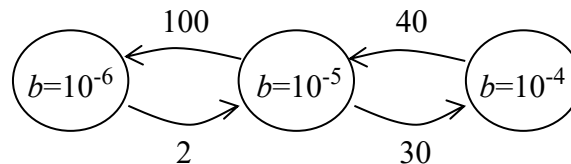


**Universidade de Aveiro**  
**Mestrado em Engenharia de Computadores e Telemática**  
**Exame de Modelação e Desempenho de Redes e Serviços – 12 de janeiro de 2023**

Duração: 2 horas. Sem consulta. **Justifique cuidadosamente todas as respostas.**

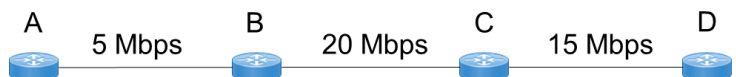
1. Considere uma ligação sem fios entre um emissor e um recetor em que a probabilidade de erro de bit  $b$  é modelada pela cadeia de Markov seguinte (taxas em número de transições por segundo):



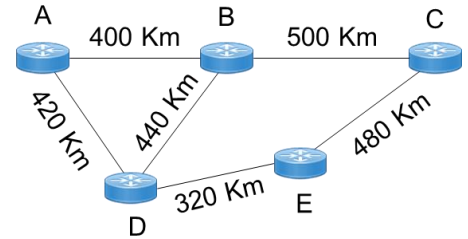
Esta ligação suporta um fluxo de pacotes cujo comprimento é 600 Bytes com probabilidade de 35% ou 1200 Bytes com probabilidade de 65%. Determine:

- a probabilidade da ligação estar no estado  $b = 10^{-4}$ , (1.0 valores)
  - o tempo médio de permanência (em milissegundos) da ligação no estado  $b = 10^{-5}$ , (1.0 valores)
  - a percentagem de pacotes transmitidos que chegam ao recetor sem erros quando a ligação está no estado  $b = 10^{-4}$ , (1.0 valores)
  - a probabilidade da ligação estar no estado  $b = 10^{-6}$  quando um pacote de 600 Bytes chega ao recetor com erros. (1.0 valores)
2. Considere uma ligação com uma fila de espera de um determinado tamanho a suportar 3 fluxos de pacotes cujas chegadas são processos de Poisson e com as características seguintes:
- o tamanho médio dos pacotes dos fluxos 2 e 3 é igual entre si e é menor que o tamanho médio dos pacotes do fluxo 1;
  - o fluxo 1 tem a maior prioridade e os fluxos 2 e 3 têm a segunda maior prioridade;
  - o débito binário (*throughput*) de cada fluxo é igual e a soma dos 3 débitos binários é menor que a capacidade da ligação.
- Em qualquer dos fluxos, os pacotes são descartados se não houver espaço na fila de espera. Indique e justifique se cada uma das afirmações seguintes está correta ou incorreta.
- A taxa de perda de pacotes média dos fluxos 1 e 2 é igual. (1.0 valores)
  - O fluxo 2 sofre menor atraso médio na ligação que o fluxo 3. (1.0 valores)
  - O débito binário obtido da ligação é menor para o fluxo 1 que para o fluxo 3. (1.0 valores)

3. Considere a rede com comutação de pacotes da figura em que todas as ligações têm uma fila de espera muito grande e cada ligação introduz um atraso de propagação de  $50 \mu s$ . A rede suporta 2 fluxos de pacotes: fluxo 1 de 4 Mbps de A para C com pacotes de tamanho exponencialmente distribuído de 500 Bytes de tamanho médio e fluxo 2 de 12 Mbps de B para D com pacotes de tamanho exponencialmente distribuído de 1500 Bytes de tamanho médio. As chegadas de pacotes são um processo de Poisson nos dois fluxos. A rede suporta o fluxo 1 com maior prioridade que o fluxo 2. Determine o atraso médio por pacote do fluxo 2 (em milissegundos). (2.5 valores)

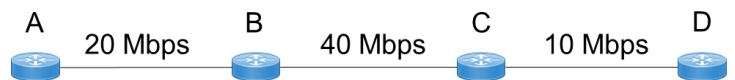


4. Considere a rede da figura que indica o comprimento das ligações de uma rede de routers a correr o protocolo OSPF com os custos unitários em todas as interfaces. Todas as ligações são de 10 Gbps em cada sentido e têm filas de espera muito grandes. A rede suporta 2 fluxos de tráfego: o fluxo 1 entre o router A e o router C de 6 Gbps em cada sentido e o fluxo 2 entre o router C e o router D de 4 Gbps em cada sentido. Em ambos os fluxos, as chegadas de pacotes são processos de Poisson e o tamanho dos pacotes é exponencialmente distribuído com média de 1000 Bytes. Cada router tem uma capacidade de 50 Gbps e o seu consumo de energia é  $E_n = 10 + 110 \times \sqrt{t}$  (em que  $t$  é a carga do router). Cada ligação tem um consumo de energia  $E_l = 4 + 0.2 \times l$  (em que  $l$  é o comprimento em Km) quando suporta tráfego ou é nulo quando está em modo adormecido. Determine justificadamente:

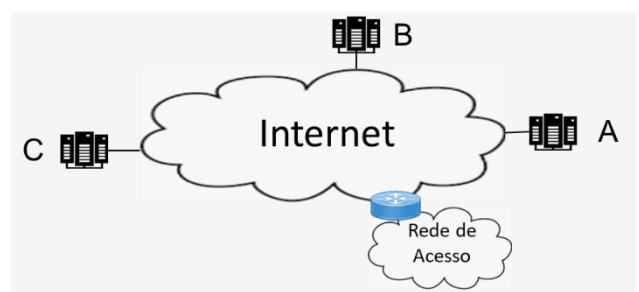


- o débito binário médio (*throughput*), em Gbps, ocupado em cada ligação, (1.5 valores)
- a latência (i.e., atraso médio de ida e volta) sofrida na rede pelo fluxo 2, (1.5 valores)
- o consumo energético da rede. (1.5 valores)

5. Considere a rede com comutação de pacotes da figura em que cada ligação introduz um atraso de propagação de 2 milissegundos em cada sentido. Um fluxo da rede do nó A para o nó D gera pacotes de tamanho médio de 1250 Bytes e é controlado por janelas extremo-a-extremo com permissões de tamanho de 100 Bytes. Determine justificando o tamanho da janela adequado (em número de pacotes) para que o fluxo transmita ao débito máximo quando não há mais nenhum fluxo na rede. (2.5 valores)



6. Considere um serviço *anycast* disponibilizado na Internet nos 3 DCs (*Data Centers*) da figura (A, B e C) e considere os utilizadores do serviço que ligados à Rede de Acesso da figura. A disponibilidade de cada DC é 0.99, da Rede de Acesso é 0.9995 e do Router é 0.9999 (considere que a Internet nunca falha). A latência média (i.e., o atraso de ida-e-volta) de cada utilizador para cada DC é 5 milissegundos (DC A), 20 milissegundos (DC B) e 50 milissegundos (DC C). O serviço é encaminhado para o DC disponível para o qual a rede providencia menor latência. Determine:



- a disponibilidade do serviço para os utilizadores ligados à Rede de Acesso, (2.0 valores)
- a latência média da rede quando o serviço está disponível. (1.5 valores)

---

## FORMULÁRIO

Teorema de Little:  $L = \lambda W$

Atraso médio no sistema  $M/M/1$ :  $W = \frac{1}{\mu - \lambda}$

Atraso médio na fila de espera do sistema  $M/G/1$ :

$$W_Q = \frac{\lambda E[S^2]}{2(1 - \lambda E[S])}$$

Atraso médio na fila de espera do sistema  $M/G/1$  com prioridades do tipo não-preemptivo:

$$W_{Qk} = \begin{cases} \frac{\sum_{i=1}^n (\lambda_i E[S_i^2])}{2(1 - \rho_1)} & , k = 1 \\ \frac{\sum_{i=1}^n (\lambda_i E[S_i^2])}{2(1 - \rho_1 - \dots - \rho_{k-1})(1 - \rho_1 - \dots - \rho_k)} & , k > 1 \end{cases} \quad \rho_k = \lambda_k E[S_k]$$

Fórmula de ErlangB:  $P_m = \frac{(\lambda/\mu)^m / m!}{\sum_{n=0}^m (\lambda/\mu)^n / n!}$

Probabilidades limite dos estados (processo de nascimento e morte):

$$P_0 = \frac{1}{1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\lambda_0 \lambda_1 \dots \lambda_{n-1}}{\mu_1 \mu_2 \dots \mu_n}}, P_n = \frac{\lambda_0 \lambda_1 \dots \lambda_{n-1}}{\mu_1 \mu_2 \dots \mu_n \left( 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\lambda_0 \lambda_1 \dots \lambda_{n-1}}{\mu_1 \mu_2 \dots \mu_n} \right)}, n \geq 1$$

WFQ:  $RN(\tau_i + t) = RN(\tau_i) + \frac{1}{\sum_{j \text{ ativas}} \phi_j} t \quad FN_{i,k} = \max(FN_{i,k-1}, RN) + \frac{L_k/C}{\phi_i}$

SCFQ:  $FN_{i,k} = \max(FN_{i,k-1}, FN_s) + \frac{L_k}{\phi_i}$

WFQ com *Leaky Bucket*:  $D_i = \frac{\sigma_i + (n-1)L_i}{r_i} + \sum_{j=1}^n \frac{L_{\max}}{C_j} + \Gamma$

Disponibilidade (elementos em série):  $A = a_1 \times a_2 \times \dots \times a_n$

Disponibilidade (elementos em paralelo):  $A = 1 - [(1 - a_1) \times (1 - a_2) \times \dots \times (1 - a_n)]$

Disponibilidade de uma ligação:

$$\frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad MTBF = \frac{CC \times 365 \times 24}{\text{comprimento da ligação [Km]}}$$