



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

# Redes de Computadores

## Módulo 3 - Protocolos de Ligação (*HDLC* e outros)

Universidade do Minho  
Grupo de Comunicações por Computador  
Departamento de Informática

# Protocolos de ligação

## HDLC



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Protocolo HDLC (High-level Data Link Control)
  - norma da ISO (ISO 3309, 4335) para uso em ligações PP e MP
  - outros protocolos de ligação (LLC, PPP) derivam do HDLC
  - orientado ao bit; muito usado em redes de computadores
- O HDLC suporta
  - estações: primárias, secundárias e mistas (combinadas)
  - configurações: não balanceada e balanceada (tb. HDX e FDX)
  - modos de operação:
    - Normal Response Mode (NRM) (não balanceado)
    - Asynchronous Response Mode (ARM) (não balanceado)
    - Asynchronous Balanced Mode (ABM) (balanceado)

# Protocolos de ligação

## *HDLC: modos de operação*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- **NRM**
  - a estação primária pode iniciar a transferência de dados; a secundária apenas pode transmitir com um comando específico da primária  
exemplo: ligações computador-terminal/periférico
- **ARM**
  - a estação secundária pode iniciar a transmissão sem receber qualquer solicitação da estação primária.  
exemplo: ligação computador-periférico onde este necessite tomar a iniciativa.
- **ABM**
  - qualquer estação pode tomar a iniciativa na transmissão  
exemplo: ligações computador-computador (é o mais usado)

# Protocolos de ligação

## *HDLC: definição da trama*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Estrutura das trama HDLC
  - as mensagens de controlo e os dados são transportadas em tramas de formato único e normalizado
    - *flag* : 8 bits de padrão de alinhamento de trama: 01111110
    - endereço: um ou mais octetos
    - control: um ou dois octetos (formato normal ou estendido)
    - dados: campo de informação de tamanho variável
    - FCS: Frame Check Sequence (16 ou 32 bits, método CRC)



← sentido da transmissão

# Protocolos de ligação

## *HDLC : transparência, bit stuffing*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- O protocolo HDLC usa a técnica de ***bit stuffing*** para obter transparência dos dados, isto é, para evitar que um possível padrão 01111110 dentro da trama seja tomado como *flag*.
- É inserido um **0** após cinco **1** consecutivos
- O receptor retira cada **0** que suceda a cinco **1** consecutivos

### Exemplo

- se a trama contém a sequência:

001111110101111111111110101011101011111000101

- após *bit-stuffing* é transmitido:

00111111**0**1010111111**0**111111**0**10101011101011111**0**000101

# Protocolos de ligação

## *HDLC: verificação de erros*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Frame Check Sequence (FCS)
  - é calculado sobre toda a trama, exceptuando as *flags*
  - pode ser usado CRC-16 ou CRC-32 de acordo com o tamanho das tramas ou a fiabilidade da linha (Bit Error Rate, BER):

CRC-16:  $x^{16}+x^{12}+x^5+1$

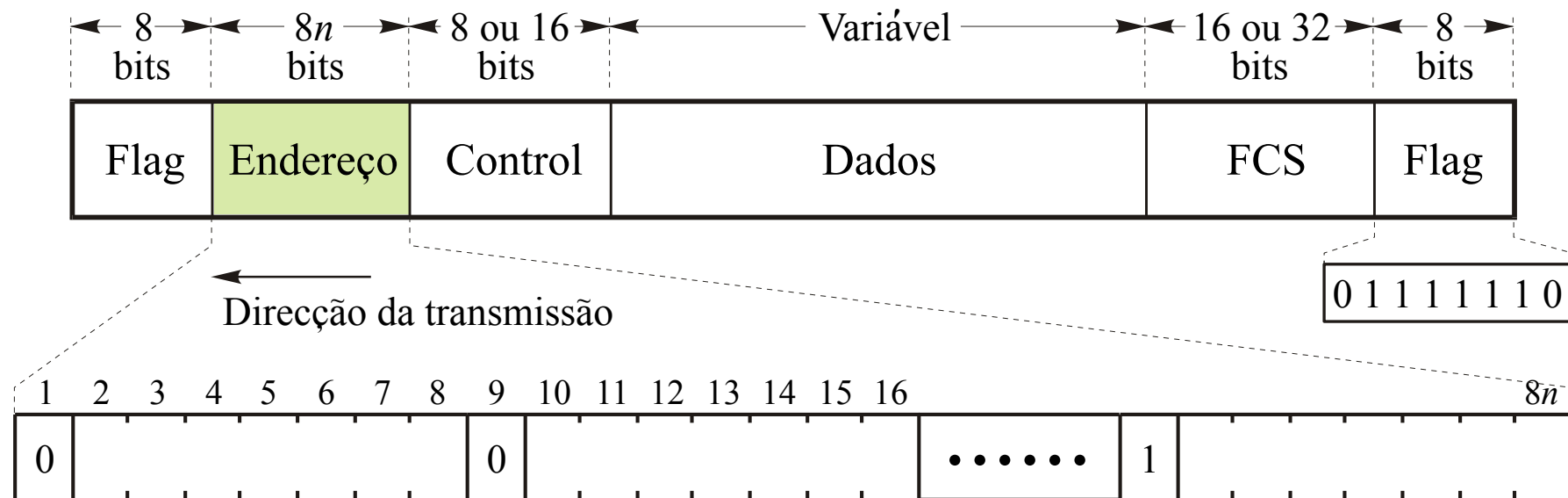
CRC-32:  $x^{32}+x^{26}+x^{23}+x^{22}+x^{16}+x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^8+x^7+x^5+x^4+x^2+x+1$

# Protocolos de ligação

## HDLC: endereçamento



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática



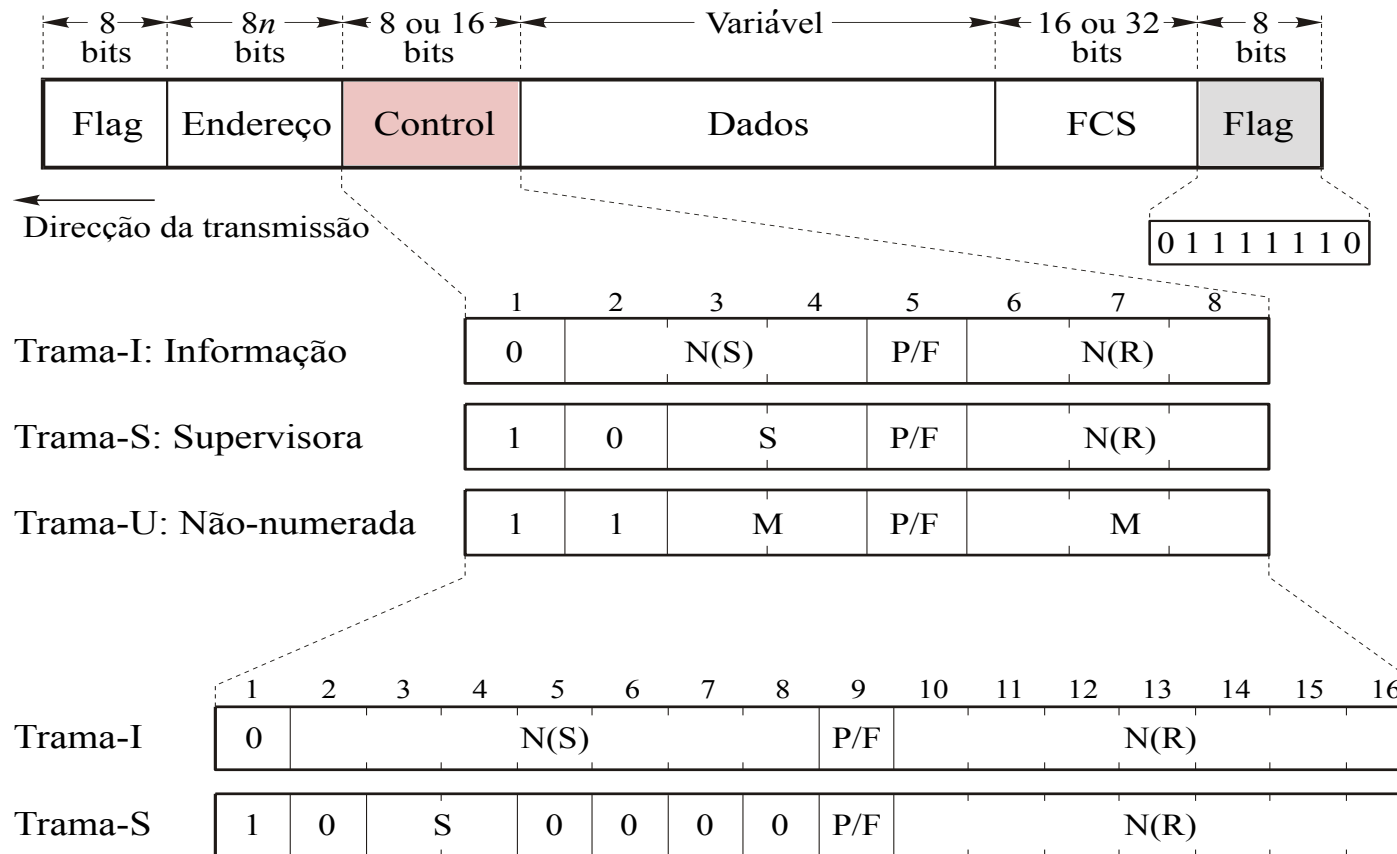
- O conteúdo do campo endereço varia com o modo de operação; suporta endereços de grupo ou difusão
- Normalmente 8 bits mas suporta um formato estendido
- O primeiro bit indica se o octeto corrente do endereço é o último (=1) ou se lhe seguem outros (=0)

# Protocolos de ligação

## HDLC: campo de control



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática



N(S) = número de sequência de envio (Send)  
N(R) = número de sequência de recepção (Receive)  
S = bits da função Supervisora

M = bits da função não-numerada  
P/F = bit *Poll/Final*



# Protocolos de ligação

## HDLC: tipos de trama



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Tipos de tramas (I, S, U):
  - (I) informação - usadas para transporte de dados do utilizador
  - (S) supervisão - usadas para controlo de fluxo e de erros
  - (U) não-numeradas - usadas para inicializar/terminar a ligação
- As tramas são também classificadas como *comando* ou *resposta*
- Formato do campo de control normal para cada tipo de trama:

0	1	2	3	4	5	6	7
0	N(S)			P/F	N(R)		
1	0	S		P/F	N(R)		
1	1	M		P/F	M		

Tipo I

Tipo S

Tipo U

# Protocolos de ligação

## *HDLC: tipos de trama*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Tramas de informação
  - o campo de dados é passado de/para o nível protocolar superior
  - N(S) número sequencial da trama corrente enviada
  - N(R) número sequencial da próxima trama esperada receber

*O campo N(R) possibilita, à estação que envia, a confirmação implícita de tramas I recebidas - confirmação em **piggyback***

- O bit P/F (Poll/Final) é usado para efectuar o *poll* de uma estação forçando-a a uma resposta  
[Obs: não é o mesmo que o Poll de acesso à linha mencionado no Cap 2]

# Protocolos de ligação

## *HDLC: tipos de trama*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Tramas de supervisão
  - **RR** N(R) (*Receiver Ready*)
    - usadas na impossibilidade de fazer *piggyback*
    - confirmação mais rápida
  - **RNR** (*Receiver Not Ready*)
    - indicam indisponibilidade temporária para a recepção de tramas I
  - **REJ** N(R) ou **SREJ** N(R)
    - retransmissão a partir da trama N(R) ou retransmissão selectiva da trama N(R)
- não contêm informação do utilizador (nível superior)
- usadas unicamente na fase de transferência de dados

# Protocolos de ligação

## *HDLC: tipos de trama*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Tramas não-numeradas (exemplos)
  - **SABM/SABME** (set asynchronous balanced mode/extended);  
**SNRM/SNRME** (set normal response mode/extended); **SARM/SARME** (set asynchronous response mode/extended);
    - comandos que inicializam a ligação lógica e estabelecem o modo de operação
  - **DISC**
    - termina a ligação lógica
  - **UA** (*Unnumbered Ack*)
    - confirma o estabelecimento ou terminação da ligação
  - ...

# Protocolos de ligação

## HDLC: codificação do campo de control



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

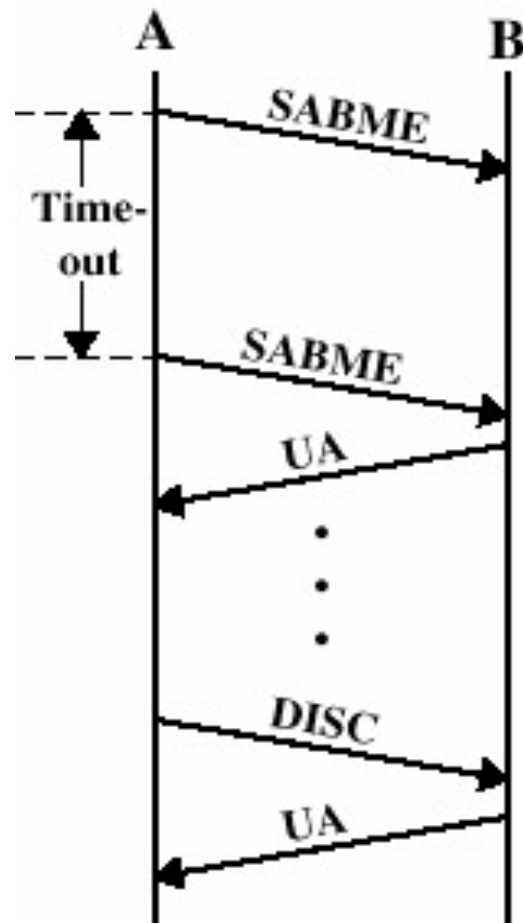
	Código no campo de control								Com/ Resp	Trama	Descrição
	1	2	3	4	5	6	7	8			
I	0	-	N(S)	-	P/F	-	N(R)	-	C/R	I	Informação
S	1	0	0	0	P/F	-	N(R)	-	C/R	RR	Receive Ready
	1	0	0	1	P/F	-	N(R)	-	C/R	REJ	Reject
	1	0	1	0	P/F	-	N(R)	-	C/R	RNR	Receive not ready
	1	0	1	1	P/F	-	N(R)	-	C/R	SREJ	Selective reject
U	1	1	0	0	P/F	0	0	0	C/R	UI	Unnumbered info
	1	1	0	0	P	0	0	1	C	SNRM	Set NRM mode
	1	1	0	0	P	0	1	0	C	DISC	Disconnect
	1	1	0	0	F	0	1	0	R	RD	Request disconnect
	1	1	0	0	F	1	0	0	R	UP	Unnumbered poll
	1	1	0	0	F	1	1	0	R	UA	Unnumbered ack
	1	1	0	1	P/F	0	0	0	C/R		Nonreserved 0
	1	1	0	1	P/F	0	0	1	C/R		Nonreserved 1
	1	1	0	1	P/F	0	1	0	C/R		Nonreserved 2
	1	1	0	1	P/F	0	1	1	C/R		Nonreserved 3
	1	1	1	0	P	0	0	0	C	SIM	Set init mode
	1	1	1	0	F	0	0	0	R	RIM	Request init mode
	1	1	1	0	F	0	0	1	R	FRMR	Frame reject
	1	1	1	1	P	0	0	0	C	SARM	Set ARM mode
	1	1	1	1	F	0	0	0	R	DM	Disconnect mode
	1	1	1	1	P	0	0	1	C	RSET	Reset
	1	1	1	1	P	0	1	0	C	SARME	Set ARM extended
	1	1	1	1	P	0	1	1	C	SNRME	Set NRM extended
	1	1	1	1	P	1	0	0	C	SABM	Set ABM mode
	1	1	1	1	P/F	1	0	1	C/R	XID	Exchange identific
	1	1	1	1	F	1	1	0	C	SABME	Set ABM extended

# Protocolos de ligação

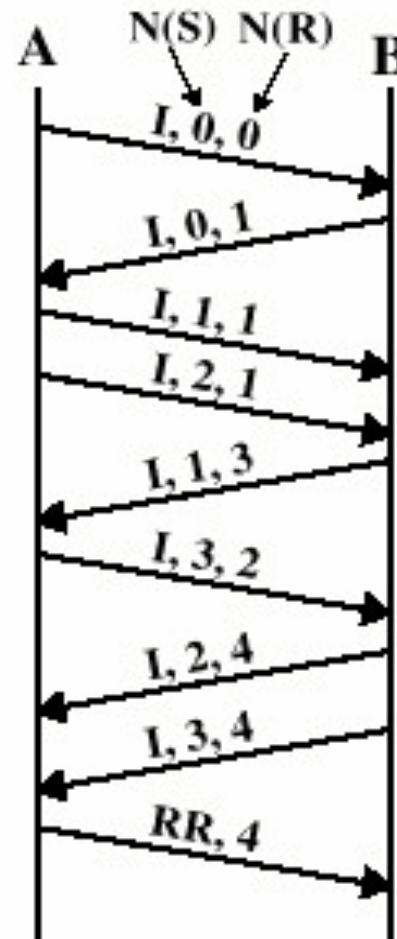
## HDLC: operação



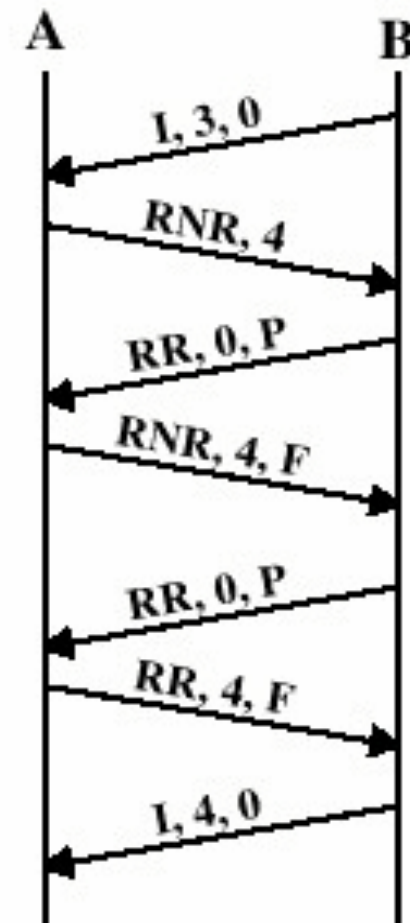
Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática



a) Estabelecimento e terminação da ligação



b) Transferência de dados em duplex



c) Estado estação A ocupada

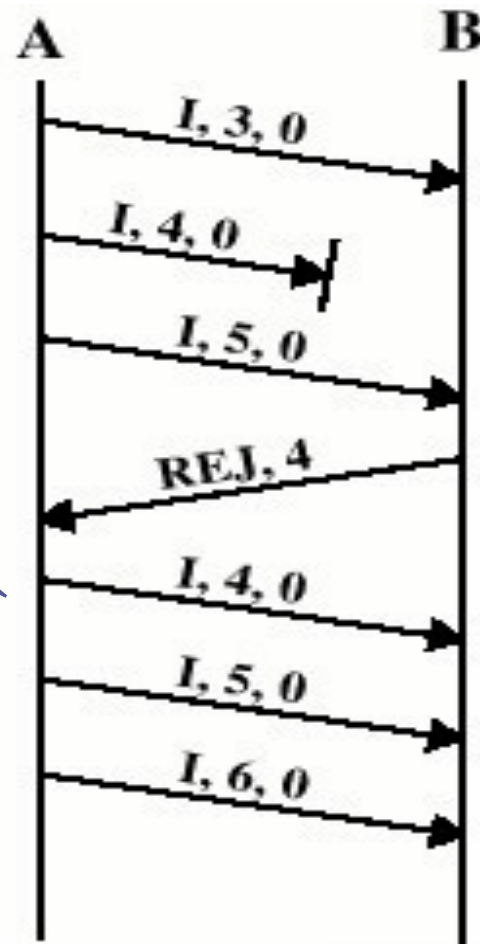
# Protocolos de ligação

## HDLC: operação

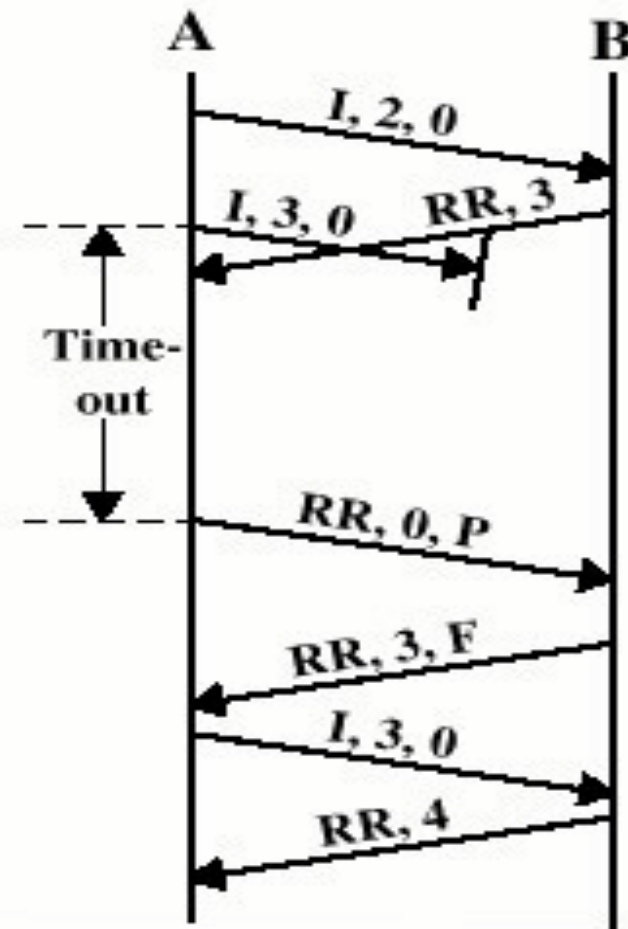


Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- tamanho janela ?
- bits de numeração ?
- sequenciação se SREJ ?



d) Recuperação de Reject



e) Recuperação de Timeout

# Protocolos de ligação

## *HDLC: parâmetros do protocolo*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- T1: Timeout(FRACK), tempo máximo de espera por um ACK antes de retransmitir a trama
- T2: Timeout(ResponseTime), tempo de espera entre a recepção de uma trama-I e o envio do ACK (RR,RNR,REJ)
- T3: Timeout(CHECKTime), tempo máximo de inatividade antes de enviar um *poll* para testar a ligação
- T4: Timeout(DisconnectTime), tempo máximo de inatividade antes de terminar automaticamente a ligação
- N1: comprimento máximo das tramas
- N2: número máximo de retransmissões de uma trama
- K: abertura da janela de controlo de fluxo



# Protocolos de ligação

## *HDLC: operação (exemplo)*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

Exercício: diagrama  
temporal ?

Traço visualizado no interface serial0/0 do router-ext:

```
1w2d: Serial0/0: LAPB O SABMSENT (2) SABM P
1w2d: Serial0/0: LAPB I SABMSENT (2) SABM P
1w2d: Serial0/0: LAPB O CONNECT (2) UA F
1w2d: Serial0/0: LAPB I CONNECT (2) UA F
1w2d: Serial0/0: LAPB I CONNECT (54) IFRAME 0 0
1w2d: Serial0/0: LAPB I CONNECT (66) IFRAME 1 0
1w2d: Serial0/0: LAPB O CONNECT (2) RR (R) 2
1w2d: Serial0/0: LAPB O CONNECT (66) IFRAME 0 2
1w2d: Serial0/0: LAPB I CONNECT (2) RR (R) 1
1w2d: Serial0/0: LAPB I CONNECT (174) IFRAME 2 1
1w2d: Serial0/0: LAPB O CONNECT (2) RR (R) 3
1w2d: Serial0/0: LAPB I CONNECT (70) IFRAME 3 1
1w2d: Serial0/0: LAPB O CONNECT (54) IFRAME 1 4
.....
```

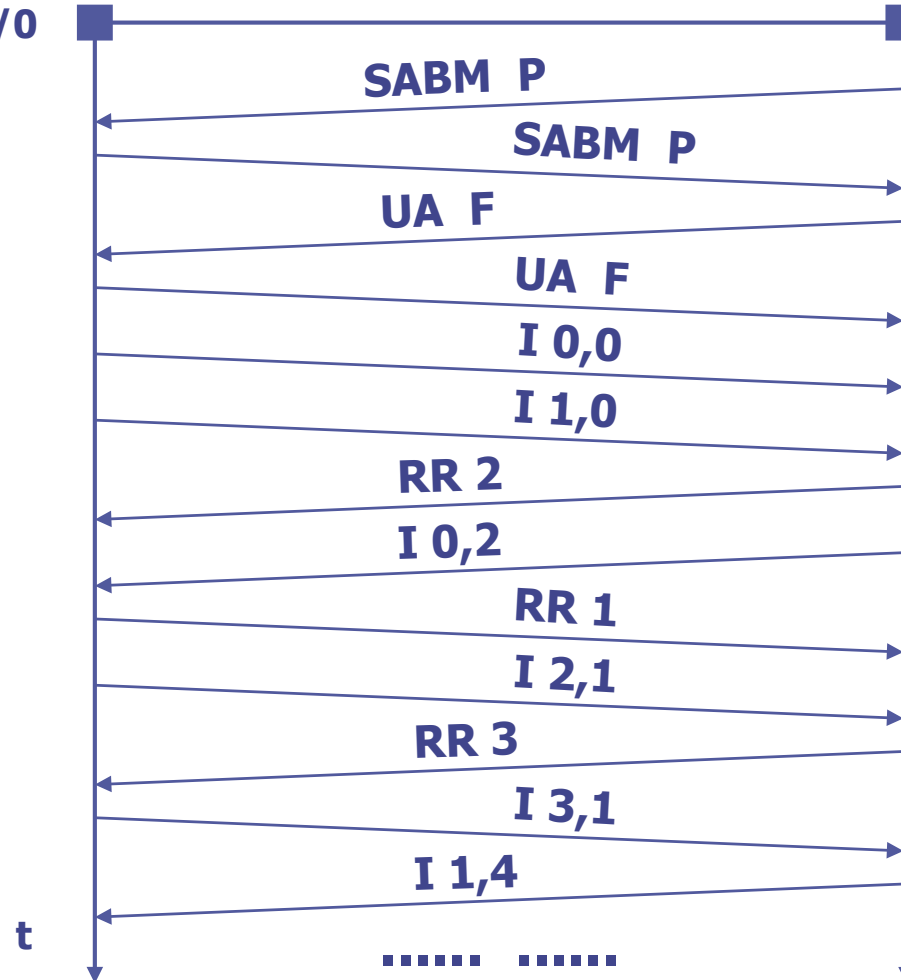
# Protocolos de ligação

## HDLC: operação (diagrama exemplo)



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

router-lab serial2/0



router-ext serial0/0

**Out SABM P=1**

**Inp SABM P=1**

**Out UA F=1**

**Inp UA F=1**

**Inp I N(S)=0,N(R)=0**

**Inp I N(S)=1,N(R)=0**

**Out RR N(R)=2**

**Out I N(S)=0,N(R)=2**

**Inp RR N(R)=1**

**Inp I N(S)=2,N(R)=1**

**Out RR N(R)=3**

**Inp I N(S)=3,N(R)=1**

**Out I N(S)=1,N(R)=4**

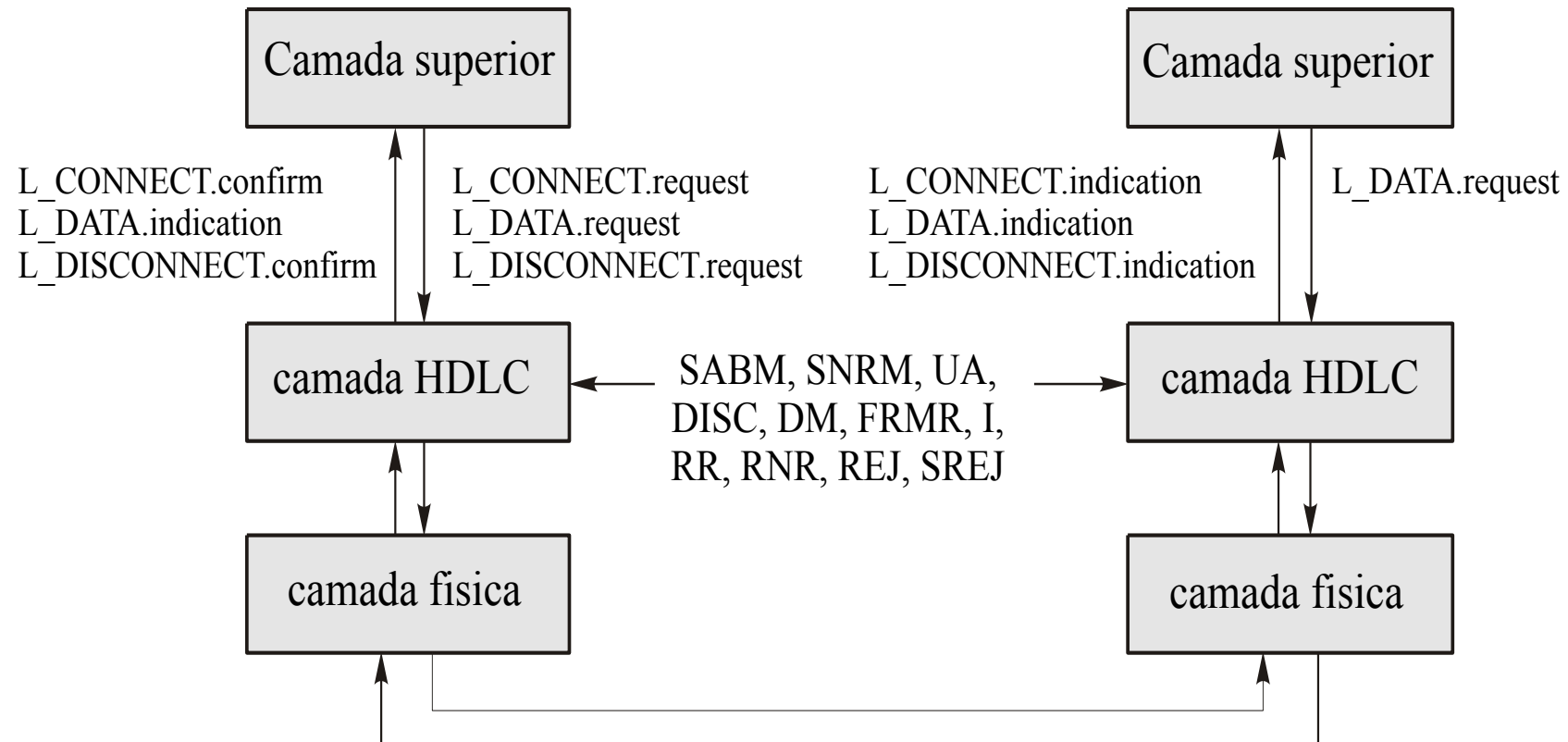
# Protocolos de ligação

## HDLC: primitivas de serviço



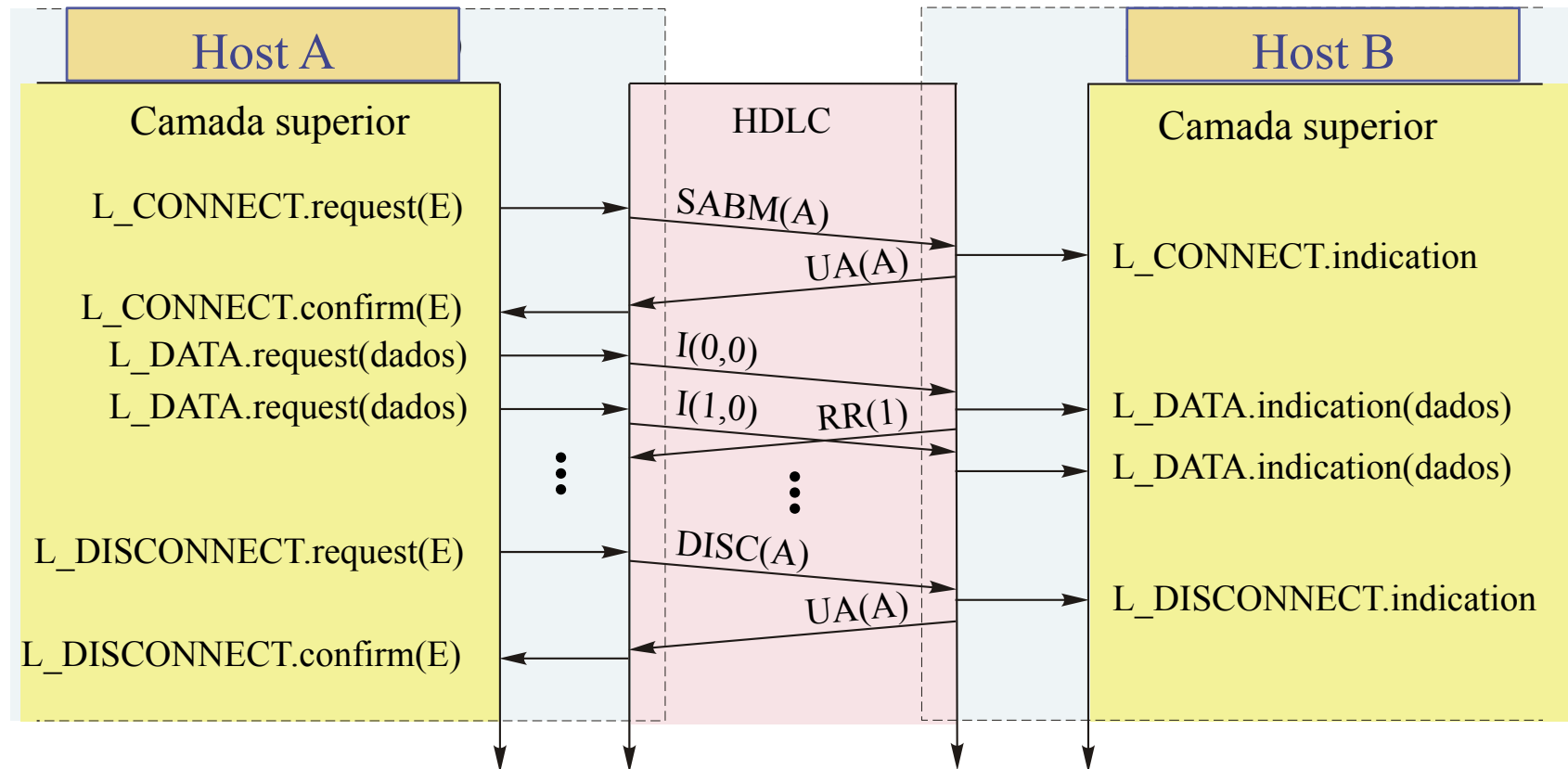
Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- O serviço de ligação prestado à camada protocolar superior é feito por funções designadas primitivas de serviço (*request, confirm e indication*)



# Protocolos de ligação

## *HDLC: interação de serviço com camada superior*

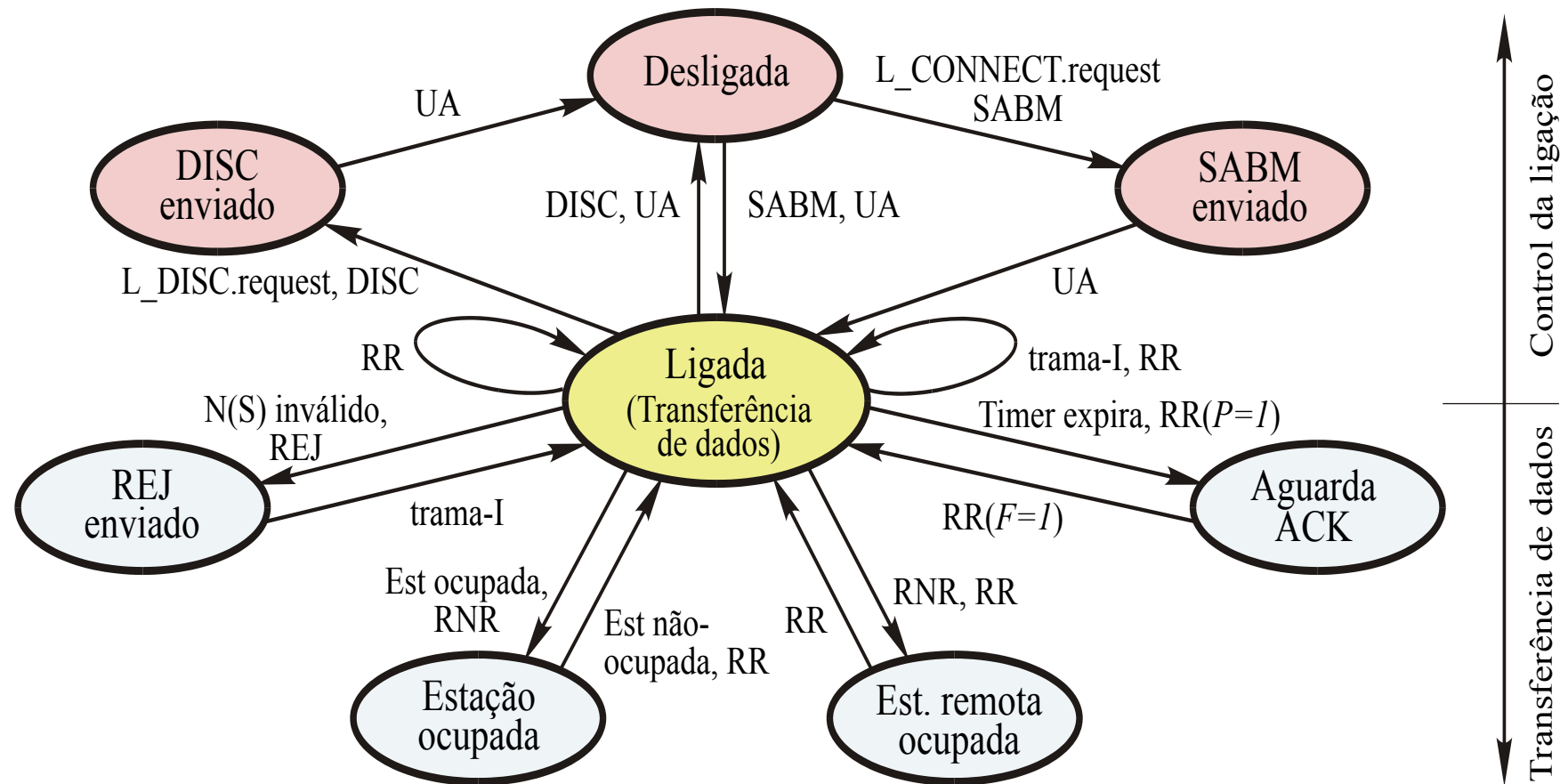


# Protocolos de ligação

## HDLC: Especificação do protocolo por máquina de estados



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática



# Protocolos de ligação

## *Outros protocolos de ligação: LAPB*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- **LAPB: Link Access Procedure, Balanced**
  - subconjunto do HDLC operando em modo ABM
  - usado em links PP de acesso a redes alargadas (WAN):
    - o lado da rede é o DCE e o lado do assinante é o DTE
  - ex: usado como nível 2 do protocolo X.25
  - tanto o DCE como o DTE são estações mistas podendo actuar como primárias ou como secundárias no estabelecimento de uma ligação lógica. As tramas utilizadas são:

Tipo trama	Comandos	Respostas
Informação	I	
Supervisão	RR RNR REJ	RR RNR REJ
Não-numerada	SABM DISC	UA DM FRMR

# Protocolos de ligação

## *Outros protocolos de ligação: LAPB*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- utilização do bit P/F
  - numa trama de comando o bit P/F é P=1|0 indicando se é exigida uma resposta ou não
  - numa trama de resposta o bit P/F é F=1|0 indicando se é uma resposta a um comando com P=1 ou não
  - uma trama de resposta com F=1 é a resposta a uma trama de comando transmitida com P=1

Trama de comando enviada com P=1	Trama de resposta devolvida com F=1
SABM/SABME	UA, DM
I	RR, REJ, RNR, FRMR
RR, REJ, RNR	RR, REJ, RNR, FRMR
DISC	UA, DM

# Protocolos de ligação

## *Outros protocolos de ligação: LLC*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Logical Link Control (LLC)
  - normalizado pelo IEEE 802.2, semelhante ao HDLC mas
    - formato do LLC-PDU é distinto do HDLC-PDU porque
    - é usado para efectuar uma ligação lógica servida por uma camada MAC (*Medium Access Layer*) ,i.e., o LLC opera sobre um nível MAC, por exemplo IEEE 802.3
  - a detecção de erros é efectuada no nível MAC (CRC-32)
  - opera com estações *mistas*
  - usa 2 endereços: emissor e receptor designados por:
    - Destination- Link Service Access Points (D-LSAP) e
    - Source- Link Service Access Point (S-LSAP)
- Ver : LAN / Ethernet (módulo 4)

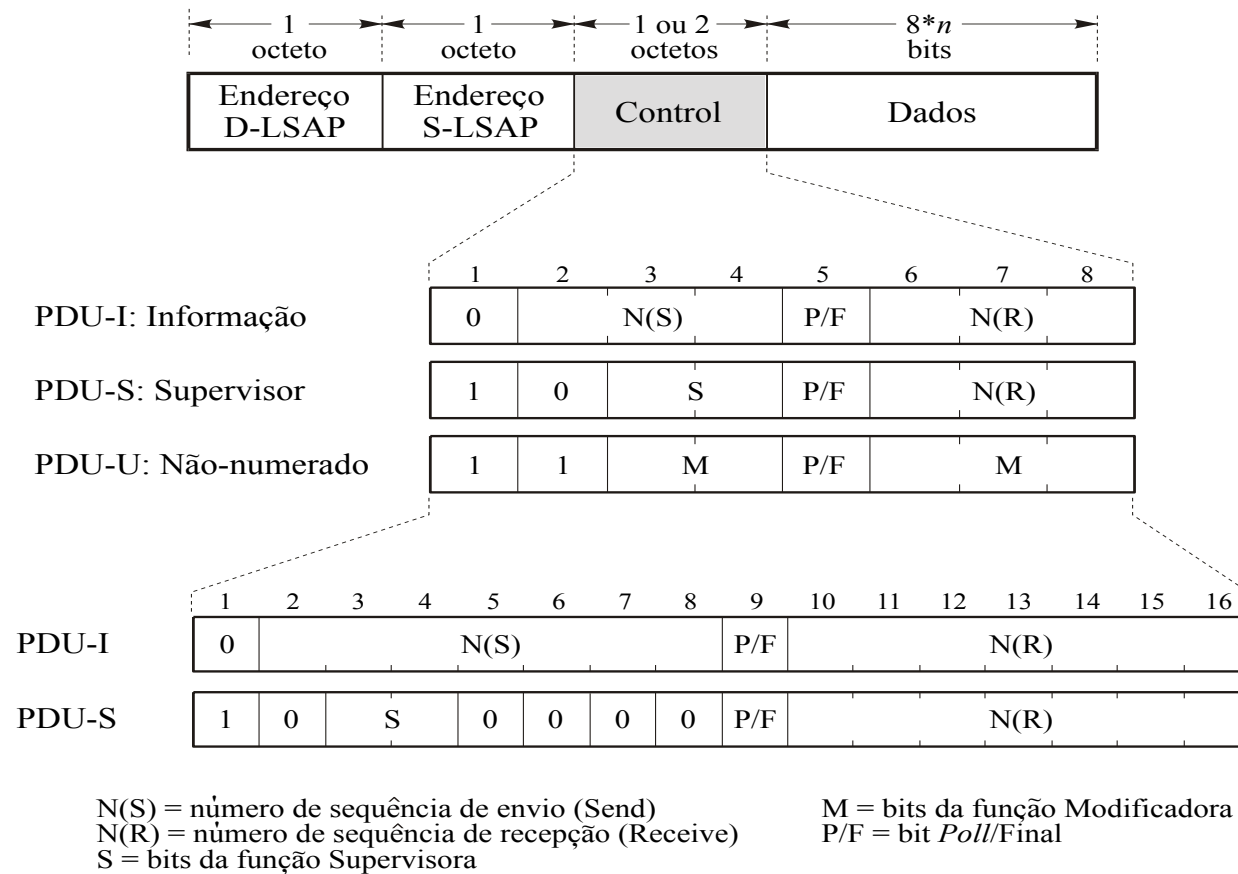


# Protocolos de ligação

*Outros protocolos de ligação: LLC, PDU e campo de control*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática



Formatos do campo de control (normal e estendido)

# Protocolos de ligação

## *Outros protocolos de ligação: LAPD*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- LAPD: Link Access Procedure, D-Channel
  - um acesso básico RDIS usa
    - 2 canais B de 64 Kbps cada para transmissão de dados
    - 1 canal D de 16 Kbps para control da ligação
    - **no canal D opera o LAPD**
  - o LAPD é um subconjunto do LAPB
  - é o protocolo nível 2 da pilha RDIS (ITU-T Q.920/921)
  - usa sempre 7 bits para sequenciação (não permite 3 bits)
  - usa endereços de 16 bits

# Protocolos de ligação

## *Outros protocolos de ligação: Frame Relay*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Frame Relay
  - usado em redes de comutação de pacotes para débitos elevados
  - protocolo de ligação que veio substituir o X.25
  - usa o *Link Access Procedure for Frame-Mode Bearer Services* (LAPF)
  - ABM; sequenciação com 7-bits e CRC com 16 bits
  - endereçamento com 2, 3 ou 4 octetos
  - Data Link Connection Identifier (DLCI) - identifica uma conexão lógica entre um sistema origem e um sistema destino (*switching* das conexões lógicas ocorre ao nível dois)

# Protocolos de ligação

## *Outros protocolos: ATM*



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia  
Departamento de Informática

- Asynchronous Transfer Mode (ATM)
  - orientado à conexão (CO), usado em redes de alto débito
  - não é baseado em HDLC
  - as conexões designam-se **circuitos virtuais**
  - definem-se caminhos virtuais (Virtual Path) entre estações
  - definem-se circuitos virtuais (Virtual Circuits) dentro de VPs identificados por VPI e VCI (virtual path identifier/virtual circuit identifier)
  - as tramas são denominadas células
  - uma célula tem um comprimento fixo de 53 Bytes (5 cabeçalho + 48 dados)
    - Tecnologia orientada à conexão, baseada na comutação muito rápida de **pequenas unidades** de informação de **tamanho fixo** chamadas células.
- normalização - ex: interfaces a 155 e 622 Mbps