retransmissão: para tramas onde é detectado erro
  - retransmissão por limite de tempo - se não é recebida confirmação de trama, dentro do período de tempo  $t$

# Controlo da ligação de dados

## *controlo de erros*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- O ARQ (Automatic Repeat reQuest):
  - processa-se de forma automática e contínua, sem qualquer intervenção do utilizador
  - Existem diversas alternativas para métodos de ARQ
- Métodos ARQ:
  - ***Stop-and-wait*** (Pára-e-espera)
  - ***Go-back-N*** (volta-atrás-N)
  - ***Selective Reject*** (rejeição selectiva)

# Controlo da ligação de dados

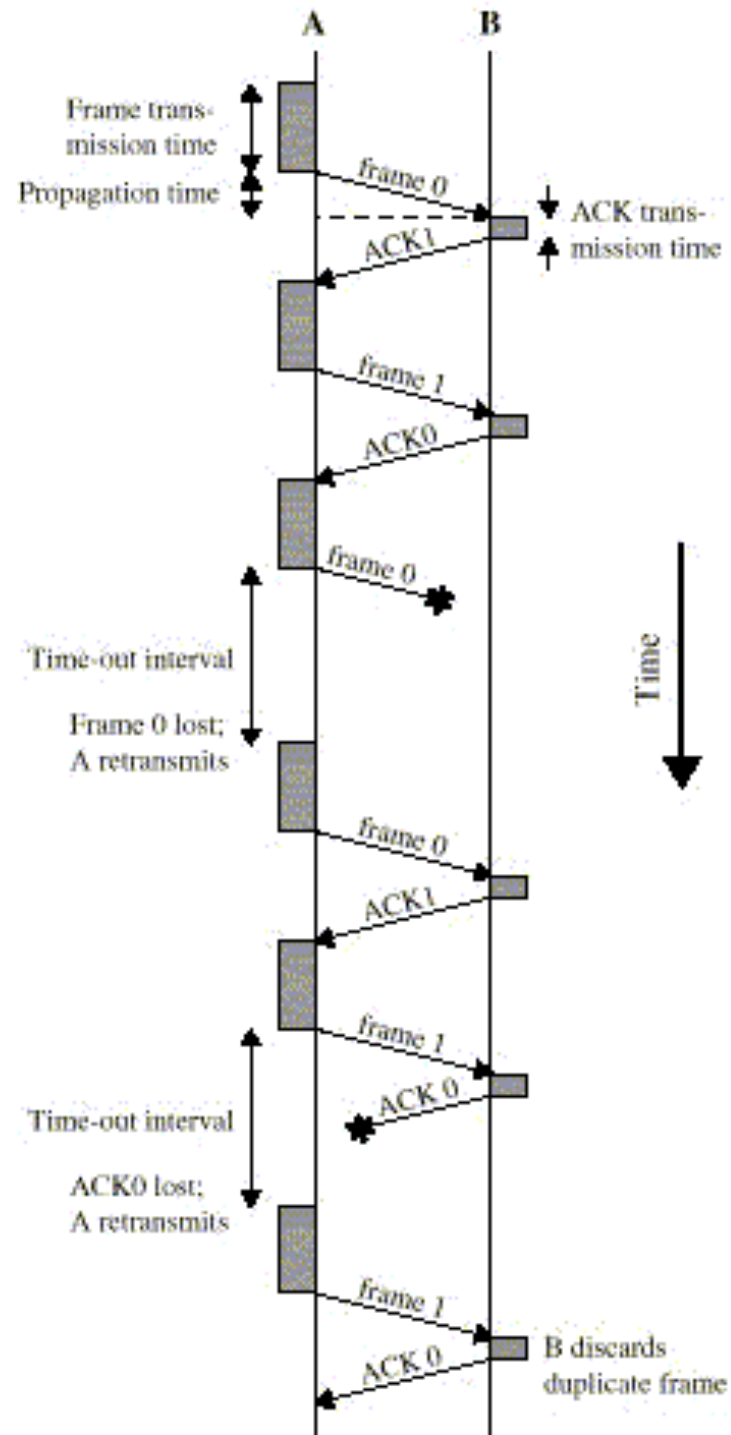
## *controlo de erros*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- ***stop-and-wait* (ou *idle RQ*)**
  - usado na técnica de controlo de fluxo *stop-and-wait*
  - transmissor:
    - activa temporizador e mantém cópia da trama até obter ACK
    - no máximo espera *timeout* até transmitir de novo
  - receptor:
    - envia ACK, NAK (pedido explícito) ou *no reply* (pedido implícito)
  - sequenciação necessária para resolver a situação de erro na trama de confirmação (duplicação da trama)
- vantagem: simples; desvantagem: reduzida eficiência

## *stop-and-wait*



# Controlo da ligação de dados

## *controlo de erros*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- ***volta-atrás-N***
  - usado na **janela deslizante**
  - a falta de sequenciação ou erro na recepção implica a retransmissão a partir de uma determinada ordem.

### Exemplos de situações:

- A trama<sub>i</sub> enviada está corrompida ou foi perdida durante a transmissão
  - Ao receber a trama<sub>i+1</sub> o receptor gera um REJ i. O emissor tem de transmitir a trama<sub>i</sub> **e todas as seguintes**
  - Se o receptor não recebeu mais nenhuma trama o emissor terá um processo de **timeout** gerando uma trama Receiver Ready (RR) com bit P = 1 obrigando o receptor a confirmar a próxima trama de que está à espera. Neste caso o receptor envia a trama RR i

# Controlo da ligação de dados

*controlo de erros*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- ***volta-atrás-N***

- **Exemplos de situações:**

- Confirmações perdidas
    - Receptor recebe a trama<sub>i</sub> e envia confirmação RR i+1 que é perdida no caminho. Como as **confirmações são cumulativas** qualquer outra confirmação posterior poderá confirmar a trama<sub>i</sub>, ex: receção da trama<sub>i+1</sub> e envio de RR i+2
    - Em caso de não haver recepções posteriores um processo de **timeout** irá obrigar o emissor a pedir confirmação do estado ao receptor
  - Rejeições perdidas
    - Mecanismos de recuperação similares aos explicados anteriormente....

# Controlo da ligação de dados

## *controlo de erros*



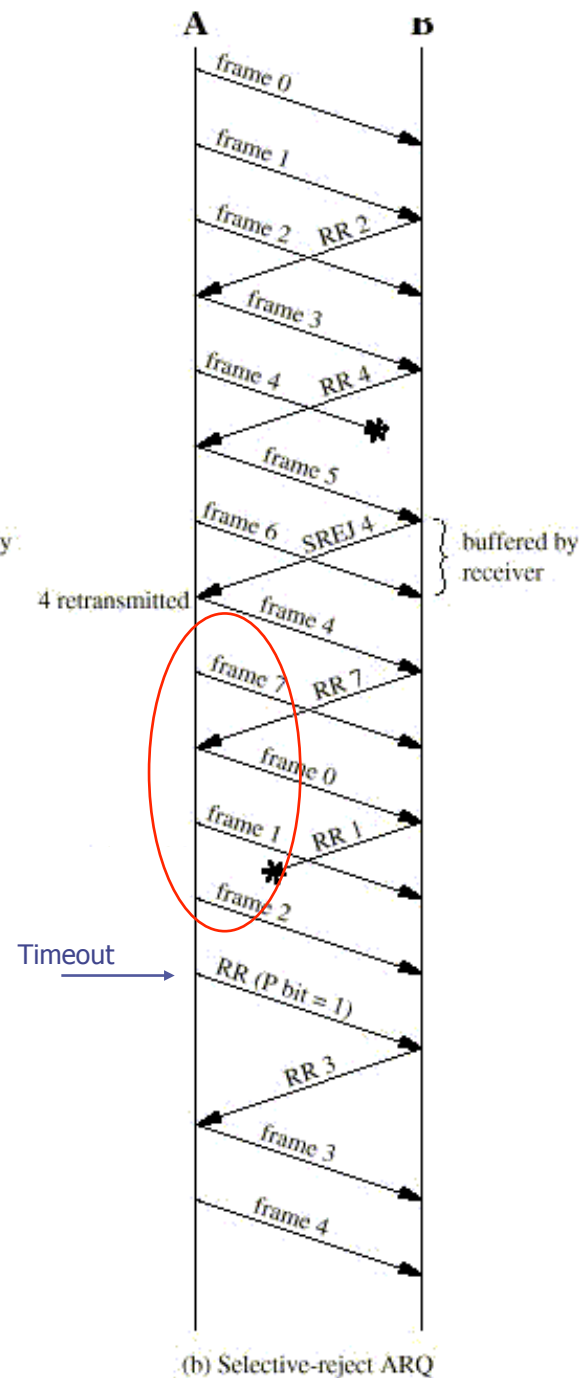
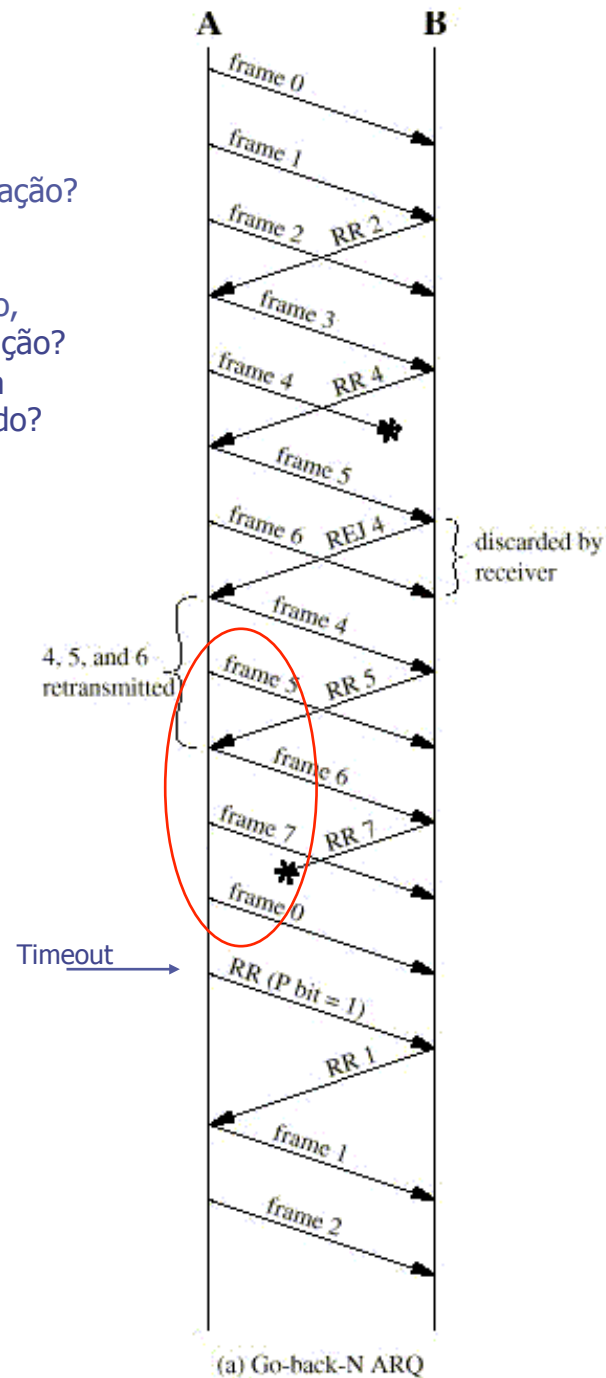
Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- ***rejeição selectiva***

- alternativa possível na **janela deslizante**
- apenas são retransmitidas as tramas que recebem confirmação negativa explícita (SREJ) ou se ocorre *timeout*.
- Trama posteriormente transmitidas e correctamente recebidas não tem que ser retransmitidas
- $W_{\max}$  mais restritivo para não sobrepor as janelas na transmissão e na recepção ( **$W_{\max}=2^n-1$  e não  $W_{\max}=2^n-1$** )
- vantagem: menos retransmissões, melhor utilização da ligação
- desvantagem: requer mais processamento (e controlo) na transmissão e na recepção



- Duplexidade da ligação?
- Controlo de fluxo?
- Controlo de erros?
- Nº bits numeração, módulo de numeração?
- Tamanho de janela máximo e negociado?



# Controlo da ligação de dados

## *controlo de erros*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- No mecanismo de rejeição selectiva a ordem das tramas na recepção não é mantida daí que:
  - Implica a capacidade de guardar frames recebidos após rejeição
  - Receptor - inserção de frames fora de sequência;
  - Emissor – emissão de frames fora de sequência
- O mecanismo **volta-atrás-N** é mais usado do que o de rejeição selectiva, pois apesar de conduzir a uma pior utilização da ligação, reduz a complexidade do receptor.