

## Exame – Parte 1 (sem consulta, 10 valores, 35 minutos)

Nome: Correia

Cotação: resposta correta: 1 valor; resposta errada: -0,15 valores; pontuação mínima possível na Parte 1: 0 valores.

Apenas uma alternativa é verdadeira. A resposta a uma pergunta será considerada errada se forem selecionadas múltiplas alternativas.

1. Considere a pilha de comunicações TCP/IP estudada nas aulas e as seguintes 3 funções de comunicações: F1) escolher o melhor caminho para encaminhar os pacotes entre o emissor e o recetor; F2) detetar erros em pacotes; F3) controlar o nível de congestionamento das filas de espera dos routers. Os níveis de comunicações responsáveis pela implementação destas funções são tipicamente os seguintes:
  - a) F1= Transporte; F2=Ligação de dados; F3=Rede.
  - b) F1= Transporte; F2= Transporte; F3= Transporte.
  - c) F1= Rede; F2=Ligação de dados; F3= Rede.
  - ☒ d) F1= Rede; F2= Ligação de dados; F3= Transporte.
  
2. Se numa transmissão de dados for usada uma modulação **16QAM** (constelação de 16 pontos) e for observado um débito binário de **100 kbit/s** então o débito de símbolos desta ligação é de
  - ☒ a)  $25 \times 10^3$  símbolo/s.
  - b)  $50 \times 10^3$  símbolo/s.
  - c) 100 símbolo/s.
  - d)  $100/16 \times 10^3$  símbolo/s.
  
3. Num cenário de transmissão de dados usando técnicas rádio e propagação em espaço livre, a **capacidade** do canal de transmissão (bit/s) **aumenta** com
  - a) a **diminuição da distância** entre o emissor e o recetor, e o **aumento da frequência** da portadora.
  - ☒ b) a **diminuição da distância** e a **diminuição da frequência** da portadora.
  - c) o **aumento da distância** e o **aumento da frequência** da portadora.
  - d) o **aumento da distância** e a **diminuição da frequência** da portadora.
  
4. Se o *Bit Error Ratio (BER)* de um canal de transmissão for  $\underline{b}$  e a trama tiver um comprimento de  $\underline{c}$  bits, o *Frame Error Ratio (FER)* é dado por
  - ☒ a)  $1-(1-b)^c$
  - b)  $1-(1-c)^b$
  - c)  $b^c$
  - d)  $c^b$
  
5. Considere o mecanismo **ARQ Selective-Repeat** estudado nas aulas e usando 3 bits de numeração. Considere também que o funcionamento do Recetor é descrito numa notação em que ?I(6).!RR(7) representa a receção (?) da mensagem I(6) seguida (.) do envio (!) da mensagem RR(7). Após a ocorrência dos eventos ?I(5).?I(6).!RR(7).?I(0), o recetor
  - a) Armazena a trama I(0) e re-envia RR(7) para o emissor.
  - ☒ b) Armazena a trama I(0) e envia SREJ(7) para o emissor.
  - c) Descarta a trama I(0) e envia SREJ(7) para o emissor.
  - d) Descarta a trama I(0) e re-envia RR(7) para o emissor.

(ver verso)

6. No protocolo de acesso ao meio **CSMA/CD**, quando uma estação emissora deteta uma colisão, esta estação
- ☒ a) Aborta a transmissão da trama e retransmite a trama após espera de um número aleatório de *timeslots*.
  - b) Aborta a transmissão da trama e retransmite a trama de forma persistente no *timeslot* seguinte.
  - c) Continua a transmitir a trama até ao fim e retransmite a trama após espera de um número aleatório de *timeslots*.
  - d) Continua a transmitir a trama até ao fim e retransmite a trama de forma persistente no *timeslot* seguinte.
7. Quando uma trama é recebida por um *Switch Ethernet* e a tabela de encaminhamento do *Switch* não contém uma entrada para o endereço de destino da trama, o *Switch*
- a) Invoca um procedimento do *Address Resolution Protocol* (ARP).
  - ☒ b) Envia a trama para todas as portas ativas exceto a porta através da qual a trama foi recebida.
  - c) Envia a trama para através da porta ligada ao *default gateway* do *Switch*.
  - d) Elimina a trama.
8. Considere a fila de espera (de saída) da interface de rede *eth0* de um computador que se encontra ligado a um *switch* por uma ligação de capacidade *C* bit/s. Considerando que a fila de espera do *device driver* é **estável**, poderemos afirmar que **o tempo médio que um pacote espera nessa fila até ser transmitido depende**
- a) Apenas da capacidade máxima de armazenamento de pacotes do *device driver*.
  - b) Apenas da capacidade *C* da ligação entre a interface de rede e o *switch*.
  - ☒ c) Apenas do débito a que as camadas superiores enviam pacotes para a fila de espera (pacote/s).
  - d) Da capacidade *C* da ligação e do número de pacotes em espera na fila.
9. O algoritmo *Spanning Tree* usado nas redes Ethernet permite obter
- a) Múltiplos caminhos mais curtos entre nós Ethernet.
  - b) Múltiplos caminhos entre nós Ethernet.
  - c) O caminho único mais curto entre nós Ethernet.
  - ☒ d) Um caminho único entre nós Ethernet.
10. Admita que no seu computador pretende transferir dois ficheiros do mesmo site de forma sequencial através do protocolo FTP; isto é, o computador liga-se ao site, obtém o ficheiro1 e depois obtém o ficheiro2. Durante este processo serão abertas
- a) 1 ligação TCP.
  - b) 2 ligações TCP.
  - ☒ c) 3 ligações TCP.
  - d) 4 ligações TCP.





## Exame – Parte 2 (com consulta, 10 valores, 90 minutos)

Nome:

Correção

1. Duas estações separadas por uma distância de 2000 km comunicam usando um protocolo de ligação de dados do tipo ARQ. O atraso de propagação da informação é de 5  $\mu$ s/km e a capacidade do canal é 1024 kbit/s (em cada sentido). Admita que as tramas de Informação usam 3 bits para numeração, têm um tamanho típico de 2048 bits e são imediatamente confirmadas por tramas de Supervisão em sentido oposto. Despreze o tamanho das tramas de Supervisão.

- a) (1,5 valor) Para as variantes Go-Back-N e Selective Repeat, calcule a janela de transmissão, a eficiência máxima do protocolo e os débitos máximos.

	Go-Back-N	Selective Repeat
Janela de transmissão, W	7	4
Eficiência máxima, S (%)	63,6	36,1
Débito Máximo (kbit/s)	651	370

 $\begin{pmatrix} 2 & 2 \\ 2 & 2 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$ 

$$d = 2000 \text{ km}; T_p = 5 \frac{\mu\text{s}}{\text{km}} \times 2000 \text{ km} = 10 \text{ ms}; T_f = \frac{L}{C} = \frac{2048 \text{ bit}}{1024 \times 10^3 \text{ bit/s}} = 2 \text{ ms}$$

$$a = T_p / T_f = \frac{10}{2} = 5; 1 + 2a = 11; N = 2^k = 2^3 = 8$$

$$\text{GBN: } W = N - 1 = 8 - 1 = 7$$

$$\text{SR: } W = \frac{N}{2} = \frac{8}{2} = 4$$

$$W < 1 + 2a \Rightarrow S_{\text{GBN}} = \frac{W}{1 + 2a} = \frac{7}{11} = 63,6\%$$

$$S_{\text{SR}} = \frac{W}{1 + 2a} = \frac{4}{11} = 36,1\%$$

$$\text{Deb}_{\text{max}} = S_{\text{GBN}} \times C = 0,636 \times 1024 = 651 \text{ kbit/s}$$

$$\text{Deb}_{\text{max}} = S_{\text{SR}} \times 1024 = 370 \text{ kbit/s}$$

- b) (1 valor) Pretende-se analisar o efeito dos erros de transmissão e do tamanho das tramas de Informação. Considere tramas com tamanhos 1024 e 2048 bits e uma situação de ruído caracterizada por  $\text{BER} = 10^{-3}$ . Calcule a eficiência máxima dos dois mecanismos para estes 2 casos e discuta o comportamento destes mecanismos em relação ao tamanho das tramas

S <sub>max</sub> (%)	Go-Back-N	Selective Repeat
L=2048	1,3	4,7
L=1024	2,5	6,9

 $\begin{pmatrix} 3 & 2 \\ 2 & 3 \end{pmatrix}$ 

$$L_1 = 2048: \text{FER}_1 = 1 - (1 - \text{BER})^L = 1 - (1 - 10^{-3})^{2048} = 0,87; 1 - \text{FER}_1 = 0,13$$

$$\text{GBN: } 7 < 11 \Rightarrow S' = \frac{W(1 - \text{FER})}{(1 + 2a)(1 - \text{FER} + W\text{FER})} = \frac{7 \times 0,13}{11 \times (0,13 + 7 \times 0,87)} = \frac{0,91}{68,42} = 1,3\%$$

$$\text{SR: } 4 < 11 \Rightarrow S' = \frac{W(1 - \text{FER})}{1 + 2a} = \frac{4 \times 0,13}{11} = 4,7\%$$

$$L_2 = 1024; T_f = \frac{L}{C} = \frac{1024}{1024 \times 10^3} = 1 \text{ ms}; a = \frac{T_p}{T_f} = \frac{10}{1} = 10; 1 + 2a = 21$$

$$\text{FER}_2 = 1 - (1 - \text{BER})^L = 1 - (1 - 10^{-3})^{1024} = 0,64; 1 - \text{FER}_2 = 0,36$$

$$\text{GBN: } 7 < 21 \Rightarrow S' = \frac{W(1 - \text{FER})}{(1 + 2a)(1 - \text{FER} + W\text{FER})} = \frac{7 \times 0,36}{21(0,36 + 7 \times 0,64)} = \frac{2,52}{101,64} = 2,5\%$$

$$\text{SR: } 4 < 21 \Rightarrow S' = \frac{W(1 - \text{FER})}{1 + 2a} = \frac{4 \times 0,36}{21} = 6,9\%$$

1



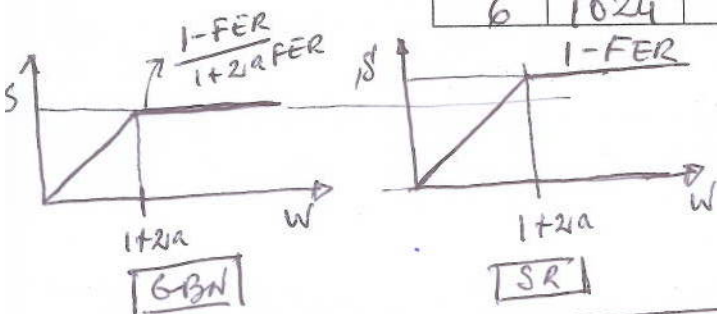
Nome:

Correção

- c) (1,5 valor) Admita que, para esta situação de erro, tinha a liberdade de escolher o número de bits de numeração ( $k$ ), um dos dois tamanhos de trama indicados ( $L=1024$  ou  $L=2048$  bits) e um dos dois mecanismos ARQ (*Go-back-N* ou *Selective Repeat*). Que solução escolheria? Qual o valor da eficiência máxima nessa situação. Justifique.

$k$ bits	$L$	Mecanismo ARQ	$S_{max}$ (%)
6	1024	SR	36

(3 2 3 2)

Para  $W > 1+2a$  $S_{SR} > S_{GBN}$  porque  $1+2a \cdot FER > 1$  logo

$$1-FER > \frac{1-FER}{1+2a \cdot FER} \rightarrow \text{ARQ} = \text{SR}$$

(2)  $L_2 < L_1 \Rightarrow FER_2 < FER_1 \Rightarrow 1-FER_2 > 1-FER_1$   
 Logo  $L_2$  é melhor  $\rightarrow L = L_2 = 1024$  bits

Para  $p$  e  $S_{SR}$  máximo  $W > 1+2a \rightarrow W > 21$ 

$$k=4; 2^4=16; W=8 < 21$$

$$k=5; 2^5=32; W=16 < 21$$

$$k=6; 2^6=64; W=32 > 21 \rightarrow k=6$$

$$S_{max} = S_{SR} = 1-FER_2 = 0,36 \quad (4)$$

2. Considere duas redes, cada uma constituída por um switch ao qual se ligam vários computadores. Os 2 switches comunicam entre si através de uma ligação com capacidade de 100 Mbit/s em cada sentido. Admita que o tráfego nesta ligação pode ser modelizado como um processo de chegada de Poisson, tendo as tramas um comprimento médio de 1250 bytes.

- a) (1 valor) Calcule o tempo médio de atraso das tramas e o número médio de tramas na fila de espera de acesso à ligação para intensidades de tráfego de 80% e 95% (admita um número de buffers ilimitado).

	Int. tráf. = 80%	Int. tráf. = 95%
Tempo médio de atraso das tramas, $T$ , ( $\mu s$ )	500	2000 (2 ms)
Número médio de tramas na fila de espera	3,2	18

(3 2)  
(3 2)

$$C = 100 \text{ Mbit/s}, L = 1250 \times 8 = 10 \times 10^3 \text{ bit/pac}$$

$$M/N/1; \mu = \frac{C}{L} = \frac{100 \times 10^6}{10 \times 10^3} = 10000 \text{ pac/s}; T_s = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{10^4} = 100 \mu s$$

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \rightarrow \lambda = \rho \mu$$

$$\rho = 0,8: \lambda = \rho \mu = 0,8 \times 10^4 = 8000 \text{ pac/s}$$

$$T = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{10000 - 8000} = \frac{1}{2000} = 500 \mu s$$

$$T_w = T - T_s = 500 \mu s - 100 \mu s = 400 \mu s$$

$$N_w = T_w \cdot \lambda = 400 \mu s \times 8 \times 10^3 = 3,2$$

$$\rho = 0,95: \lambda = \rho \mu = 0,95 \times 10^4 = 9500 \text{ pac/s}$$

$$T = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{10000 - 9500} = \frac{1}{500} = 2 \text{ ms}$$

$$T_w = T - T_s = 2000 \mu s - 100 \mu s = 1900 \mu s$$

$$N_w = T_w \lambda = 1900 \times 10^{-6} \times 9500 = 18 \quad (2)$$



Nome:

Correção

- b) (1 valor) Dimensione o número de buffers associados à fila de espera, para cada um dos seguintes objetivos:
- Probabilidade de rejeição de tramas de 0,1% e intensidade de tráfego de 0,8;
  - Probabilidade de rejeição de tramas de 1% e intensidade de tráfego 1.
- Compare estes dois casos com os equivalentes discutidos na alínea anterior.

	Nº buffers
Probabilidade de rejeição de tramas de 0,1% e intensidade de tráfego de 0,8	24
Probabilidade de rejeição de tramas de 1% e intensidade de tráfego 1.	99

(6)  
(4)

$$P_B = 0,1\% = 10^{-3}$$

$$P_B = \frac{(1-P)P^B}{1-P^{B+1}}; 10^{-3} = \frac{(1-0,8)0,8^B}{1-0,8^{B+1}}$$

$$0,8^B = \frac{10^{-3}}{10^{-3} \times 0,8 + 0,2}; B = 23,7$$

$$P=1, P_B = 10^{-2} \quad P_B = \frac{1}{B+1}; 0,01 = \frac{1}{B+1}$$

$$B = 99$$

$P=0,8$ : Apesar de  $NW=3,2$ , para  $P_B \leq 10^{-3}$  são necessários 24 buffers

$P=1$ : Para  $P_B = 10^{-2} \rightarrow B=99$ ;  $P_B = 10^{-3} \rightarrow B=999$  em a)  $NW=10$

- c) (1 valor) Pretende-se comparar o caso em análise na alínea a) com outro em que o comprimento médio das tramas se reduz a metade, considerando a intensidade de tráfego de 80% nos dois casos. Calcule para estes dois casos o tempo médio de atraso das tramas. Compare também os dois casos sob o ponto de vista de requisitos de memória, capacidade de processamento dos switches e "overheads" de transmissão (peso relativo dos cabeçalhos da trama).

	Comprimento da trama = 10 000 bits	Comprimento da trama = 5 000 bits
Tempo médio de atraso das tramas, T, (μs)	500 μs	250 μs
Requisitos de memória	As duas soluções têm mesmo número de pacotes em espera ( $NW=N'W=3,2$ ). Mas como $L' < L$ então $Mem' < Mem$ . Portanto $L'$ é melhor	
Capacidade de processamento dos switches	$\mu' > \mu$ . Se tempo processamento por pacote for constante então $L'$ requer mais capacidade de processamento. $L'$ é pior	
Overheads de transmissão	Se cabeçalho tiver comprimento fixo e igual para as duas soluções, então o overhead é maior em $L'$ do que em $L$ . $L'$ é pior	

$$L' = \frac{L}{2} = 5000 \text{ bit/pac}; \mu' = \frac{C}{L'} = \frac{100 \times 10^6}{5 \times 10^3} = 20 \times 10^3 \text{ pac/s}; T'_S = \frac{1}{\mu'} = 50 \mu s$$

$$\lambda' = \rho \mu' = 0,8 \times 20 \times 10^3 = 16 \times 10^3 \text{ pac/s} \quad T' = \frac{1}{\mu' - \lambda'} = \frac{1}{20000 - 16000} = 250 \mu s //$$

Novo  $n$

$$T'_W = T' - T'_S = 250 \mu s - 50 \mu s = 200 \mu s$$

$$N'W = \lambda' T'_W = 16000 \times 200 \times 10^{-6} = 3,2$$

$$N=N'W=3,2; \text{ Como } L' < L \text{ então } Mem' < Mem$$

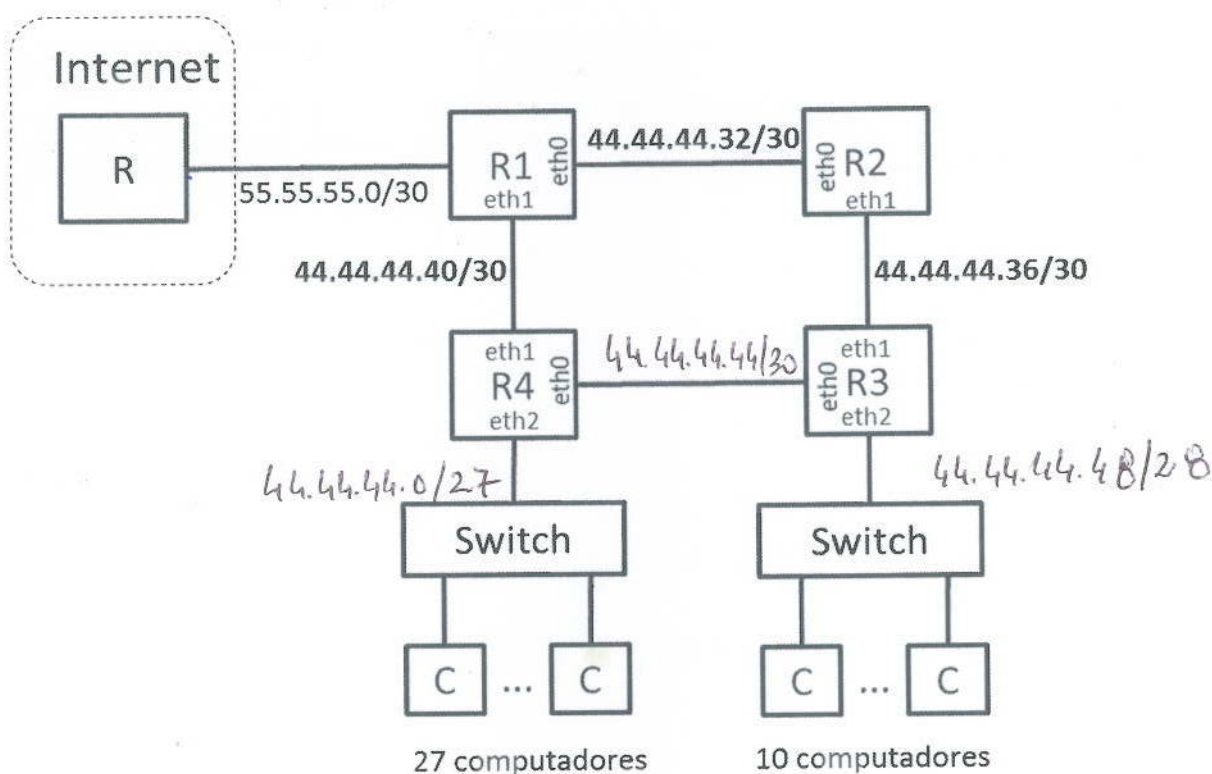
Processamento:  
 $\mu' > \mu$ . Se assumirmos  $T_{proc}/pac$  constante então  $L'$  requer mais cap. processamento

Overhead  
Se cabeçalho tiver comprimento fixo  
 $L$  Overh =  $\frac{\text{bit}}{\text{pac}} \times 20 \times 10^3 \text{ pac/s}$   
 $L'$  Overh =  $\frac{\text{bit}}{\text{pac}} \times 16 \times 10^3 \text{ pac/s}$  (3)

Nome:

Correção

3. Considere que a uma empresa foi atribuído o bloco de endereços IP 44.44.44.0/26. A empresa tem um rede de comunicações com a arquitetura descrita na figura, composta por 4 *routers* (R1, R2, R3, R4) e 2 *switches* Ethernet. Um dos *switches* serve 27 computadores e outro serve 10 computadores. Os *routers* estão interligados por uma ligações ponto-a-ponto e a algumas destas ligações estão já atribuídos os endereços indicados na figura.



- a) (1 valor) Calcule os endereços associados às redes indicadas.

	Endereço da subrede (endereço/máscara)		Endereço de <i>broadcast</i> da subrede		Nº de endereços de interfaces
Rede dos 27 computadores	44.44.44.0/27	①	44.44.44.31	①	30 ①
Rede dos 10 computadores	44.44.44.48/28	①	44.44.44.63	①	14 ①
Rede da ligação R3-R4	44.44.44.44/30	②	44.44.44.47	①	2 ①

/27 +31 30  
 /28 +15 14  
 /29 +7 6  
 /30 +3 2



Nome:

Correca

- b) (1 valor) Atribua endereços IP às interfaces indicadas na tabela. Use os endereços mais baixos de cada sub-rede. Numa sub-rede atribua os endereços mais baixos aos routers de índice  $R_i$  mais baixo. Por exemplo, o endereço de  $R1.eth0$  deverá ser inferior ao endereço  $R2.eth0$ .

Router.interface	Endereço(s) IP
R1.eth1	44.44.44.41 (2)
R4.eth1	44.44.44.42 (2)
R4.eth2	44.44.44.1 (2)
R4.eth0	44.44.44.46 (2)
R3.eth0	44.44.44.45 (2)

- c) (1 valor). Escreva a tabela de encaminhamento do **router R4**. Este router deverá ser capaz de pingar todas as interfaces de rede indicadas na figura e os pacotes deverão ser encaminhados pelos caminhos mais curtos. Use o menor número possível de entradas na tabela.

Destino (endereço/máscara)	Gateway	Interface
44.44.44.0/27		eth2 (1)
44.44.44.44/30		eth0 (1)
44.44.44.40/30		eth1 (1)
44.44.44.36/30	44.44.44.45	eth0 (2)
44.44.44.48/28	44.44.44.45	eth0 (2)
0/0	44.44.44.41	eth1 (3) *

\* Subtrai 1 de maior rote para 55.55. ...  
44.44.44.32/30  
4 1 4 4 4

