

**SINAIS ALEATÓRIOS EM TELECOMUNICAÇÕES E INFORMÁTICA**

**Enunciado do Primeiro Trabalho**

**Simulação e Análise do Atraso de um Encaminhador de  
Redes de Comutação de Pacotes**

**Ano Lectivo 2023/2024**



## Objetivo

O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho de atraso de um encaminhador usado em redes de comutação de pacotes.

## Descrição

Em redes de comutação de pacotes, os pacotes são encaminhados ao longo da rede pelos encaminhadores (routers). Uma das medidas de desempenho dessas redes e encaminhadores é o atraso que os pacotes sofrem ao passarem pelas redes e encaminhadores.

Nos encaminhadores das redes de comutação de pacotes, há duas fontes principais de atraso dos pacotes (ver Figura 1):

- i) o atraso que os pacotes sofrem enquanto aguardam na fila de espera,  $T_f$ , e
- ii) o atraso associado ao envio dos pacotes para o encaminhador seguinte, designado por atraso de serviço,  $T_s$ .

Enquanto o atraso na fila de espera é determinado pela quantidade de pacotes na fila de espera, o atraso de serviço é determinado pelo comprimento do pacote. Tendo origens diferentes, considera-se que estes atrasos são independentes.

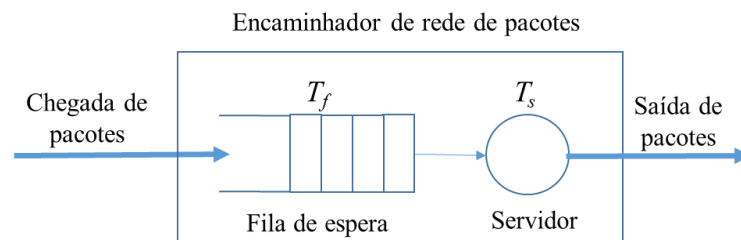


Figura 1. Esquema ilustrativo de um encaminhador das redes de comutação de pacotes em que se realçam as duas fontes principais de atraso.

Considera-se que

- i) o atraso total do encaminhador,  $T_t$ , é igual à soma dos atrasos na fila de espera e no serviço:  
$$T_t = T_f + T_s;$$
- ii) o atraso na fila de espera apresenta uma distribuição uniforme entre 0 e o valor máximo,  $t_{\max}$  (o valor de  $t_{\max}$  depende do número do grupo);

- iii) o atraso de serviço segue uma função densidade de probabilidade exponencial com média  $t_m$  (o valor de  $t_m$  depende do número do grupo), dada por  $f_{Ts}(x) = \frac{1}{t_m} e^{-x/t_m} u(x)$ ;
- iv) um encaminhador apresenta um desempenho aceitável de atraso se o 95º percentil do atraso total do encaminhador for menor do que o dobro da média do atraso total.

## Questões

- 1) Sem recorrer à função densidade de probabilidade do atraso total do encaminhador, obtenha analiticamente as expressões da média e do desvio padrão do atraso total e calcule os valores correspondentes.
- 2) Obtenha analiticamente a expressão da função de densidade de probabilidade (PDF) do atraso total do encaminhador.
- 3) Usando o resultado obtido em 2), represente graficamente a PDF do atraso total do encaminhador e as PDFs do atraso na fila de espera e do atraso de serviço, e explique as diferenças observadas.
- 4) Usando Matlab, gere amostras do atraso na fila de espera e do atraso de serviço e, a partir destas, do atraso total. A partir destas amostras, obtenha, por simulação em Matlab, estimativas das PDFs do atraso na fila de espera, do atraso de serviço e do atraso total. Represente graficamente as estimativas obtidas e analise criticamente se estão de acordo com o esperado.
- 5) Sobreponha a PDF do atraso total representado em 3) e a respetiva estimativa da PDF obtida em 4), compare os resultados obtidos e explique as diferenças observadas.
- 6) Avalie, quantificando, se o encaminhador que está a considerar no seu trabalho apresenta um desempenho aceitável. Para isso, calcule analiticamente o 95º percentil do atraso total do encaminhador e confirme, por simulação, o resultado obtido a partir da representação gráfica da função de distribuição cumulativa.

**Nota:** O programa desenvolvido em Matlab para geração das amostras e estimativa da probabilidade deve ser anexado ao relatório do trabalho. Para poder obter estimativas adequadas das PDFs devem ser consideradas pelo menos 5 000 000 de amostras e 60 bins no intervalo em que cada PDF toma valores significativamente diferentes de zero.