1) Carros entram em uma fila de pedágio de acordo com um processo de Poisson de taxa 3 carros a cada cinco minutos, o tempo de atendimento segue uma variável exponencial de média 1/μ = 1 minuto.

$\lambda = \frac{3}{5}$ carros/min $\qquad \mu = 1$ carro/min

$E\{t_s\} = \frac{1}{\mu} = 1\,\text{min} \qquad \rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{3/5}{1} = 0{,}6$

a) Qual é o tempo médio dos carros no sistema?

a) $E\{t_q\} = \frac{E\{q\}}{\lambda} = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{1-0.6} = 2.5\,\text{min}$

b) Qual é o número médio de carros na fila?

b) $E\{w\} = \lambda E\{t_w\}$

$E\{w\} = 0{,}6(1{,}5) = 0{,}9$ carros

$E\{t_q\} = E\{t_w\} + E\{t_s\}$

$E\{t_w\} = E\{t_q\} - E\{t_s\}$

$= 2{,}5 - 1$

$E\{t_w\} = 1{,}5\,\text{min}$

```
fator de utilizacao rho
0.6
tempo no sistema
2.515979257894926
tempo na fila
1.515979257894926
numero medio de pacotes no sistema
1.5095875547369555
numero medio de pacotes na fila
0.9095875547369556
```

2) Um comutador de pacotes possui uma linha de saída e recebe, em média, 40 pacotes por segundo. Cada pacote tem, em média, 5.000 bits de comprimento, com distribuição exponencial. A linha de saída do comutador tem taxa de 500 kbps.

$\lambda = 40$ pc/s $\qquad \mu = \frac{C}{L} = \frac{500\,000}{5000} = 100$ pc/s

$L = 5000$ bits

$C = 500$ Kbps $\qquad \rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{40}{100} = 0{,}4$

$E\{t_s\} = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{100} = 0{,}01(s)$

a) Qual é o tempo médio de permanência de um pacote no comutador (esperando na fila e sendo transmitido)?

$$a)\ E\{t_q\} = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{100-40} = \underline{\underline{0{,}016667\ (s)}}$$

b) Qual é o tempo médio de espera na fila?

$$b)\ E\{t_w\} = E\{t_q\} - E\{t_s\}$$
$$= 0{,}0167 - 0{,}01$$
$$\underline{E\{t_w\} = 0{,}006667\ (s)}$$

```
fator de utilizacao rho
0.4
tempo no sistema
0.016713427880347305
tempo na fila
0.006713427880347305
numero medio de pacotes no sistema
0.6685371152138921
numero medio de pacotes na fila
0.2685371152138922
```

3) Um comutador de pacotes recebe em média 200 pacotes/segundo, cada um com um comprimento médio de 128 bytes. O comutador possui uma única linha de saída com capacidade de 256 kbps. Considere um buffer com {1,5,10,15} posições na fila, qual a probabilidade de bloqueio, número médio de elementos e tempo médio no sistema?

$\lambda = 200\ pc/s$

$L = 128 * 8 = 1024\ bits$

$C = 256000\ bps$

$\mu = \frac{C}{L} = \frac{256000}{1024} = 250\ pc/s$

$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{200}{250} = 0{,}8$

$$P_b = \rho^N \frac{1-\rho}{1-\rho^{N+1}}$$

$$E[q] = \frac{\rho}{1-\rho} - \frac{(N+1)\rho^{N+1}}{1-\rho^{N+1}}$$

$$E[t_q] = \frac{E[q]}{(1-P_b)\lambda}$$

a) $N = 2$

$P_B = 0{,}262295$

$E[q] = 0{,}852459\ pc$

$E[t_q] = 0{,}005778\ (s)$

b) $N = 6$

$P_B = 0{,}0663$

$E[q] = 2{,}1424\ pc$

$E[t_q] = 0{,}0115\ (s)$

c) $N = 11$

$P_B = 0{,}0184$

$E[q] = 3{,}1145\ pc$

$E[t_q] = 0{,}0158\ (s)$

d) $N = 16$

$P_B = 0{,}005779$

$E[q] = 3{,}6083\ pc$

$E[t_q] = 0{,}0181\ (s)$

```
probabilidade de bloqueio
0.2656043471875459
fator de utilizacao rho
0.8
tempo no sistema
0.005765107187108731
tempo na fila
0.0017651071871087306
numero medio de pacotes no sistema
1.1530214374217462
numero medio de pacotes na fila
0.35302143742174613
```

```
probabilidade de bloqueio
0.06374613872507723
fator de utilizacao rho
0.8
tempo no sistema
0.011265155127247913
tempo na fila
0.007265155127247912
numero medio de pacotes no sistema
2.2530310254495824
numero medio de pacotes na fila
1.4530310254495824
```

```
probabilidade de bloqueio
0.01845308205732234
fator de utilizacao rho
0.8
tempo no sistema
0.015966181758825027
tempo na fila
0.011966181758825026
numero medio de pacotes no sistema
3.1932363517650053
numero medio de pacotes na fila
2.3932363517650055
```

```
probabilidade de bloqueio
0.004975124378109453
fator de utilizacao rho
0.8
tempo no sistema
0.017410608025932577
tempo na fila
0.013410608025932576
numero medio de pacotes no sistema
3.4821216051865154
numero medio de pacotes na fila
2.682121605186515
```

4) Um nó de uma rede de computadores possui buffer infinito. A chegada das mensagens é Poissoniana com taxa 1 mensagem/segundo e o tamanho médio das mensagens é igual a 2.000 bits. A capacidade do meio de transmissão é de 10.000 bps. Determine o tempo médio que uma mensagem permanece no nó (espera + serviço) supondo que o comprimento das mensagens:

a) é constante.

b) tem distribuição exponencial.

$\lambda = 1 \text{ msj}/s$

$L = 2000 \text{ bits}$

$C = 10000 \text{ bps}$

$\mu = \frac{10000}{2000} = 5 \text{ msj}/s$

$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{1}{5} = 0{,}2$

a) Constante

$$E\{t_q\} = \frac{E\{q\}}{\lambda} = \underline{\underline{0{,}225 \text{ (s)}}}$$

$$E\{q\} = \frac{\rho}{1-\rho}\left(1 - \frac{\rho}{2}\right) = \underline{0{,}225 \text{ msj}}$$

b) $$E\{t_q\} = \frac{1}{\mu - \lambda} = \underline{\underline{0{,}25 \text{ (s)}}}$$

CONSTANTE

```
fator de utilizacao rho
0.2
tempo no sistema
0.22380155324447248
tempo na fila
0.023801553244472473
numero medio de pacotes no sistema
0.22380155324447248
numero medio de pacotes na fila
0.023801553244472473
```

DIST. EXPONENCIAL

```
fator de utilizacao rho
0.2
tempo no sistema
0.25087533302664083
tempo na fila
0.05087533302664082
numero medio de pacotes no sistema
0.25087533302664083
numero medio de pacotes na fila
0.05087533302664082
```