b) R muito grande : $\left.\begin{array}{l} T_p \text{ igual} \\ T_f \text{ diminui} \end{array}\right\}$ a aumenta

para valores de a relativamente elevados, o Selective Reject torna-se a melhor opção, visto ser necessário evitar retransmissões em caso de erro.

$\frac{(\mu - \rho\mu)}{\mu(1-\rho)}$

Filas de Espera

5) $C = 256 \text{ Kbit/s}$
$\rho_{M/M/1} = 75\%$
$L = 4000 \text{ bits}$

$$\boxed{\underset{\text{tempo atraso}}{T_a} = \underset{\text{tempo espera}}{T_w} + \underset{\text{tempo serviço}}{T_s}}$$

$$\boxed{\rho = \frac{\lambda}{\mu}} \quad \boxed{N = \lambda T_a}$$

$$\boxed{T_a = \frac{1}{\mu - \lambda}} = \boxed{\frac{1}{\mu(1-\rho)}}$$

$$\boxed{T_s = \frac{1}{\mu}} \quad \boxed{T_w = \frac{N}{\mu}}$$

$$\boxed{\mu = \frac{C}{L}} \quad \boxed{\lambda = \frac{R}{L}}$$

a)

$$\cancel{T_a = T_w + T_s}$$

$$T_a = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{\mu(1-\rho)}$$

$$\mu = \frac{C}{L} = \frac{256 \times 1000}{4000} \Rightarrow$$

$$\boxed{\mu = 64}$$

$$T_a = \frac{1}{64(1-0{,}75)} = \frac{1}{16} = \boxed{62{,}5 \text{ ms}}$$

b) $\rho = 75\%$

$L_1 = 2000 \text{ bits} \Rightarrow \mu_1 = 128 \Rightarrow T_{a_1} = 1/32 = 31{,}25 \text{ ms}$ 2x
$L_2 = 4000 \text{ bits} \Rightarrow \mu_2 = 64 \Rightarrow T_{a_2} = 1/16 = 62{,}50 \text{ ms}$ 2x
$L_3 = 8000 \text{ bits} \Rightarrow \mu_3 = 32 \Rightarrow T_{a_3} = 1/8 = 125{,}00 \text{ ms}$

(2x, 2x à esquerda de L_1, L_2)

Podemos concluir que quanto maior o tamanho do pacote, maior o tempo de espera. Nomeadamente, a relação é directa.

$N = \lambda T_a = \frac{\lambda}{\mu(1-\rho)} = \frac{\rho}{1-\rho}$

$T_a = \frac{1}{\mu \, 1-\rho}$

b) $M = 24$ buffers

$$\boxed{P_B = \frac{(1-\rho)\,\rho^M}{1-\rho^{B+1}}} \Rightarrow P_B = \frac{(1-0{,}75)\,0{,}75^{24}}{1-0{,}75^{25}} \Rightarrow [redacted]$$

$$\Rightarrow P_B = \frac{0{,}25 \times 0{,}75^{24}}{1-0{,}75^{25}} = \boxed{0{,}025\,\%}$$

$R = 256$ Kbit/s

$\mu = \frac{C}{L} = 64$

$\lambda = \frac{R}{L} = \frac{256 \times 1000}{4000} = 64$

$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{64}{64} = 1$ (100%)

$$\boxed{\rho = \frac{R}{C}}$$

para $\rho = 1$!

$$P_B = \frac{1}{B+1} = \frac{1}{25} = \boxed{4\,\%}$$

$R = 320$ Kbit/s

$\mu = 64$

$\lambda = \frac{320 \times 1000}{4000} = 80$

$\rho = \frac{80}{64} \Rightarrow \rho = 1{,}25$

[redacted]

$$P_B = \frac{(1-1{,}25)\,1{,}25^{24}}{1-1{,}25^{25}} \Rightarrow P_B = \frac{-0{,}25 \times 212}{1-265} = \boxed{20\%}$$

O tamanho dos pacotes não influencia a probabilidade de perda de pacotes nem o dimensionamento dos buffers

6) $C = 512$ Kbit/s

$R = 384$ kbit/s

$L = 256 \times 8 = 2048$ bits

a) $\rho = \frac{R}{C} = \frac{384 \text{ kbit/s}}{512 \text{ kbit/s}} = \boxed{75\,\%}$

$N = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0{,}75}{0{,}25} = \boxed{3}$ pacotes

$T_a = \frac{N}{\lambda}$ $\lambda = \frac{R}{L} = \frac{384 \times 1000}{2048} = 187.5$

$T_a = \frac{3}{187.5} = \boxed{16\,ms}$ $T_a = T_w + T_s$

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

$T_s = \frac{1}{\mu} = \boxed{4\,ms}$ $\mu = \frac{\lambda}{\rho} = \frac{187.5}{0{,}75} = 250$

$T_w = \frac{N}{\mu} = \boxed{12\,ms}$

b) $B = 32$ $P_B = \frac{(1-0{,}75)\,0{,}75^{32}}{1-0{,}75^{33}} = \boxed{0{,}0025\%}$

$\rho = \frac{R}{C} = \frac{512}{512} = 1 \Rightarrow P_B = \frac{1}{B+1} = \frac{1}{33} = \boxed{3\%}$

Burst de 2048 kbit/s :

Ao fim de t :

Pacotes recebidos $\rightarrow$ $\frac{2048 \times 1000 \text{ bit/s}}{2048 \text{ bits}} \times t = 1000\,t$ (Burst)

Pacotes enviados $\rightarrow$ $\frac{512 \times 1000}{2048} \times t = 250\,t$ (capacidade máxima)

Pacotes nos buffers $\rightarrow$ $1000\,t - 250\,t = 750\,t$

32 buffers : $750\,t = 32 \Rightarrow t = 42{,}7\,ms$

???

Nº máximo pacotes que podem ser transmitidos : $1000 \times 42{,}7\,ms = 43$ pacotes

c) $C = 2048$ kbit/s
$R = 384$ kbit/s

$\rho = \frac{R}{C} = 18{,}75\%$ $T_a = T_w + T_s = 1{,}23\,ms$

$T_w = \frac{N}{\mu} = \frac{0{,}23}{1000} = 0{,}23\,ms$ $T_s = \frac{1}{\mu} = 1\,ms$

$N = \frac{\rho}{1-\rho} = 0{,}23$ $\mu = \frac{\lambda}{\rho} = \frac{187{,}5}{0{,}1875} = 1000$

$\lambda = \frac{R}{L} = \frac{384 \times 1000}{2048} = 187{,}5$

Burst 2048 kbit/s

Pacotes recebidos $\rightarrow$ $\frac{2048 \times 1000}{2048} \times t = 1000t$

Pacotes enviados $\rightarrow$ $\frac{384 \times 1000}{2048} \times t = 187{,}5t$

32 buffers $\rightarrow$ $(1000 - 187{,}5)\,t = 32 \Rightarrow \boxed{t = 39{,}3\,ms}$

(???)

7) $C = 512$ kbit/s
$\lambda = 50$ pacotes/s
$L = 1024 \times 8 = 8192$ bits

a) $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ $\mu = \frac{C}{L} = \frac{512 \times 1000}{8192} = 62{,}5$ pacotes/s

$\rho = \frac{50}{62{,}5} = 0{,}8$ (estável: $\rho \leq 1$)

$T_a = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{62{,}5 - 50} = \boxed{80\,ms}$

$N = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{0{,}8}{0{,}2} = 4$

$T_w = \frac{N}{\mu} = \frac{4}{62{,}5} = \boxed{64\,ms}$

$T_s = 80 - 64 = \boxed{16\,ms}$

$$p_B = \frac{(1-\rho)\rho^B}{1-\rho^{B+1}} = \frac{0{,}2 \times 0{,}8^{24}}{1-0{,}8^{25}} = \boxed{0{,}1\,\%}$$

$\lambda = 75$ pacotes/s $\qquad \rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{75}{62{,}5} = 1{,}2$ (Instável)

$$p_B = \frac{-0{,}2 \times 1{,}2^{24}}{1-1{,}2^{25}} = \boxed{17\,\%}$$

Burst 75 pacotes/s :

Pacotes Recebidos : $75t$
Pacotes enviados : $62{,}5t$
Pacotes por enviar : $(75-62{,}5)t = 12{,}5t$
Buffers : 24

$$12{,}5t = 24 \Rightarrow t = 1{,}92\,s$$

N: máximo pacotes a transmitir : $75 \times 1{,}92\,s = 144$ pacotes (?!?)

c) $\lambda = 100$ pacotes/s $\qquad \Rightarrow N = 4$
$\rho = 0{,}8$

1 única ligação (1024 Kbit/s)	2 ligações (512 Kbit/s cada)
$T_a = \frac{N}{\lambda_1} = \frac{4}{100} = 40\,ms$	$T_a = \frac{N}{\lambda_2} = \frac{4}{50} = 80\,m/s$

$L \rightarrow L/2$

$T_a = \frac{1}{\mu(1-\rho)} \qquad \mu = \frac{C}{L} \Rightarrow \mu \rightarrow 2\mu$

ρ igual $\qquad \boxed{T_a \rightarrow T_a/2}$

1 linha (1024 kbit/s) | 2 linhas (512 bit/s)

$T_a = 40\,ms$	$T_a = 80\,ms$
$\Downarrow$	
$L = 512$ bytes $= 4096$ bits	$L = 4096$ bits
$\lambda = 100$ pacotes/s	$\lambda = 50$ pacotes/s
$\mu = \frac{C}{L} = \frac{1024 \times 1000}{4096} = 250$	$\mu = \frac{C}{L} = \frac{512 \times 1000}{4096} = 125$
$\rho = \frac{100}{250} = 0{,}4$	$\rho = \frac{50}{125} = 0{,}4$
$N = \frac{\rho}{1-\rho} = 0{,}67$	$N = 0{,}67$
$T_a = \frac{N}{\lambda} = \frac{0{,}67}{100} = 6{,}7\,ms$	$T_a = \frac{0{,}67}{50} = 13{,}4\,ms$

8 a) $\lambda = 15 \times \frac{96 \times 1000}{960} = 1500$ pacotes/s

$\rho = 75\%$

$\left(\cancel{\mu = \frac{\lambda}{\rho} = \frac{100}{0{,}75} = 133{,}3 \text{ pacotes/s}} \right)$

$\rho = \frac{R}{C} \Rightarrow 0{,}75 = \frac{15 \times 96 \times 1000}{C} \Rightarrow C = 128\,Kbit/s \times 15 = \boxed{1920\,Kbit/s}$

$T_a = \frac{N}{\lambda} = \frac{3}{1500} = \boxed{2\,ms}$

$N = \frac{\rho}{1-\rho} = \boxed{3}$

Duplicação tráfego nas portas e capacidade do canal

$C = 3840\,Kbit/s$ *

$R = 15 \times 192\,Kbit/s = 2880\,Kbit/s$

$\rho = \frac{R}{C} = \frac{2880}{3840} = 0{,}75$

$\lambda = \frac{2880 \times 1000}{960} = 3000$ // $N = \frac{\rho}{1-\rho} = 3$ $T_A = \frac{3}{3000} = \boxed{1\,ms}$

$$\lambda = 15 \times \frac{96 \times 1000}{480} = 3000$$

$$\mu = \frac{1920 \times 1000}{480} = 4000$$

$$\rho = 0,75$$

$$\rho = 0,75 \rightarrow N = 3 \Rightarrow T_a = \frac{3}{3000} = 1ms$$

b) A 1ª situação é mais vantajosa, visto que o tempo de atraso é o mesmo mas são processados mais dados.

c) $P_B = \frac{(1-\rho)\rho^B}{1-\rho^{B+1}} \Rightarrow 0,001 = \frac{0,25 \times 0,75^B}{1-0,75^{B+1}} \Rightarrow \ldots \Rightarrow$

$$= 0,25 \times \frac{0,75^B}{1-(0,75^B \times 0,75)}$$

$$= 19,2 \Rightarrow \boxed{B = 20}$$

$$\rho = \frac{R}{C} = \frac{15 \times 128 \times 1000}{1920 \times 1000} = \frac{1920}{1920} \Rightarrow \rho = 1$$

$$\rho = 1 \rightarrow P_B = \frac{1}{B+1} \Rightarrow P_B = \frac{1}{20+1} = \boxed{4,8\%}$$

$$0,001 = \frac{1}{B+1} \Rightarrow B+1 = 1000 \Rightarrow \boxed{B = 999}$$

Não é funcional, visto que seriam necessários um nº muito elevado de buffers.