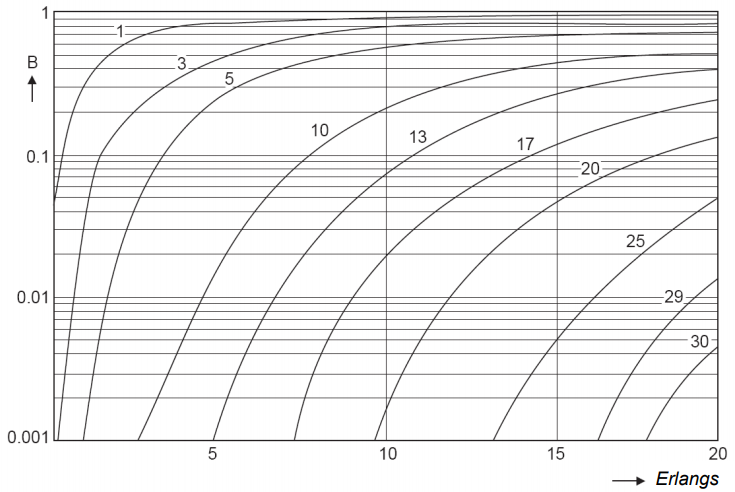


Sistemas de Telecomunicações  
Licenciatura em Engenharia Informática, Redes e Telecomunicações

**Projeto de Sistemas de Telecomunicações**



**Grupo 31**

|  |  |
| --- | --- |
|  | 43023 Diogo Soares  44121 Franscisco Soares |
|  |  |

1º Semestre letivo 2018/2019  
 08 de Janeiro de 2019

# Resumo

Este trabalho tem como objetivo realizar vários simuladores que, por sua vez, realizem a simulação de vários sistemas de atendimento.

Estas simulações foram realizadas em MATLAB,segundo uma metodologia de simulação por eventos discretos, que simulam um comportamento real de sistema de telecomunicações.

Este projeto encontra-se dividido em três partes:

1. Modelo de chamadas perdidas;
2. Modelo de chamadas em espera;
3. Sistema de atendimento de chamadas de emergência.

Na primeira parte simulou-se o comportamento de uma central telefónica com um conjunto de linhas que se destina a receber chamadas telefónicas segundo um processo de *Poisson* e em que as chamadas bloqueadas serão consideradas perdidas.

Na segunda parte simulou-se um sistema de atendimento de chamadas com lista de espera em que, na falta de operadores para o seu atendimento, estes seriam colocados em fila de espera.

Na terceira parte e última parte simulou-se um centro de atendimento de chamadas emergência (112), em que o processo de chegada segue um processo de *Poisson* e em que as chamadas não imediatamente atendidas são colocadas em fila de espera de dimensão finita (número de linhas do centro).

As especificações referentes a cada uma destas partes serão explicadas pormenorizadamente adiante, na formulação dos problemas do trabalho.

**Índice**

[Resumo iii](#_Toc534748893)

[Lista de Figuras vi](#_Toc534748894)

[Lista de Acrónimos vi](#_Toc534748895)

[1. Introdução 1](#_Toc534748896)

[1.1 Ferramentas utilizadas para o desenvolvimento do trabalho 1](#_Toc534748897)

[1.2 Contexto do projeto 1](#_Toc534748898)

[2. Formulação dos problemas do trabalho 3](#_Toc534748899)

[2.1 Modelo de chamadas perdidas 3](#_Toc534748900)

[2.2 Modelo de chamadas em espera 11](#_Toc534748901)

[3. Conclusões e trabalho futuro 27](#_Toc534748902)

[Referências: 28](#_Toc534748903)

# 

# Lista de Figuras

[Figura 1 - Variação do tráfego oferecido com o ritmo de chamadas por hora 3](#_Toc534748904)

[Figura 2 - Variação do tráfego transportado com o ritmo de chamadas por hora 4](#_Toc534748905)

[Figura 3 - Variação da probabilidade de bloqueio com o ritmo de chamadas por hora 4](#_Toc534748906)

[Figura 4 - Variação do tempo médio entre chamadas com o ritmo de chamadas por hora 5](#_Toc534748907)

[Figura 5 - Variação do tráfego oferecido com a duração média das chamadas 6](#_Toc534748908)

[Figura 6 - Variação do tráfego transportado com a duração média das chamadas 6](#_Toc534748909)

[Figura 7 - Variação da probabilidade de bloqueio com a duração média das chamadas 7](#_Toc534748910)

[Figura 8 - Variação do tempo médio entre chamadas com a duração média das chamadas 7](#_Toc534748911)

[Figura 9 - Variação do tráfego oferecido com o número de linhas do sistema 8](#_Toc534748912)

[Figura 10 - Variação do tráfego transportado com o número de linhas do sistema 9](#_Toc534748913)

[Figura 11 - Variação da probabilidade de bloqueio com o número de linhas do sistema 9](#_Toc534748914)

[Figura 12 - Variação do tempo médio entre chamadas com o número de linhas do sistema 10](#_Toc534748915)

[Figura 13 - Variação do tráfego oferecido com o ritmo de chamadas por hora 12](#_Toc534748916)

[Figura 14 - Variação do tráfego transportado com o ritmo de chamadas por hora 12](#_Toc534748917)

[Figura 15 - Variação da probabilidade de bloqueio com o ritmo de chamadas por hora 13](#_Toc534748918)

[Figura 16 - Variação do tráfego oferecido com o ritmo de chamadas por hora 14](#_Toc534748919)

[Figura 17 - Variação do tráfego transportado com o ritmo de chamadas por hora 15](#_Toc534748920)

[Figura 18 - Variação da probabilidade de espera com o ritmo de chamadas por hora 15](#_Toc534748921)

[Figura 19 - Variação do tempo médio de espera com o ritmo de chamadas por hora 16](#_Toc534748922)

[Figura 20 - Variação da probabilidade de espera superior ao tempo de referência com o ritmo de chamadas por hora 16](#_Toc534748923)

[Figura 21 - Variação do número médio de chamadas em espera com o ritmo de chamadas por hora 17](#_Toc534748924)

[Figura 22 - Variação do tráfego oferecido com o ritmo de chamadas por hora 18](#_Toc534748925)

[Figura 23 - Variação do tráfego transportado com o ritmo de chamadas por hora 18](#_Toc534748926)

[Figura 24 - Variação da probabilidade de bloqueio com o ritmo de chamadas por hora 19](#_Toc534748927)

[Figura 25 - Variação da probabilidade de espera com o ritmo de chamadas por hora 19](#_Toc534748928)

[Figura 26 - Variação do tempo médio de espera com o ritmo de chamadas por hora 20](#_Toc534748929)

[Figura 27 - Variação da probabilidade de espera superior ao tempo de referência com o ritmo de chamadas por hora 20](#_Toc534748930)

[Figura 28 - Variação do número médio de chamadas em espera com o ritmo de chamadas por hora 21](#_Toc534748931)

[Figura 29 - Variação do tráfego oferecido com o ritmo de chamadas por hora 22](#_Toc534748932)

[Figura 30 - Variação do tráfego transportado com o ritmo de chamadas por hora 23](#_Toc534748933)

[Figura 31 - Variação da probabilidade de bloqueio com o ritmo de chamadas por hora 23](#_Toc534748934)

[Figura 32 - Variação da probabilidade de espera com o ritmo de chamadas por hora 24](#_Toc534748935)

[Figura 33 - Variação do tempo médio de espera com o ritmo de chamadas por hora 24](#_Toc534748936)

[Figura 34 - Variação da probabilidade de espera superior ao tempo de referência com o ritmo de chamadas por hora 25](#_Toc534748937)

[Figura 35 - Variação do número de chamadas em espera com o ritmo de chamadas por hora 25](#_Toc534748938)

# Introdução

Este trabalho tem como objetivo demonstrar os conhecimentos adquiridos nas aulas da unidade curricular de Sistemas de Telecomunicações e desenvolver o conhecimento e análise crítica sobre a engenharia de tráfego.

## 1.1 Ferramentas utilizadas para o desenvolvimento do trabalho

O trabalho desenvolvido e aqui descrito simula em MATLAB, por eventos discretos, um comportamento real de sistema de telecomunicações. Numa primeira fase, é feita a simulação de um modelo de chamadas perdidas, seguido de um modelo e chamadas em espera e, por fim, um sistema de atendimento de chamadas de emergência.

# Formulação dos problemas do trabalho

## 2.1 Modelo de chamadas perdidas

Neste problema, foi considerada uma central com um conjunto de linhas que se destina a receber chamadas telefónicas segundo um processo de *Poisson* e em que se não houver operadores disponíveis, estas serão bloqueadas.

Tendo em consideração os seguintes parâmetros de entrada:

* Número de linhas da central telefónica;
* Ritmo médio de chegada de chamadas;
* Duração média de chamada.

O modelo produziu os seguintes resultados:

Os gráficos que se seguem representam a variação do tráfego oferecido, tráfego transportado, probabilidade de bloqueio e tempo médio entre chamadas de acordo com a variação do ritmo de chamadas por hora (entre 100 e 800 chamadas por hora).

Figura 1 - Variação do tráfego oferecido com o ritmo de chamadas por hora

Figura 2 - Variação do tráfego transportado com o ritmo de chamadas por hora

Figura 3 - Variação da probabilidade de bloqueio com o ritmo de chamadas por hora

Figura 4 - Variação do tempo médio entre chamadas com o ritmo de chamadas por hora

Pela análise dos gráficos acima apresentados, podemos concluir que, o tráfego oferecido aumenta em função do aumento do ritmo de chamadas por hora.

O sistema tem um limite no que toca à sua capacidade de transportar esse tráfego, quando o resto das variáveis se mantêm iguais. Como se pode observar na Figura 2, a partir de cerca das 400 chamadas por hora, o tráfego transportado torna-se mais constante aproximadamente perto dos 10 *Erlangs*, isto porque o não tem resposta para ritmos muito mais elevados, devido à escassez de operadores para lidar com estes.

Em relação à probabilidade de bloqueio, como esperado, este aumenta muito devido ao aumento das chamadas por hora, pela razão explicada em cima.

O tempo médio entre chamadas terá de ser menor quanto maior for o número de chamadas a chegar por hora, caso contrário o número de chamadas bloqueadas seria muito superior.

Os gráficos que se seguem representam a variação do tráfego oferecido, tráfego transportado, probabilidade de bloqueio e tempo médio entre chamadas de acordo com a duração média das chamadas (entre 80 e 500 segundos).

Figura 5 - Variação do tráfego oferecido com a duração média das chamadas

Figura 6 - Variação do tráfego transportado com a duração média das chamadas

Figura 7 - Variação da probabilidade de bloqueio com a duração média das chamadas

Figura 8 - Variação do tempo médio entre chamadas com a duração média das chamadas

Pela análise dos gráficos acima apresentados, podemos concluir que, o tráfego oferecido aumenta segundo a duração média das chamadas.

O sistema tem um limite no que toca à sua capacidade de transportar esse tráfego, derivado também pela não alteração das restantes variáveis . Como se pode observar na Figura 6, a partir de chamadas com cerca de 2 minutos e 20 segundos de duração para cima, o tráfego transportado torna-se aproximadamente constante, perto dos 10 *Erlangs*, uma vez que o sistema não tem capacidade para dar resposta às novas chamadas que chegam quando as linhas se encontram ocupadas por chamadas que ainda estão a decorrer.

No que toca à probabilidade de bloqueio, o aumento é evidente devido à falta de resposta por parte dos operadores, originando que chamadas que chegam, serem bloqueadas devido à falta de operadores.

O tempo médio entre chamadas mantém-se constante, pois o ritmo de entrada de chamadas por hora no sistema também se mantém constante.

Os gráficos que se seguem representam a variação do tráfego oferecido, tráfego transportado, probabilidade de bloqueio e tempo médio entre chamadas de acordo com o número de linhas do sistema.

Figura 9 - Variação do tráfego oferecido com o número de linhas do sistema

Figura 10 - Variação do tráfego transportado com o número de linhas do sistema

Figura 11 - Variação da probabilidade de bloqueio com o número de linhas do sistema

Figura 12 - Variação do tempo médio entre chamadas com o número de linhas do sistema

Pela análise dos gráficos acima apresentados, podemos concluir que o tráfego oferecido é independente do número de linhas do sistema e o tráfego transportado aumenta de forma aproximadamente linear com o número de linhas do sistema. Logo, quanto maior for o número de linhas do sistemas, mais capacidade este tem de lidar com as chamadas

Por sua vez, a probabilidade de bloqueio tem o comportamento oposto do tráfego transportado. Quanto mais linhas constituírem o sistema, menor será a probabilidade de bloqueio porque o sistema tem uma maior capacidade de resposta às chamadas que chegam.

O tempo médio entre chamadas mantém-se constante, visto que o ritmo de entrada de chamadas por hora no sistema também se mantém constante.

## 2.2 Modelo de chamadas em espera

Neste problema, foi considerado um sistema de atendimento de chamadas telefónicas com lista de espera em que perante a inexistência de operadores disponíveis para atendimento das chamadas, as mesmas são colocadas em fila de espera. Neste modelo considera-se que a chegada de chamadas decorre segundo um processo de *Poisson* e que o tempo de atendimento das chamadas segue uma distribuição exponencial. As chamadas são atendidas por ordem de chegada e, caso a fila de espera se encontre totalmente preenchida, as chamadas são perdidas.

Neste sistema, considerou-se que não existe abandono de chamadas.

Tendo em consideração os seguintes parâmetros de entrada:

* Dimensão da fila de espera;
* Número de operadores;
* Número de linhas da central telefónica;
* Duração média de chamada;
* Tempo de espera de referência.

O modelo produziu os seguintes resultados:

Os gráficos que se seguem representam a variação do tráfego oferecido, tráfego transportado, probabilidade de bloqueio, probabilidade de espera, tempo médio de espera, probabilidade de espera superior ao tempo de referência e número médio de chamadas em espera, de acordo com a variação do ritmo de chamadas por hora (entre 100 e 800 chamadas por hora). Nesta primeira simulação, colocámos o número de operadores igual ao número de linhas, de forma a que não existisse fila de espera.

Figura 13 - Variação do tráfego oferecido com o ritmo de chamadas por hora

Figura 14 - Variação do tráfego transportado com o ritmo de chamadas por hora

Figura 15 - Variação da probabilidade de bloqueio com o ritmo de chamadas por hora

Pela análise dos gráficos acima apresentados, podemos concluir que, quando maior é o ritmo de chamadas que chegam por hora, maior é o tráfego oferecido.

No entanto, visto que todas as outras variáveis de simulação, nomeadamente a duração das chamadas, o número de linhas, o número de operadores, o tempo de simulação e o tempo de espera de referência, se mantiveram constantes, o sistema tem um limite no que toca à sua capacidade de transportar esse tráfego. Como se pode observar na Figura 14, a partir de cerca das 500 chamadas por hora, o tráfego transportado estabiliza e torna-se aproximadamente constante perto dos 9 *Erlangs*, uma vez que o sistema não tem capacidade para dar resposta a um ritmo de chegada de chamadas tão elevado.

No que toca à probabilidade de bloqueio, o aumento é significativo quando o ritmo de chamadas por hora aumenta, mais uma vez devido à incapacidade de resposta do sistema a um ritmo de chegada de chamadas tão elevado.

A probabilidade de espera, o tempo médio de espera, a probabilidade de espera superior ao tempo de referência e o número médio de chamadas em espera é nulo, visto que, para este cenário de testes, não existe fila de espera. Para fazermos a simulação sem a fila de espera, colocámos o número de linhas igual ao número de operadores e, desta forma, os resultados obtidos mostram-se muito aproximados aos do exercício 1.

Os gráficos que se seguem representam a mesma simulação feita anteriormente, mas desta vez, colocámos uma dimensão de 1000 linhas, de forma a simular que a existência de uma fila de espera infinita.

Inicialmente, por forma a sabermos qual o valor de *Erlang B* que deveríamos obter, realizámos as seguintes operações:

Ou seja,

Começámos por selecionar um valor de probabilidade de bloqueio, através da observação da tabela de *Erlang B* que nos foi disponibilizada pelo docente, para o número de operadores utilizado na simulação (neste caso, 1 operador) e obtivemos o tráfego oferecido que teríamos de gerar. Através da expressão acima, obtivemos o valor do h (duração de chamada) que devíamos utilizar na simulação.

Fizemos várias simulações para uma probabilidade de bloqueio de 3% e tráfego oferecido de 0.25 Erlangs. Ajustámos o valor da duração de chamada e ritmo de chamada por hora em cada simulação para garantirmos que o sistema fica em equilíbrio e obtivemos os seguintes resultados (nos gráficos que se seguem, os valores que se encontram por baixo do gráfico, na horizontal, representam o ritmo de chamadas por hora):

Figura 16 - Variação do tráfego oferecido com o ritmo de chamadas por hora

Figura 17 - Variação do tráfego transportado com o ritmo de chamadas por hora

Figura 18 - Variação da probabilidade de espera com o ritmo de chamadas por hora

Figura 19 - Variação do tempo médio de espera com o ritmo de chamadas por hora

Figura 20 - Variação da probabilidade de espera superior ao tempo de referência com o ritmo de chamadas por hora

Figura 21 - Variação do número médio de chamadas em espera com o ritmo de chamadas por hora

Pela análise dos gráficos acima apresentados, podemos concluir que, no que toca ao tráfego transportado e oferecido, os valores mantêm-se aproximadamente constantes, visto que os cálculos que realizámos inicialmente foram ajustados para um valor de tráfego oferecido fixo (0.25 *Erlangs*).

A probabilidade de espera também sofre poucas variações, visto que, embora o ritmo de chamadas que chegam ao sistema por hora aumente, a duração de cada uma diminui. Isto foi algo definido por nós em cada simulação para garantirmos que o sistema se mantinha em equilíbrio e porque pretendíamos trabalhar com os mesmos valores de tráfego oferecido e de probabilidade de bloqueio.

O tempo médio de espera e a probabilidade das chamadas que ficam em espera, permanecerem na fila por um tempo superior ao tempo de espera de referência vai diminuindo, porque a duração das chamadas diminui. Assim, visto que as chamadas terminam mais rapidamente, os operadores ficam disponíveis para receber uma nova chamada e atendem as chamadas que se encontravam na fila de espera mais rapidamente também.

Por sua vez, apesar do facto das chamadas saírem da fila de espera mais rapidamente, o número de chamadas total que passa pela fila de espera sofre um aumento aproximadamente constante, à medida que o ritmo de chamadas por hora a entrar no sistema aumenta. Isto é, existem mais chamadas a entrar na fila de espera, mas também são atendidas mais depressa à medida que o ritmo de chamadas por hora aumenta e a duração das chamadas diminui. Desta forma, o sistema mantém-se em equilíbrio.

Fizemos uma segunda simulação, desta vez com valores fixos de duração de chamada (140 segundos), número de linhas, número de operadores (5 operadores), tempo de simulação (24 horas) e tempo de espera de referência (60 segundos) num sistema de fila de espera infinita (1000 linhas). Os resultados seguintes foram obtidos para diferentes ritmos de chamada a chegar ao sistema por hora:

Figura 22 - Variação do tráfego oferecido com o ritmo de chamadas por hora

Figura 23 - Variação do tráfego transportado com o ritmo de chamadas por hora

Figura 24 - Variação da probabilidade de bloqueio com o ritmo de chamadas por hora

Figura 25 - Variação da probabilidade de espera com o ritmo de chamadas por hora

Figura 26 - Variação do tempo médio de espera com o ritmo de chamadas por hora

Figura 27 - Variação da probabilidade de espera superior ao tempo de referência com o ritmo de chamadas por hora

Figura 28 - Variação do número médio de chamadas em espera com o ritmo de chamadas por hora

Pela análise dos gráficos acima apresentados, podemos concluir que, quando maior é o ritmo de chamadas que chegam por hora, maior é o tráfego oferecido, transportado e probabilidade de bloqueio. Os valores da probabilidade de bloqueio foram obtidos mais uma vez, a partir da tabela de *Erlang B*. Nesta simulação, fizemos o processo inverso ao da simulação anterior, isto é, em vez de obtermos a duração e ritmo de chamada para um certo tráfego e probabilidade de bloqueio, obtivemos o tráfego e probabilidade de bloqueio para os valores de ritmo e duração de chamada que definimos no início da simulação.

A probabilidade de espera também aumenta com o aumento do ritmo de chamadas por hora, no entanto, a partir das 120 chamadas por hora, o valor teórico sofreu um grande aumento. Este aumento deve-se ao facto de o sistema entrar em desequilíbrio. Para o cálculo da probabilidade de bloqueio, utilizámos a seguinte expressão:

Onde B representa o valor da probabilidade de bloqueio obtido a partir da tabela de Erlang B, N representa o número de operadores e A representa o tráfego oferecido. Quando a parcela A(1 – B) resulta num valor superior ao número de operadores, esta expressão resulta em valores negativos, ou seja, o sistema não está em equilíbrio.

O tempo médio de espera aumenta com o aumento do ritmo de chamadas e mantém-se próximo no que toca a valores reais e teóricos até atingirmos o ponto em que o sistema entra em desequilíbrio. Quando esse ponto é atingido, os valores diferem completamente, visto que para o cálculo do tempo médio de espera teórico segue a expressão:

Ou seja, quando o tráfego oferecido é superior ao número de operadores (o que acontece neste caso), a expressão devolve um resultado negativo, isto é, o sistema está em desequilíbrio.

A probabilidade de espera superior ao tempo de referência também aumenta com o aumento do ritmo de chamadas e, mais uma vez, os seus valores teóricos e reais divergem quando o sistema entra em desequilíbrio pelas mesmas razões dos casos anteriores.

O número médio de chamadas em espera aumenta com o aumento do ritmo de chamadas, porque o número de operadores se mantém constante e existem mais chamadas a entrar no sistema, ou seja, há mais chamadas a entrar e a ficar na fila de espera até que as que os operadores estão a atender sejam libertadas.

Por fim, fizemos uma nova simulação com os mesmos dados da anterior, mas desta vez com 15 operadores para garantir que o sistema se mantém em equilíbrio a partir das 120 chamadas por hora a entrar no sistema. Os resultados obtidos foram os seguintes:

Figura 29 - Variação do tráfego oferecido com o ritmo de chamadas por hora

Figura 30 - Variação do tráfego transportado com o ritmo de chamadas por hora

Figura 31 - Variação da probabilidade de bloqueio com o ritmo de chamadas por hora

Figura 32 - Variação da probabilidade de espera com o ritmo de chamadas por hora

Figura 33 - Variação do tempo médio de espera com o ritmo de chamadas por hora

Figura 34 - Variação da probabilidade de espera superior ao tempo de referência com o ritmo de chamadas por hora

Figura 35 - Variação do número de chamadas em espera com o ritmo de chamadas por hora

Em relação à simulação anterior, o tráfego oferecido, transportado, probabilidade de bloqueio e número de chamadas em espera comportam-se da mesma forma.

A probabilidade de espera, probabilidade de espera superior ao tempo de referência e tempo médio de espera aumentam com o aumento do ritmo de chamadas, visto que existem mais chamadas a entrar no sistema e os restantes parâmetros se mantêm constantes. Desta vez, visto que temos um número de operadores mais elevado, as expressões anteriores já verificam que o sistema se encontra em equilíbrio.

## 2.3 Sistema de atendimento de chamadas de emergência

Neste problema, foi considerado um centro de atendimento de chamadas emergência (112) em que o processo de chegada segue um processo de Poisson e em que as chamadas não imediatamente atendidas são colocadas em fila de espera de dimensão finita (número de linhas do centro). Na chegada das chamadas estas são atendidas em primeiro lugar por operadores que efetuam a triagem e classificação das mesmas:

• Chamadas relativas a segurança de pessoas e bens. Estas chamadas são imediatamente processadas pelos operadores do 112;

• Chamadas relativas a emergência médica. Estas chamadas são transferidas para um centro de atendimento do INEM com uma lista de espera própria (de dimensão finita) e operadores independentes. As chamadas transferidas para o INEM serão igualmente atendidas por ordem de chegada. A libertação da linha do centro de 112 apenas ocorre após atendimento no INEM.

Foi-nos fornecido um ficheiro contendo uma amostra de uma hora de ponta com a caracterização do número, tipo e duração das chamadas.

No seu desenvolvimento, deparámo-nos com um problema na execução da simulação, onde este, na alteração do tempo de chamandas devido à sua presença na fila de espera, este valores estavam a ser alterados em alturas não devidas, impossibilitando assim o término da simulação.

Por esta razão, não conseguimos obter resultados pedidos pelo enunciado.

# Conclusões

Na realização deste trabalho prático, houve algumas complicações em relação ao modelo 2, em que na linguagem de MATLAB, as coisas complicam um bocado.

O exercício 3 não fora completado, pois existe um erro em relação ao tempo final de chamadas, onde este literalmente “desaparece” do nada.

Esperamos completar assim este exercício 3, e assim completar então o resto do trabalho e relatório com análise completa.

# Referências:

* Slides da unidade curricular disponibilizados pelo docente na página Moodle;
* Tabela de *Erlang B* disponibilizada pelo docente na página Moodle;
* <https://en.wikipedia.org/wiki/Erlang_(unit)>