

Departamento de Engenharia Informática  
SCC  
2016/2017



**Relatório**

Gonçalo Oliveira Amaral 2015249122  
Joaquim Ramires Ferrer 2015260670

## Arquitetura do simulador

O simulador criado foi baseado no exemplo fornecido no inforestudante na linguagem Python. Está desenvolvido utilizando o paradigma de programação orientado a objetos e cria simulações baseadas em eventos.

## Como usar o simulador

O simulador requer que o módulo PyQt4 (<http://www.lfd.uci.edu/~gohlke/pythonlibs/#pyqt4>) e a versão Python 3.6 (<https://www.python.org/downloads/release/python-360/>) estejam instalados. Para correr o simulador, abra a linha de comandos e use o seguinte comando **python App.py**.

## Classes presentes no simulador

### aleatorio.py

#### Random

Classe para gerar números aleatórios de acordo com o tipo de distribuição. (exponencial ou normal). Cada objeto criado desta classe tem associada uma stream e é inicializado com uma seed. De forma a que se um objeto for criado com a mesma seed vai retirar a mesma sequência de números aleatórios (que são posteriormente transformados numa normal ou numa exponencial).

### Cliente.py

#### Client

Classe que representa o tipo de cliente, neste caso o tipo de peça (A ou B).

### eventos.py

#### Evento

Classe genérica que representa um evento com o instante em que deve ser executado.

#### Chegada

Classe que representa uma chegada à fábrica. Inicialmente são criadas duas chegadas, uma para o A e outra para o B. Sempre que uma é executada agenda a próxima chegada do mesmo tipo.

#### Saida

Classe que representa a saída de um serviço. Quando é criada, é passada a fila a que é associada. Quando é executada retira o objeto da fila a que está associada e põe na próxima fila (isto depende da fila a que está associado).

### fila.py

#### Fila

Classe que representa um serviço, a fila de espera e os clientes a que estão a ser servidos associados a esse serviço. Agenda as saídas sempre que é inserido um cliente no serviço. Cada objeto também vai criando estatísticas com base no que vai acontecendo no seu objeto.

### lista.py

#### Lista

Classe que representa a lista de eventos ordenados pelo tempo de execução com os métodos necessários para gerir a mesma.

## **rand\_genrator.py**

Ficheiro fornecido para gerar números aleatórios de acordo com uma stream. Essa stream pode inicializada com uma seed.

## **simulador.py**

### **Simulador**

Classe principal do simulador onde residem todos os métodos para a gestão do mesmo como inicialização dos serviços e da fila de eventos, criação de dois eventos de chegada e execução dos eventos enquanto estes existirem ou de acordo com o tempo ou número de clientes limite. Também é responsável pela agregação das estatísticas das filas.

## **App.py**

### **App**

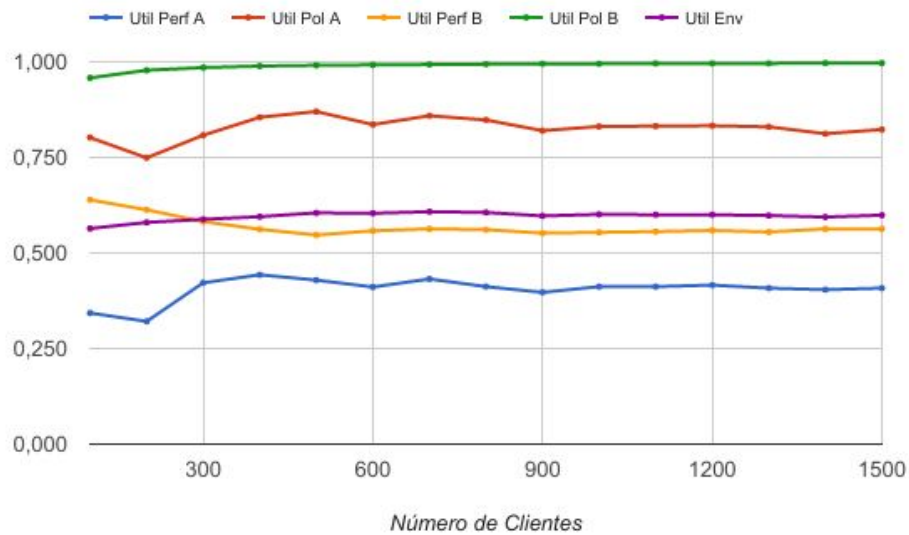
Classe main (que deve ser chamada). Inicializa o ambiente gráfico e apresenta o output. É também responsável por criar e calcular médias de um número de simulações de acordo com o que o utilizador quer.

## Validação Interna

Resultados da simulação

Peças grandes (A)						
Perfuração	Media espera	0.777	Utilizacao media	0.401	Comp medio fila	0.400
Polimento	Media espera	7.745	Utilizacao media	0.803	Comp medio fila	1.300
Cientes atendido	Perfuracao	233.300	Polimento	231.100		
Peças grandes (B)						
Perfuração	Media espera	0.559	Utilizacao media	0.562	Comp medio fila	0.800
Polimento	Media espera	68.909	Utilizacao media	0.995	Comp medio fila	102.600
Cientes atendido	Perfuracao	874.600	Polimento	770.000		
Envernizamento	Media espera	0.088	Utilizacao media	0.600	Comp medio fila	0.100
Cientes atendid	1000.000	Tempo simulacac	1158	Nº repetições	10	

Resultados médios de 10 repetições com os parâmetros descritos no enunciado:



Como podemos ver os valores estabilizaram por volta dos 1000 clientes.

## Validação externa

Para fazer uma validação independente do simulador criado, utilizamos o programa GPSS usado nas aulas. Usando os parâmetros descritos no enunciado e servindo 1000 clientes, fizemos 1000 repetições da simulação:

### GPSS

	Média espera	Utilização média	Comp médio fila
<b>Perfuração A</b>	0.919	0.400	0.180
<b>Polimento A</b>	7.413	0.782	1.453
<b>Perfuração B</b>	0.584	0.567	0.440
<b>Polimento B</b>	78.301	0.981	58.886
<b>Envernizamento</b>	0.091	0.596	0.078

### Simulador

<b>Peças grandes (A)</b>						
<b>Perfuração</b>	Media espera	0.737	Utilizacao media	0.402	Comp medio fila	0.141
<b>Polimento</b>	Media espera	7.600	Utilizacao media	0.797	Comp medio fila	1.622
<b>Clientes atendidos</b>	Perfuracao	233.652	Polimento	231.216		
<b>Peças grandes (B)</b>						
<b>Perfuração</b>	Media espera	0.561	Utilizacao media	0.564	Comp medio fila	0.482
<b>Polimento</b>	Media espera	69.341	Utilizacao media	0.994	Comp medio fila	102.276
<b>Clientes atendidos</b>	Perfuracao	873.926	Polimento	769.650		
<b>Envernizamento</b>	Media espera	0.093	Utilizacao media	0.602	Comp medio fila	0.014
<b>Clientes atendidos</b>	1000.000	<b>Tempo simulacao</b>	1136	<b>Nº repeticoes</b>	1000	

Usando os parâmetros descritos no enunciado e servindo durante 1200 unidades temporais (valor arredondado do tempo médio da simulação para 1000 clientes onde a simulação estabiliza), fizemos 1000 repetições da simulação:

### GPSS

	Média espera	Utilização média	Comp médio fila
<b>Perfuração A</b>	0.901	0.400	0.177
<b>Polimento A</b>	7.360	0.786	1.448
<b>Perfuração B</b>	0.584	0.571	0.443
<b>Polimento B</b>	79.208	0.981	59.934
<b>Envernizamento</b>	0.091	0.596	0.078

### Simulador

<b>Peças grandes (A)</b>						
<b>Perfuração</b>	Media espera	0.736	Utilizacao media	0.402	Comp medio fila	0.147
<b>Polimento</b>	Media espera	7.592	Utilizacao media	0.797	Comp medio fila	1.599
<b>Clientes atendidos</b>	Perfuracao	241.186	Polimento	238.782		
<b>Peças grandes (B)</b>						
<b>Perfuração</b>	Media espera	0.561	Utilizacao media	0.564	Comp medio fila	0.402
<b>Polimento</b>	Media espera	71.430	Utilizacao media	0.994	Comp medio fila	105.324
<b>Clientes atendidos</b>	Perfuracao	901.824	Polimento	794.500		
<b>Envernizamento</b>	Media espera	0.093	Utilizacao media	0.602	Comp medio fila	0.077
<b>Clientes atendidos</b>	1031.996	<b>Tempo simulacao</b>	1200	<b>Nº repeticoes</b>	1000	

Podemos concluir que a precisão do simulador criado se aproxima dos resultados obtidos no GPSS comprovando assim a implementação do simulador.

## Variação de parâmetros

### Variação da média de chegada de A de 5 para 10

<b>Peças grandes (A)</b>						
<b>Perfuração</b>	Media espera	0.324	Utilizacao media	0.205	Comp medio fila	0.000
<b>Polimento</b>	Media espera	1.480	Utilizacao media	0.414	Comp medio fila	0.000
<b>Cientes atendidos</b>	Perfuracao	134.500	Polimento	134.100		
<b>Peças grandes (B)</b>						
<b>Perfuração</b>	Media espera	0.560	Utilizacao media	0.560	Comp medio fila	0.200
<b>Polimento</b>	Media espera	77.353	Utilizacao media	0.995	Comp medio fila	113.800
<b>Cientes atendidos</b>	Perfuracao	982.400	Polimento	866.600		
<b>Envernizamento</b>	Media espera	0.055	Utilizacao media	0.532	Comp medio fila	0.000
<b>Cientes atendidos</b>	1000.000	<b>Tempo simulacao</b>	1306	<b>Nº repetições</b>	10	

Como dobramos o tempo com que chegam peças, verificamos, como esperado, que a taxa de utilização da perfuração e do polimento de A diminui para metade e uma pequena diminuição na taxa de utilização do envernizamento pois o bottleneck do sistema reside no polimento de B.

### Variação da média de chegada de A de 5 para 4.1

<b>Peças grandes (A)</b>						
<b>Perfuração</b>	Media espera	1.048	Utilizacao media	0.482	Comp medio fila	0.100
<b>Polimento</b>	Media espera	27.367	Utilizacao media	0.947	Comp medio fila	7.500
<b>Cientes atendidos</b>	Perfuracao	270.300	Polimento	261.800		
<b>Peças grandes (B)</b>						
<b>Perfuração</b>	Media espera	0.547	Utilizacao media	0.560	Comp medio fila	0.300
<b>Polimento</b>	Media espera	66.547	Utilizacao media	0.994	Comp medio fila	94.800
<b>Cientes atendidos</b>	Perfuracao	836.000	Polimento	739.200		
<b>Envernizamento</b>	Media espera	0.099	Utilizacao media	0.625	Comp medio fila	0.000
<b>Cientes atendidos</b>	1000.000	<b>Tempo simulacao</b>	1116	<b>Nº repetições</b>	10	

Como aproximamos o tempo de chegada de A da média do polimento de A, a taxa de utilização sobe para quase 100% criando assim um bottleneck, confirmado pela taxa de utilização do envernizamento que aumenta.

## Variação da média de tempo de serviço da perfuração de A de 2 para 4.9

Peças grandes (A)						
Perfuração	Media espera	29.695	Utilizacao media	0.953	Comp medio fila	6.900
Polimento	Media espera	0.455	Utilizacao media	0.781	Comp medio fila	0.200
Clientes atendidos	Perfuracao	227.500	Polimento	226.300		
Peças grandes (B)						
Perfuração	Media espera	0.560	Utilizacao media	0.561	Comp medio fila	0.900
Polimento	Media espera	69.352	Utilizacao media	0.995	Comp medio fila	103.100
Clientes atendidos	Perfuracao	879.500	Polimento	774.400		
Envernizamento	Media espera	0.083	Utilizacao media	0.596	Comp medio fila	0.000
Clientes atendidos	1000.000	Tempo simulacao	1163	Nº repeticoes	10	

Ao aproximarmos o tempo médio de serviço do tempo do intervalo de chegada de peças A a sua taxa de utilização irá naturalmente aumentar como se confirma, criando um bottleneck que alivia o serviço de polimento de A.

## Variação da média de tempo de serviço da perfuração de A de 2 para 1

Peças grandes (A)						
Perfuração	Media espera	0.197	Utilizacao media	0.206	Comp medio fila	0.100
Polimento	Media espera	8.295	Utilizacao media	0.804	Comp medio fila	1.600
Clientes atendidos	Perfuracao	233.700	Polimento	231.200		
Peças grandes (B)						
Perfuração	Media espera	0.559	Utilizacao media	0.562	Comp medio fila	0.900
Polimento	Media espera	68.929	Utilizacao media	0.995	Comp medio fila	102.400
Clientes atendidos	Perfuracao	874.100	Polimento	769.700		
Envernizamento	Media espera	0.085	Utilizacao media	0.600	Comp medio fila	0.000
Clientes atendidos	1000.000	Tempo simulacao	1158	Nº repeticoes	10	

Ao diminuirmos a média do serviço de perfuração de A para metade a sua utilização também diminui para metade, mas como este serviço não perturba negativamente o resto do sistema, não vemos mudanças no mesmo.



### Variação do desvio padrão da perfuração de A de 0.7 para 1.4

<b>Peças grandes (A)</b>						
<b>Perfuração</b>	Media espera	1.057	Utilizacao media	0.411	Comp medio fila	0.400
<b>Polimento</b>	Media espera	7.685	Utilizacao media	0.803	Comp medio fila	1.200
<b>Clientes atendidos</b>	Perfuracao	233.200	Polimento	231.100		
<b>Peças grandes (B)</b>						
<b>Perfuração</b>	Media espera	0.559	Utilizacao media	0.562	Comp medio fila	0.900
<b>Polimento</b>	Media espera	68.929	Utilizacao media	0.995	Comp medio fila	102.600
<b>Clientes atendidos</b>	Perfuracao	874.500	Polimento	769.900		
<b>Envernizamento</b>	Media espera	0.089	Utilizacao media	0.600	Comp medio fila	0.100
<b>Clientes atendidos</b>	1000.000	<b>Tempo simulacao</b>	1158	<b>Nº repetições</b>	10	

Como esperado, o aumento do desvio padrão não causa mudanças no sistema, apenas aumenta o tempo médio de pois estamos a considerar uma amostra de 1000, para uma amostra infinitamente grande a variação do desvio padrão seria negligenciável.

### Variação do desvio padrão da perfuração de A de 0.7 para 0.1

<b>Peças grandes (A)</b>						
<b>Perfuração</b>	Media espera	0.682	Utilizacao media	0.401	Comp medio fila	0.300
<b>Polimento</b>	Media espera	7.796	Utilizacao media	0.803	Comp medio fila	1.400
<b>Clientes atendidos</b>	Perfuracao	233.400	Polimento	231.100		
<b>Peças grandes (B)</b>						
<b>Perfuração</b>	Media espera	0.559	Utilizacao media	0.562	Comp medio fila	0.900
<b>Polimento</b>	Media espera	68.915	Utilizacao media	0.995	Comp medio fila	102.500
<b>Clientes atendidos</b>	Perfuracao	874.500	Polimento	770.000		
<b>Envernizamento</b>	Media espera	0.088	Utilizacao media	0.600	Comp medio fila	0.100
<b>Clientes atendidos</b>	1000.000	<b>Tempo simulacao</b>	1158	<b>Nº repetições</b>	10	

Seguindo a linha de pensamentos anterior verificamos que diminuir o desvio padrão apenas diminui o tempo médio de espera.

## Variação do número de máquinas da perfuração de A de 1 para 2

Peças grandes (A)						
Perfuração	Media espera	0.056	Utilizacao media	0.201	Comp medio fila	0.000
Polimento	Media espera	8.365	Utilizacao media	0.803	Comp medio fila	1.500
Cientes atendidos	Perfuracao	233.500	Polimento	231.100		
Peças grandes (B)						
Perfuração	Media espera	0.559	Utilizacao media	0.562	Comp medio fila	0.800
Polimento	Media espera	68.907	Utilizacao media	0.995	Comp medio fila	102.600
Cientes atendidos	Perfuracao	874.600	Polimento	770.000		
Envernizamento	Media espera	0.089	Utilizacao media	0.600	Comp medio fila	0.100
Cientes atendidos	1000.000		Tempo simulacao	1158	Nº repetições	10

Semelhante ‘a diminuição do tempo médio de serviço da perfuração de A, vemos uma descida da taxa de utilização para metade e menor tempo de espera.

## Variação da média do tempo de serviço do polimento de A de 4 para 2

Peças grandes (A)						
Perfuração	Media espera	0.779	Utilizacao media	0.401	Comp medio fila	0.100
Polimento	Media espera	0.556	Utilizacao media	0.412	Comp medio fila	0.100
Cientes atendidos	Perfuracao	232.800	Polimento	232.200		
Peças grandes (B)						
Perfuração	Media espera	0.558	Utilizacao media	0.562	Comp medio fila	1.000
Polimento	Media espera	68.842	Utilizacao media	0.995	Comp medio fila	102.600
Cientes atendidos	Perfuracao	873.200	Polimento	768.600		
Envernizamento	Media espera	0.114	Utilizacao media	0.601	Comp medio fila	0.000
Cientes atendidos	1000.000		Tempo simulacao	1157	Nº repetições	10

Ao reduzirmos a média do tempo do serviço de polimento de peças A para metade, como expectável, a taxa de utilização desceu para metade, removendo este serviço como potencial bottleneck.

## Variação da média do tempo de serviço do polimento de A de 4 para 4.9

<b>Peças grandes (A)</b>						
<b>Perfuração</b>	Media espera	0.775	Utilizacao media	0.401	Comp medio fila	0.000
<b>Polimento</b>	Media espera	33.277	Utilizacao media	0.952	Comp medio fila	7.800
<b>Cientes atendidos</b>	Perfuracao	234.700	Polimento	225.900		
<b>Peças grandes (B)</b>						
<b>Perfuração</b>	Media espera	0.560	Utilizacao media	0.562	Comp medio fila	0.700
<b>Polimento</b>	Media espera	69.411	Utilizacao media	0.995	Comp medio fila	103.200
<b>Cientes atendidos</b>	Perfuracao	880.300	Polimento	775.100		
<b>Envernizamento</b>	Media espera	0.082	Utilizacao media	0.596	Comp medio fila	0.000
<b>Cientes atendidos</b>	1000.000	<b>Tempo simulacao</b>	1161	<b>Nº repetições</b>	10	

Aproximando a média de tempo deste serviço do tempo de chegada de cada peça obtemos um taxa de utilização perto de 100% pois a frequência com que chegam peças ao sistema e' muito próxima da frequência a que o serviço as liberta.

## Variação do desvio padrão do polimento de A de 1.2 para 2.4

<b>Peças grandes (A)</b>						
<b>Perfuração</b>	Media espera	0.778	Utilizacao media	0.401	Comp medio fila	0.200
<b>Polimento</b>	Media espera	11.311	Utilizacao media	0.817	Comp medio fila	1.900
<b>Cientes atendidos</b>	Perfuracao	233.500	Polimento	230.700		
<b>Peças grandes (B)</b>						
<b>Perfuração</b>	Media espera	0.559	Utilizacao media	0.562	Comp medio fila	0.700
<b>Polimento</b>	Media espera	68.956	Utilizacao media	0.995	Comp medio fila	102.800
<b>Cientes atendidos</b>	Perfuracao	875.200	Polimento	770.400		
<b>Envernizamento</b>	Media espera	0.109	Utilizacao media	0.599	Comp medio fila	0.000
<b>Cientes atendidos</b>	1000.000	<b>Tempo simulacao</b>	1158	<b>Nº repetições</b>	10	

Estes resultados vão de acordo com o que foi visto anteriormente na alteração do desvio padrão, apenas houve alterações significativas na média de espera do serviço.

### Variação do desvio padrão do polimento de A de 1.2 para 0.6

<b>Peças grandes (A)</b>						
<b>Perfuração</b>	Media espera	0.777	Utilizacao media	0.401	Comp medio fila	0.300
<b>Polimento</b>	Media espera	6.701	Utilizacao media	0.799	Comp medio fila	1.200
<b>Cientes atendidos</b>	Perfuracao	233.300	Polimento	231.200		
<b>Peças grandes (B)</b>						
<b>Perfuração</b>	Media espera	0.559	Utilizacao media	0.562	Comp medio fila	0.900
<b>Polimento</b>	Media espera	68.941	Utilizacao media	0.995	Comp medio fila	102.500
<b>Cientes atendidos</b>	Perfuracao	874.200	Polimento	769.700		
<b>Envernizamento</b>	Media espera	0.085	Utilizacao media	0.600	Comp medio fila	0.000
<b>Cientes atendidos</b>	1000.000	<b>Tempo simulacao</b>	1158	<b>Nº repetições</b>	10	

E mais uma vez confirma-se que a diminuição do desvio padrão apenas afeta a média de espera.

### Variação do número de máquinas do serviço polimento de A de 1 para 2

<b>Peças grandes (A)</b>						
<b>Perfuração</b>	Media espera	0.779	Utilizacao media	0.401	Comp medio fila	0.100
<b>Polimento</b>	Media espera	0.203	Utilizacao media	0.403	Comp medio fila	0.000
<b>Cientes atendidos</b>	Perfuracao	232.900	Polimento	232.100		
<b>Peças grandes (B)</b>						
<b>Perfuração</b>	Media espera	0.559	Utilizacao media	0.562	Comp medio fila	0.800
<b>Polimento</b>	Media espera	68.868	Utilizacao media	0.995	Comp medio fila	102.700
<b>Cientes atendidos</b>	Perfuracao	873.500	Polimento	768.800		
<b>Envernizamento</b>	Media espera	0.118	Utilizacao media	0.600	Comp medio fila	0.000
<b>Cientes atendidos</b>	1000.000	<b>Tempo simulacao</b>	1157	<b>Nº repetições</b>	10	

Mais uma vez, obtivemos um resultado expectável. Ao dobrarmos o número de máquinas, a utilização média do serviço desce para metade removendo o bottleneck deste serviço, reduzindo abruptamente o tempo médio de espera.



### Variação da média de chegada de peças B de 1.33 para 3

Resultados da simulação						
Peças grandes (A)						
Perfuração	Media espera	0.744	Utilizacao media	0.400	Comp medio fila	0.100
Polimento	Media espera	7.631	Utilizacao media	0.801	Comp medio fila	1.800
Cientes atendido	Perfuracao	378.700	Polimento	376.000		
Peças grandes (B)						
Perfuração	Media espera	0.137	Utilizacao media	0.249	Comp medio fila	0.000
Polimento	Media espera	0.504	Utilizacao media	0.498	Comp medio fila	0.600
Cientes atendido	Perfuracao	626.500	Polimento	624.700		
Envernizamento	Media espera	0.043	Utilizacao media	0.370	Comp medio fila	0.000
Cientes atendid	1000.000	Tempo simulacac	1974	Nº repetições	10	

Reparamos que a utilização média do polimento B diminui para 50% o que corresponde às expectativas pois o fluxo de entrada aí será 1 peça de 3 em 3 minutos (pois a perfuração de B continua sem ser um bottleneck) e como há 2 máquinas de polimento, em média uma estará vazia (50% de utilização). Verificamos que a utilização de perfuração de B diminui para menos de metade o que faz sentido também pois o fluxo de entrada diminui para menos de metade.

### Variação de média de chegada de B de 1.33 para 0.8

Resultados da simulação						
Peças grandes (A)						
Perfuração	Media espera	0.778	Utilizacao media	0.401	Comp medio fila	0.100
Polimento	Media espera	7.747	Utilizacao media	0.802	Comp medio fila	1.300
Cientes atendido	Perfuracao	232.600	Polimento	230.400		
Peças grandes (B)						
Perfuração	Media espera	4.934	Utilizacao media	0.923	Comp medio fila	8.000
Polimento	Media espera	267.709	Utilizacao media	0.998	Comp medio fila	660.600
Cientes atendido	Perfuracao	1433.200	Polimento	770.600		
Envernizamento	Media espera	0.091	Utilizacao media	0.601	Comp medio fila	0.000
Cientes atendido	1000.000	Tempo simulacao	1149	Nº repetições	10	

Nota-se que tudo faz sentido. Como o número de peças a chegar à perfuração de B é ligeiramente mais pequeno (0.75 por minuto para 0.8) que a capacidade que este tem de as despachar, a utilização média fica praticamente nos 100%. A utilização média do polimento continua virtualmente nos 100% mas o tempo de espera aumenta. A utilização do envernizamento continua igual pois o polimento de B é um bottleneck do sistema.

## Variação de média de tempo de serviço da perfuração de B de 0.75 para 1.33

Resultados da simulação

Peças grandes (A)						
Perfuração	Media espera	0.778	Utilizacao media	0.402	Comp medio fila	0.200
Polimento	Media espera	7.745	Utilizacao media	0.803	Comp medio fila	1.300
Clientes atendido	Perfuracao	233.600	Polimento	231.300		
Peças grandes (B)						
Perfuração	Media espera	18.316	Utilizacao media	0.974	Comp medio fila	20.900
Polimento	Media espera	53.020	Utilizacao media	0.994	Comp medio fila	83.100
Clientes atendido	Perfuracao	854.800	Polimento	769.700		
Envernizamento	Media espera	0.087	Utilizacao media	0.599	Comp medio fila	0.000
Clientes atendid	1000.000	Tempo simulacac	1160	Nº repetições	10	

Verificamos que tudo acontece como esperaríamos. Ao aumentar o tempo de serviço para o mesmo tempo que chegam pacotes B a taxa de utilização fica próxima de 100%.

## Variação da média de tempo de serviço de perfuração de B de 0.75 para 0.5

Resultados da simulação						
Peças grandes (A)						
Perfuração	Media espera	0.777	Utilizacao media	0.401	Comp medio fila	0.300
Polimento	Media espera	7.745	Utilizacao media	0.803	Comp medio fila	1.200
Clientes atendido	Perfuracao	233.200	Polimento	231.100		
Peças grandes (B)						
Perfuração	Media espera	0.205	Utilizacao media	0.379	Comp medio fila	0.200
Polimento	Media espera	69.133	Utilizacao media	0.995	Comp medio fila	103.200
Clientes atendido	Perfuracao	875.200	Polimento	770.000		
Envernizamento	Media espera	0.088	Utilizacao media	0.600	Comp medio fila	0.100
Clientes atendid	1000.000	Tempo simulacac	1158	Nº repetições	10	

Ao diminuirmos um pouco, a taxa de utilização também desce na mesma proporção. O resto das filas não se altera de forma significativa pois não criamos nenhum bottleneck.

## Alteração do desvio padrão do tempo de serviço da perfuração de B de 0.3 para 1

Resultados da simulação

Peças grandes (A)						
Perfuração	Media espera	0.778	Utilizacao media	0.401	Comp medio fila	0.300
Polimento	Media espera	7.743	Utilizacao media	0.803	Comp medio fila	1.400
Clientes atendido	Perfuracao	233.500	Polimento	231.200		
Peças grandes (B)						
Perfuração	Media espera	1.521	Utilizacao media	0.659	Comp medio fila	1.700
Polimento	Media espera	69.024	Utilizacao media	0.994	Comp medio fila	102.100
Clientes atendido	Perfuracao	873.800	Polimento	769.700		
Envernizamento	Media espera	0.088	Utilizacao media	0.599	Comp medio fila	0.000
Clientes atendid	1000.000	Tempo simulacac	1160	Nº repetições	10	

Mais uma vez parece estar tudo certo. Ao mudarmos o desvio padrão estamos a aumentar a variabilidade do tempo. Com 1000 clientes estas variações só vão fazer diferença na utilização média final se alterarem a média da distribuição (que podem fazer pois qualquer tempo de serviço que fique abaixo de 0 fica a 0). No caso de 1 aumenta a utilização média.

## Alteração do desvio padrão do tempo de serviço da perfuração de B de 0.3 para 0.01

Resultados da simulação

Peças grandes (A)						
Perfuração	Media espera	0.777	Utilizacao media	0.401	Comp medio fila	0.300
Polimento	Media espera	7.744	Utilizacao media	0.803	Comp medio fila	1.300
Clientes atendido	Perfuracao	233.300	Polimento	231.100		
Peças grandes (B)						
Perfuração	Media espera	0.494	Utilizacao media	0.563	Comp medio fila	0.900
Polimento	Media espera	68.952	Utilizacao media	0.995	Comp medio fila	102.600
Clientes atendido	Perfuracao	874.300	Polimento	769.700		
Envernizamento	Media espera	0.088	Utilizacao media	0.600	Comp medio fila	0.000
Clientes atendid	1000.000	Tempo simulacac	1159	Nº repetições	10	

No caso de 0.01 diminui a média de espera pois diminui a “variância” que causa a formação de filas nos serviços que não são bottleneck.

## Alteração do número de máquinas de perfuração de B de 1 para 2

Resultados da simulação

Peças grandes (A)						
Perfuração	Media espera	0.777	Utilizacao media	0.401	Comp medio fila	0.300
Polimento	Media espera	7.744	Utilizacao media	0.803	Comp medio fila	1.300
Clientes atendido	Perfuracao	233.300	Polimento	231.100		
Peças grandes (B)						
Perfuração	Media espera	0.042	Utilizacao media	0.281	Comp medio fila	0.000
Polimento	Media espera	69.149	Utilizacao media	0.995	Comp medio fila	103.400
Clientes atendido	Perfuracao	875.400	Polimento	770.000		
Envernizamento	Media espera	0.088	Utilizacao media	0.600	Comp medio fila	0.100
Clientes atendid	1000.000	Tempo simulacac	1158	Nº repetições	10	

A utilização média desce para metade que coincide com o esperado.

## Variação de média de tempo de serviço de polimento de B de 3 para 4

Resultados da simulação						
Peças grandes (A)						
Perfuração	Media espera	0.756	Utilizacao media	0.395	Comp medio fila	0.300
Polimento	Media espera	7.330	Utilizacao media	0.793	Comp medio fila	1.300
Clientes atendido	Perfuracao	285.100	Polimento	282.900		
Peças grandes (B)						
Perfuração	Media espera	0.554	Utilizacao media	0.559	Comp medio fila	0.600
Polimento	Media espera	241.379	Utilizacao media	0.998	Comp medio fila	359.300
Clientes atendido	Perfuracao	1079.100	Polimento	717.800		
Envernizamento	Media espera	0.053	Utilizacao media	0.485	Comp medio fila	0.000
Clientes atendid	1000.000	Tempo simulacac	1448	Nº repetições	10	

Verificamos que 1 segundo aumenta enormemente o tempo médio de espera no polimento de B e reduz a utilização média do envernizamento. Faz sentido pois o tempo de espera aumenta 1 segundo por cada cliente que está na fila e ao reduzir o flow de saída do polimento de B, o flow de entrada do envernizamento vai descer.



## Varição de média de tempo de serviço de polimento de B de 3 para 2.9

Resultados da simulação						
Peças grandes (A)						
Perfuração	Media espera	0.789	Utilizacao media	0.400	Comp medio fila	0.100
Polimento	Media espera	7.820	Utilizacao media	0.801	Comp medio fila	1.200
Clientes atendido	Perfuracao	226.800	Polimento	224.900		
Peças grandes (B)						
Perfuração	Media espera	0.552	Utilizacao media	0.562	Comp medio fila	0.800
Polimento	Media espera	51.462	Utilizacao media	0.993	Comp medio fila	75.100
Clientes atendido	Perfuracao	853.100	Polimento	776.000		
Envernizamento	Media espera	0.098	Utilizacao media	0.615	Comp medio fila	0.000
Clientes atendid	1000.000	Tempo simulacac	1131	Nº repetições	10	

Ao reduzirmos um pouco a média vemos que o tempo de espera diminui como esperado e a utilização média do envernizamento aumenta.

## Varição do desvio padrão do tempo de serviço do polimento de B de 1 para 1.5

Resultados da simulação

Peças grandes (A)						
Perfuração	Media espera	0.775	Utilizacao media	0.402	Comp medio fila	0.200
Polimento	Media espera	7.723	Utilizacao media	0.803	Comp medio fila	1.600
Clientes atendido	Perfuracao	234.800	Polimento	232.300		
Peças grandes (B)						
Perfuração	Media espera	0.561	Utilizacao media	0.562	Comp medio fila	0.900
Polimento	Media espera	71.630	Utilizacao media	0.995	Comp medio fila	106.700
Clientes atendido	Perfuracao	877.800	Polimento	769.100		
Envernizamento	Media espera	0.132	Utilizacao media	0.597	Comp medio fila	0.100
Clientes atendido	1000.000	Tempo simulacao	1162	Nº repetições	10	

Acontece o previsto como explicado há pouco.

## Variação do desvio padrão do tempo de serviço do polimento de B de 1 para 0.5

Resultados da simulação

Peças grandes (A)						
Perfuração	Media espera	0.777	Utilizacao media	0.401	Comp medio fila	0.400
Polimento	Media espera	7.760	Utilizacao media	0.803	Comp medio fila	1.100
Clientes atendido	Perfuracao	232.900	Polimento	230.800		
Peças grandes (B)						
Perfuração	Media espera	0.559	Utilizacao media	0.562	Comp medio fila	0.900
Polimento	Media espera	68.518	Utilizacao media	0.995	Comp medio fila	101.700
Clientes atendido	Perfuracao	873.500	Polimento	769.800		
Envernizamento	Media espera	0.074	Utilizacao media	0.600	Comp medio fila	0.000
Clientes atendid	1000.000	Tempo simulacac	1158	Nº repetições	10	

Mais uma vez acontece o previsto como explicado há pouco.

## Alteração do número de máquinas de polimento de B de 2 para 3

Resultados da simulação						
Peças grandes (A)						
Perfuração	Media espera	0.808	Utilizacao media	0.399	Comp medio fila	0.000
Polimento	Media espera	7.997	Utilizacao media	0.800	Comp medio fila	1.100
Clientes atendido	Perfuracao	211.300	Polimento	209.400		
Peças grandes (B)						
Perfuração	Media espera	0.548	Utilizacao media	0.562	Comp medio fila	1.300
Polimento	Media espera	0.939	Utilizacao media	0.750	Comp medio fila	1.200
Clientes atendido	Perfuracao	795.900	Polimento	792.100		
Envernizamento	Media espera	0.223	Utilizacao media	0.659	Comp medio fila	0.100
Clientes atendid	1000.000	Tempo simulacac	1079	Nº repetições	10	

Podemos ver que diminui a utilização média do polimento para 0.75. O que significa que a chegada de peças ocorre a um ritmo de 75% do tempo que 3 máquinas conseguem tratar o polimento.

Portanto, 1 máquina de polimento trata em média 1 peça a cada 3 segundos. Logo 3 máquinas tratam 1 peça a cada 1 segundo. 1 segundo é precisamente  $\frac{1}{4}$  do tempo de chegada de peças B (1.3 segundos) confirmando-se de forma matemática o resultado.

### Variação da tempo médio do serviço de envernizamento de 1.4 para 3

<b>Peças grandes (A)</b>						
<b>Perfuração</b>	Media espera	0.761	Utilizacao media	0.397	Comp medio fila	0.200
<b>Polimento</b>	Media espera	7.389	Utilizacao media	0.794	Comp medio fila	2.800
<b>Clientes atendidos</b>	Perfuracao	298.900	Polimento	295.200		
<b>Peças grandes (B)</b>						
<b>Perfuração</b>	Media espera	0.553	Utilizacao media	0.559	Comp medio fila	0.200
<b>Polimento</b>	Media espera	88.268	Utilizacao media	0.996	Comp medio fila	128.500
<b>Clientes atendidos</b>	Perfuracao	1125.000	Polimento	994.500		
<b>Envernizamento</b>	Media espera	170.618	Utilizacao media	0.996	Comp medio fila	287.700
<b>Clientes atendidos</b>	1000.000	<b>Tempo simulacao</b>	1512	<b>Nº repetições</b>	10	

Como era de esperar ao aproximarmos o tempo médio do serviço de envernizamento do tempo médio que as peças dos outros serviços chegam iremos alcançar uma utilização perto dos 100% e criando um bottleneck.

### Variação do tempo médio do serviço de envernizamento de 1.4 para 0.7

<b>Peças grandes (A)</b>						
<b>Perfuração</b>	Media espera	0.778	Utilizacao media	0.401	Comp medio fila	0.100
<b>Polimento</b>	Media espera	7.746	Utilizacao media	0.803	Comp medio fila	1.100
<b>Clientes atendidos</b>	Perfuracao	233.100	Polimento	231.100		
<b>Peças grandes (B)</b>						
<b>Perfuração</b>	Media espera	0.558	Utilizacao media	0.562	Comp medio fila	1.000
<b>Polimento</b>	Media espera	68.888	Utilizacao media	0.995	Comp medio fila	102.300
<b>Clientes atendidos</b>	Perfuracao	873.800	Polimento	769.500		
<b>Envernizamento</b>	Media espera	0.011	Utilizacao media	0.300	Comp medio fila	0.000
<b>Clientes atendidos</b>	1000.000	<b>Tempo simulacao</b>	1158	<b>Nº repetições</b>	10	

Ao diminuirmos o tempo médio para metade também iremos reduzir a utilização média para metade

## Variação do desvio padrão do serviço de envernizamento de 0.3 para 0.6

<b>Peças grandes (A)</b>						
<b>Perfuração</b>	Media espera	0.777	Utilizacao media	0.401	Comp medio fila	0.300
<b>Polimento</b>	Media espera	7.745	Utilizacao media	0.803	Comp medio fila	1.300
<b>Clientes atendidos</b>	Perfuracao	233.300	Polimento	231.100		
<b>Peças grandes (B)</b>						
<b>Perfuração</b>	Media espera	0.559	Utilizacao media	0.562	Comp medio fila	0.900
<b>Polimento</b>	Media espera	68.932	Utilizacao media	0.995	Comp medio fila	102.400
<b>Clientes atendidos</b>	Perfuracao	874.400	Polimento	770.000		
<b>Envernizamento</b>	Media espera	0.109	Utilizacao media	0.600	Comp medio fila	0.100
<b>Clientes atendidos</b>	1000.000	<b>Tempo simulacao</b>	1159	<b>Nº repetições</b>	10	

Tal como foi observado anteriormente alterações no desvio padrão apenas afetam a média de espera do serviço.

## Variação do desvio padrão do serviço de envernizamento de 0.3 para 0.1

<b>Peças grandes (A)</b>						
<b>Perfuração</b>	Media espera	0.778	Utilizacao media	0.401	Comp medio fila	0.200
<b>Polimento</b>	Media espera	7.744	Utilizacao media	0.803	Comp medio fila	1.300
<b>Clientes atendidos</b>	Perfuracao	233.300	Polimento	231.100		
<b>Peças grandes (B)</b>						
<b>Perfuração</b>	Media espera	0.558	Utilizacao media	0.562	Comp medio fila	1.100
<b>Polimento</b>	Media espera	68.915	Utilizacao media	0.995	Comp medio fila	102.500
<b>Clientes atendidos</b>	Perfuracao	874.300	Polimento	769.800		
<b>Envernizamento</b>	Media espera	0.083	Utilizacao media	0.601	Comp medio fila	0.000
<b>Clientes atendidos</b>	1000.000	<b>Tempo simulacao</b>	1158	<b>Nº repetições</b>	10	

Ver comentário anterior



## Alteração do número de máquinas do serviço de envernizamento de 2 para 3

<b>Peças grandes (A)</b>						
<b>Perfuração</b>	Media espera	0.777	Utilizacao media	0.401	Comp medio fila	0.400
<b>Polimento</b>	Media espera	7.744	Utilizacao media	0.803	Comp medio fila	1.300
<b>Cientes atendidos</b>	Perfuracao	233.300	Polimento	231.100		
<b>Peças grandes (B)</b>						
<b>Perfuração</b>	Media espera	0.559	Utilizacao media	0.562	Comp medio fila	0.800
<b>Polimento</b>	Media espera	68.913	Utilizacao media	0.995	Comp medio fila	102.600
<b>Cientes atendidos</b>	Perfuracao	874.500	Polimento	769.900		
<b>Envernizamento</b>	Media espera	0.003	Utilizacao media	0.400	Comp medio fila	0.000
<b>Cientes atendidos</b>	1000.000	<b>Tempo simulacao</b>	1158	<b>Nº repetições</b>	10	

Confirma-se os resultados obtidos com este tipo de alterações.

## Alteração do número de máquinas do serviço de envernizamento de 2 para 1

<b>Peças grandes (A)</b>						
<b>Perfuração</b>	Media espera	0.754	Utilizacao media	0.394	Comp medio fila	0.000
<b>Polimento</b>	Media espera	7.409	Utilizacao media	0.795	Comp medio fila	0.800
<b>Cientes atendidos</b>	Perfuracao	277.300	Polimento	275.800		
<b>Peças grandes (B)</b>						
<b>Perfuração</b>	Media espera	0.555	Utilizacao media	0.560	Comp medio fila	0.500
<b>Polimento</b>	Media espera	82.451	Utilizacao media	0.996	Comp medio fila	121.200
<b>Cientes atendidos</b>	Perfuracao	1049.900	Polimento	926.700		
<b>Envernizamento</b>	Media espera	120.832	Utilizacao media	0.996	Comp medio fila	201.500
<b>Cientes atendidos</b>	1000.000	<b>Tempo simulacao</b>	1417	<b>Nº repetições</b>	10	

Ver comentário anterior

## Perguntas Enunciado

### Alínea c) solução i) - Acrescentar uma máquina ao polimento de B

Resultados da simulação

Peças grandes (A)

Perfuração

Media espera

0.808

Utilizacao media

0.399

Comp medio fila

0.000

Polimento

Media espera

7.997

Utilizacao media

0.800

Comp medio fila

1.100

Cientes atendido

Perfuracao

211.300

Polimento

209.400

Peças grandes (B)

Perfuração

Media espera

0.548

Utilizacao media

0.562

Comp medio fila

1.300

Polimento

Media espera

0.939

Utilizacao media

0.750

Comp medio fila

1.200

Cientes atendido

Perfuracao

795.900

Polimento

792.100

Envernizamento

Media espera

0.223

Utilizacao media

0.659

Comp medio fila

0.100

Cientes atendid

1000.000

Tempo simulacac

1079

Nº repetições

10

### Alínea c) solução ii) - Substituir por 2 máquinas com média de processamento de 1.7 minutos

Resultados da simulação

Peças grandes (A)						
Perfuração	Media espera	0.808	Utilizacao media	0.399	Comp medio fila	0.100
Polimento	Media espera	8.006	Utilizacao media	0.800	Comp medio fila	1.100
Cientes atendido	Perfuracao	211.000	Polimento	209.100		
Peças grandes (B)						
Perfuração	Media espera	0.548	Utilizacao media	0.562	Comp medio fila	0.900
Polimento	Media espera	0.560	Utilizacao media	0.646	Comp medio fila	1.100
Cientes atendido	Perfuracao	795.200	Polimento	792.300		
Envernizamento	Media espera	0.301	Utilizacao media	0.659	Comp medio fila	0.000
Cientes atendid	1000.000	Tempo simulacac	1077	Nº repetições	10	

### Conclusões alínea c)

A solução 2 é superior pois tem uma utilização média mais baixa o que, por um lado, permitiu baixar o tempo médio na fila e, por outro, deixou mais espaço para aumentar a produção.

A solução 1 usa os seus recursos de forma mais eficiente para a produção atual e para o preço que custa implementá-la.

Caso não fosse previsível um aumento de produção então a solução 1 seria preferível devido a conseguir, em média, tratar de todos os produtos B que chegam sendo mais barata que a solução 2.

### Conclusões alínea d)

Para a solução 1, há 3 máquinas cada uma a tratar uma peça de 3 em 3 minutos. Em média isto dá 1 peça por minuto. Logo se o fluxo de entrada for este, à partida não haverá acumulação de fila. (Apenas a atribuída às variâncias estatísticas). Então com 3 máquinas podemos aumentar a produção para este valor.

Para a solução 2, há 2 máquinas cada uma a tratar uma peça de 1.7 em 1.7 minutos. Em média tratam 1 peça por 0.85 minutos (1/0.85 peças por minuto). Ou seja podemos aumentar a produção para este valor. Reparamos que o serviço de perfuração B não vai ser bottleneck.

Sendo estas as produções máximas sem sacrificar eficiência do serviço então temos esta inequação para x minutos:

$$\begin{aligned} -5800 + 0.05 * x * 1/0.85 &> -5000 + 0.05 * x * 1 \Leftrightarrow 0.05 * x/0.85 - 0.05x > 800 \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow x > 800/0.005 * 0.85/0.15 &\Leftrightarrow x > 90666 \text{ minutos} \end{aligned}$$

90666 minutos é equivalente a cerca de 189 dias de 8h que é equivalente a 9.5 meses de 20 dias.

Conclusão: A solução 2 compensaria após cerca de 9.5 meses.

Relatório com 3 máquinas normais e tempos entre chegadas de 1.05 minutos (para não criar fila devido às variâncias):

Resultados da simulação						
Peças grandes (A)						
Perfuração	Media espera	0.757	Utilizacao media	0.400	Comp medio fila	0.200
Polimento	Media espera	8.163	Utilizacao media	0.801	Comp medio fila	1.000
Cientes atendido	Perfuracao	18209.000	Polimento	18207.300		
Peças grandes (B)						
Perfuração	Media espera	1.089	Utilizacao media	0.715	Comp medio fila	0.400
Polimento	Media espera	10.643	Utilizacao media	0.954	Comp medio fila	5.800
Cientes atendido	Perfuracao	86762.400	Polimento	86754.100		
Envernizamento	Media espera	0.360	Utilizacao media	0.807	Comp medio fila	0.700
Cientes atendid	104959.100	Tempo simulacac	91000	Nº repetições	10	

Relatório com 2 máquinas que podem 1 peça com um tempo seguindo uma normal com média de 1.7 minutos e com peças B a serem produzidas a 1 peça de 0.85 em 0.85 minutos (em média):

Resultados da simulação

Peças grandes (A)						
Perfuração	Media espera	0.757	Utilizacao media	0.400	Comp medio fila	0.300
Polimento	Media espera	8.163	Utilizacao media	0.801	Comp medio fila	1.000
Clientes atendido	Perfuracao	18209.000	Polimento	18207.300		
Peças grandes (B)						
Perfuração	Media espera	2.198	Utilizacao media	0.835	Comp medio fila	4.300
Polimento	Media espera	10.979	Utilizacao media	0.956	Comp medio fila	25.900
Clientes atendido	Perfuracao	101246.300	Polimento	101218.400		
Envernizamento	Media espera	1.719	Utilizacao media	0.919	Comp medio fila	1.400
Clientes atendid	119422.500	Tempo simulacac	91000	Nº repetições	10	

Podemos ver que a diferença de clientes atendidos foi de cerca de 15000 em média.

$15000 \times 0.05$  dá cerca de 750 euros que é próximo dos 800 que diferem uma solução da outra.

Poderíamos aproximar a produção dos seus limites teóricos e chegar aos 800 euros de diferença.