



Sistemas de Apoio à Decisão

Cap. 4 - Simulação

Maio 2018

M Cândida Mourão
cmourao@iseg.ulisboa.pt

Simulação



- Simulação
 - Conceitos
 - Modelações
- SIMUL8
- Simulação – imitar a realidade
 - Estudar a capacidade de um aeroporto



Simulação - Introdução

Sistema – coleção de entidades individuais - eventos

Evento - situação que provoca uma alteração instantânea e relevante no sistema



Sistema:

- dividido em eventos que podem ser preditos
- considerar todas as possíveis interações entre os eventos
- altera-se com o decorrer do tempo – **relógio** → mecanismo de atualização do tempo (fixo ou até ao próximo evento)

Simulação - Introdução

Princípios:

- A analista constrói o modelo do sistema em estudo
- Identifica todos os eventos e possíveis interações
- Por computador simula o funcionamento do sistema adotando uma de várias estratégias de gestão possíveis
- Repetindo a simulação com diferentes estratégias de gestão fica apto a escolher a mais favorável

Simulação permite, de forma simples, responder a perguntas de tipo: “e se”?

Simulação - Exemplo

Considere-se um balcão de um banco com um caixa a atender. Chega uma pessoa de **10 em 10 minutos**. Acabou de chegar uma pessoa e o servidor estava vazio. Os tempos de atendimento são os representados na tabela seguinte:

Cliente n.º	1	2	3	4	5	...
Tempo de atendimento (min)	22	8	2	5	10	...



Simulação - Exemplo

Relógio (min)	Evento	N.º Clientes	Instante da Próxima		Próximo Evento
			Chegada	Partida	
0	-				
	-				-
	-				
	-				
--	-				
-	-				
...					

Simulação - Exemplo

Eventos - Gerados pela geração de NPA's (exemplo - instantes de chegada; tempos de serviço) tendo em conta as distribuições de probabilidade respectivas

NA's - Uma sequência de **Números Aleatórios** com distribuição **F** é qualquer sequência de valores que do ponto de vista estatístico possam ser considerados como resultados plausíveis da realização de experiências aleatórias e independentes cuja v.a. associada tem distribuição **F** (lançamento de um dado equilibrado)








NPA's - obtidos por métodos aritméticos de geração de números aleatórios; dado o 1º valor (semente) ficam todos conhecidos!

Excel; SIMUL8

SIMUL8

Objetos:

- **Pontos de Entrada** 
- **Centros de Trabalho** - onde é feito o trabalho/serviço  Work Center 1
- **Filas de Espera** - espera até ser possível passar para o objeto seguinte 
- **Recursos** - pessoas, ... - necessários nos centros de trabalho 
- **Pontos de Saída** 

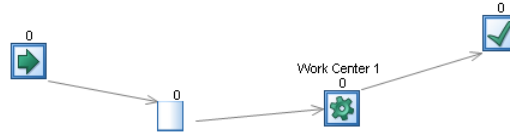
SIMUL8

SIMUL8

Setas de Fluxo de Trabalho:

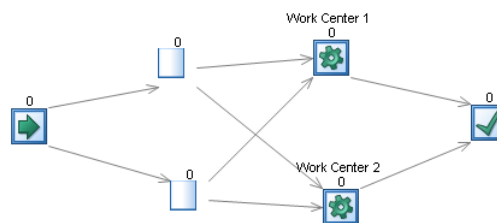
- Indicam o caminho que será seguido pelos fluxos durante a simulação

SHIFT + movimentar o
rato entre o objeto inicial e o final



- Copiar Objetos com as respetivas ligações:

Ctrl + selecionar o
objeto e "largar" no local
onde se pretende a cópia



SIMUL8

SIMUL8 – Pontos de Entrada

Nome
Ver as distribuições de probabilidade!
Distribuição para NPA's
Chegadas não automáticas! Lidas de ficheiros

Colocar informação

SIMUL8

Alerta para possível perdas nas entradas!

SIMUL8 – Pontos de Entrada

SIMUL8 – Pontos de Entrada
SIMUL8

Work Entry Financial Information

Capital Cost: 0
Cost (per Unit): 0

Work Entry Point Properties

Work Entry Point 1

Input Work Item Type: Main Work Item Type

Inter-arrival times (minutes)
Average: 2

Distribution: Exponential

Batching

Batch size leaving this object: 1

Fixed Value: 1

Distribution: Fixed

Alterar o desenho e pôr título no objeto

SIMUL8 – Pontos de Entrada

Alterar o desenho e pôr título no objeto visível
SIMUL8

Work Entry Point Properties

Work Entry Point 1

Input Work Item Type: Main Work Item Type

Inter-arrival times (minutes)
Average: 2

Distribution: Exponential

Graphics: Work Enters Object:

Work Entry Point 1

Title

Simulation Object Title

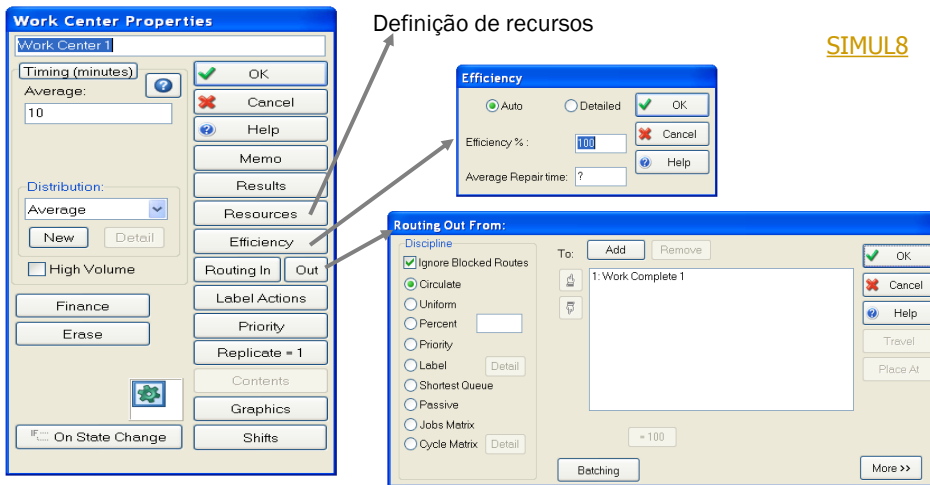
Show Title on Simulation Window

Position and Wrap
Offset to XY coordinate of the center of the title text:
X Offset: 15 Y Offset: -24

Wrap text beyond: 0 pixels (0 = don't wrap, min value = 20)

Alterar o desenho e pôr título no objeto visível

SIMUL8 – Centros de Trabalho

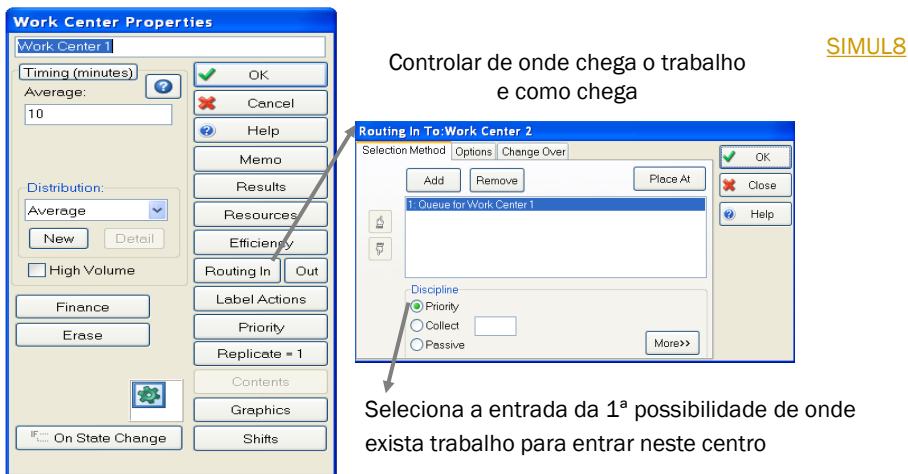


Definição de recursos

SIMUL8

The image shows three overlapping dialog boxes in the SIMUL8 software. The largest is 'Work Center Properties' for 'Work Center 1', with fields for 'Timing (minutes)' (Average: 10) and 'Distribution' (Average). It has buttons for OK, Cancel, Help, Memo, Results, Resources, Efficiency, Routing In, Out, Label Actions, Priority, Replicate = 1, Contents, Graphics, and Shifts. Overlaid on it is the 'Efficiency' dialog, which has radio buttons for 'Auto' (selected) and 'Detailed', a text field for 'Efficiency %' (100), and 'Average Repair time' (?). A third dialog, 'Routing Out From', is also overlaid, showing 'Discipline' options (Ignore Blocked Routes, Circulate, Uniform, Priority, Label, Shortest Queue, Passive, Jobs Matrix, Cycle Matrix) and a list of work centers (1: Work Complete 1). It includes 'Add', 'Remove', 'Batching', and 'More >>' buttons.

SIMUL8 – Centros de Trabalho



Controlar de onde chega o trabalho e como chega

SIMUL8

The image shows two overlapping dialog boxes. The larger one is 'Work Center Properties' for 'Work Center 1', with 'Timing (minutes)' (Average: 10) and 'Distribution' (Average) fields. It has buttons for OK, Cancel, Help, Memo, Results, Resources, Efficiency, Routing In, Out, Label Actions, Priority, Replicate = 1, Contents, Graphics, and Shifts. Overlaid on it is the 'Routing In To: Work Center 2' dialog, which has tabs for 'Selection Method', 'Options', and 'Change Over'. It includes 'Add', 'Remove', and 'Place At' buttons, a list of work centers (1: Queue for Work Center 1), and 'Discipline' options (Priority, Collect, Passive). It also has 'OK', 'Close', and 'Help' buttons.

Seleciona a entrada da 1ª possibilidade de onde exista trabalho para entrar neste centro

SIMUL8 – Centros de Trabalho

The image shows two overlapping dialog boxes from the SIMUL8 software. On the left is the 'Work Center Properties' dialog for 'Work Center 1', showing settings for timing (average 10 minutes), distribution, and various control buttons. On the right is the 'Routing In To: Work Center 2' dialog, which shows a queue for 'Work Center 1' and various discipline options. The 'Discipline' section has 'Collect' selected. The 'Assembly time-in-system from' section has 'First Collected' selected. A mouse cursor is pointing at the 'First Collected' option.

Outras disciplinas

aceita trabalhos que tenham excedido a "shelf life" na FILA

SIMUL8 – Centros de Trabalho

The image shows three overlapping dialog boxes. On the left is the 'Work Center Properties' dialog for 'Work Center 1'. In the center is the 'Timing Orientation' dialog, where 'Standard' is selected as the method for calculating work time. On the right is the 'Routing In To: Work Center 1' dialog, showing 'Special Options' like 'Interruptible' and 'Wait until exit clear', and 'Visual Logic' options.

Só aceita trabalho quando a saída deste centro já for possível!

SIMUL8 – Filas

SIMUL8

Nº máximo de itens

Tempo máximo e mínimo que é permitido ficar na fila

Disciplina da Fila se diferente de FIFO

Juntamente com o "Expired Only" no Centro de Trabalho controla o tempo que um item pode ficar numa Fila

SIMUL8 – Pontos de Saída

SIMUL8

Limite ao nº de tarefas a processar

Itens de Trabalho:

- Fluxos de movimento (clientes; doentes; produtos na fábrica)
- Trabalho que é realizado na organização a simular
- Ao circular fazem alterar os números dos objetos
 - São arrumados em áreas de arrumação
 - Ativam centros de trabalho
 - Aumentam as saídas
 - ...
- Têm um TYPE e podem ter etiquetas com valores eventualmente diferentes

Simulação – Exemplo 1

Num posto clínico existe um único oftalmologista para atender os doentes. A chegada destes ao posto segue uma distribuição Poisson de média 3 por hora. O oftalmologista consegue ver, em média, 5 doentes por hora, podendo o tempo que cada doente leva a ser atendido ser aproximado por uma v.a. Exponencial.

Utilizando o [SIMUL8](#), simule o funcionamento do sistema até terem sido vistos 20 doentes, de forma a saber:

- a) o tempo médio de espera dos doentes;
- b) o tempo durante o qual o médico não terá doentes para ver.

Suponha que parte de um instante inicial no qual não há doentes no posto.

SIMUL8 – Resultados das Entradas

SIMUL8

Work Entry Point Properties

Work Entry Point 1

Input Work Item Type:
Main Work Item Type

Inter-arrival times (minutes)
Average: 10

Distribution: Exponential

First at start time
 Unlimited arrivals
 None File
 Schedule Sheet

Finance Erase Ignore hints about lost Work Items

Work Entry Results

Work Entry Point 1

Number of work items entered this entry point: 0

Number of work items lost: 0

Number of work items entered remainder of simulation: 0

SIMUL8 – Resultados das Filas

SIMUL8

Storage Bin Properties

Queue for Work Center 1

Capacity: Infinite Infinite

Shelf Life: None None

Min Wait Time: (minutes)

Prioritize
 LIFO
 High Volume
 Segregate Results

Finance Erase

Storage Bin Results

Queue for Work Center 1

Number of work items in this storage:

Currently: 0
Minimum: 0.00
Average: 0.00
Maximum: 0.00
Total Entered: 0

Graph
 Sync with other results
 Plot every change

Queuing Time:

	All	Non-Zeros
Minimum:	n/a	n/a
Average:	n/a	n/a
Maximum:	n/a	n/a
Standard Deviation:	n/a	n/a
Number of non zero queuing times:		0

Queuing Time within limit:
Time limit: 10 minutes
Percentage within limit: n/a%

SIMUL8 – Resultados dos Serviços

Work Center Properties

Work Center 1

Timing (minutes)

Average: 12

Distribution: Exponential

High Volume:

Buttons: Finance, Erase, New, Detail, OK, Cancel, Help, Memo, Results, Resources, Efficiency, Routing In, Out, Label Actions, Priority, Replicate = 1, Contents, Graphics, Shifts, On State Change

Work Center Results

Work Center 1

Number of work items:

Currently in Work Center:	0
Minimum:	0.00
Average:	0.00
Maximum:	0.00
Completed Jobs:	0

Graph: Sync with other results, Plot every change

Percent of time:

Awaiting Work:	0.00
Working:	0.00
Blocked:	0.00
Stopped:	0.00
Change Over:	0.00
Off Shift:	0.00
Resource Starved:	0.00

SIMUL8

SIMUL8 – Resultados das Saídas

Work Complete Properties

Work Complete 1

Buttons: Finance, Erase, Halt Simulation at Limit: 10000, Segregate Results, High Volume, File, OK, Cancel, Help, Memo, Results, Graphics

Work Complete Results

Work Complete 1

Work Completed: 0

Time in system:

Minimum:	0.00
Average:	0.00
Maximum:	0.00
Standard Deviation:	0.00

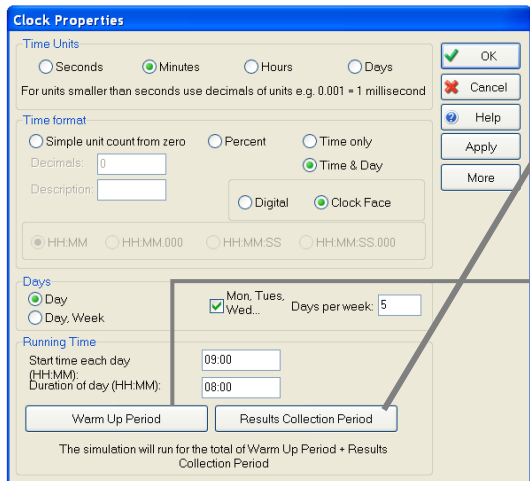
Time in system within limit:

Time limit: 10 minutes

Percentage within limit: 0%

SIMUL8

SIMUL8 – Relógio



The screenshot shows the 'Clock Properties' dialog box in SIMUL8. It is divided into several sections: 'Time Units' with radio buttons for Seconds, Minutes (selected), Hours, and Days; 'Time format' with radio buttons for Simple unit count from zero, Percent, Time only, and Time & Day (selected); 'Days' with radio buttons for Day (selected) and Day, Week, and a 'Days per week' field set to 5; and 'Running Time' with fields for 'Start time each day (HH:MM)' set to 09:00 and 'Duration of day (HH:MM)' set to 08:00. There are buttons for 'Warm Up Period' and 'Results Collection Period' at the bottom. To the right, two smaller dialog boxes are shown: 'Results Collection Period' with a value of 2399.4999 and 'Beep on Completion' unchecked; and 'Warm Up Period' with a value of 0 and 'Include in displayed clock time' checked. Arrows point from the 'Results Collection Period' and 'Warm Up Period' buttons in the main dialog to their respective sub-dialogs.

▪ Velocidade!

Simulação – Exemplo 1 (cont.)

Considerando o exemplo anterior simule o funcionamento do sistema durante uma semana.



Nota – Os resultados que temos visto são os resultados de uma só corrida (uma só semana). Estamos interessados nos resultados de diversas corridas – ou seja, de uma **experiência** (várias semanas)!

Simulação – Exemplo 2

Num centro de saúde existem dois médicos de clínica geral para atender os doentes. A chegada destes ao posto segue uma distribuição Poisson de média 10 por hora. Um dos médicos consegue ver, em média, 5 doentes por hora, enquanto o outro apenas vê, em média, 3 doentes por hora, podendo o tempo que cada doente leva a ser atendido por cada um dos médicos ser aproximado por uma v.a. Exponencial. Os doentes são vistos por um qualquer dos médicos.

Suponha que parte de um instante inicial no qual não há doentes no centro e utilize o [SIMUL8](#), para simular o funcionamento do sistema durante uma semana, de forma a saber:

- o tempo médio de espera dos doentes;
- o tempo durante o qual os médicos não terão doentes para ver;
- se será preciso contratar mais médicos
- Repita o problema mas supondo que o valor médio das chegadas baixa para 6 por hora

Simulação – Exemplo 3

Num dos serviços de Loja do Cidadão existem 3 balcões para atender os clientes. A chegada destes segue uma distribuição Poisson de média 20 por hora, contudo, 20% desistem. O tempo de atendimento em cada um dos diferentes balcões é idêntico, podendo ser aproximado por uma v.a. Exponencial de média 15 minutos por cliente.

Suponha que parte de um instante inicial no qual não há clientes na Loja e utilize o [SIMUL8](#), para simular o funcionamento do sistema durante uma semana, de forma a saber:

- o tempo médio de espera dos clientes;
- o tempo durante o qual não haverá clientes no sistema;
- se será preciso pôr mais balcões a funcionar
- Repita o problema mas supondo que o valor médio das chegadas baixa para 10 por hora

Simulação – NPA's

Para utilizar NPA's diferentes em diferentes simulações

Nota: Por defeito, em 2 corridas diferentes são utilizados os mesmos NPA's – **Comparar estratégias!**

Para utilizar NPA's diferentes em cada nova "corrida"

SIMUL8 – Desistências por Tempo

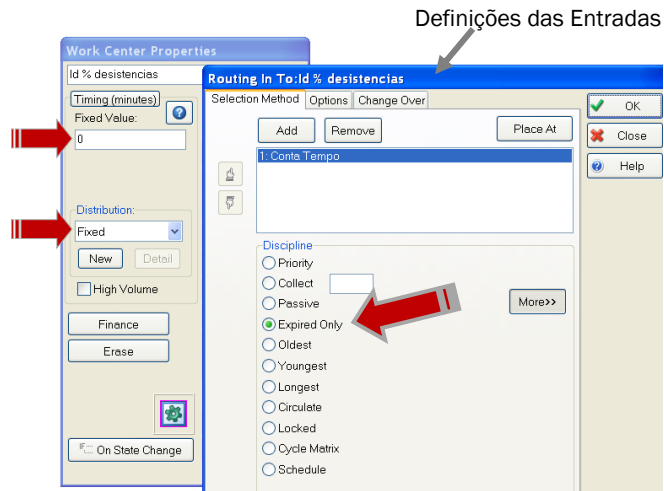
10% dos clientes que estão à espera há mais de 20 min desistem!

Criar uma fila com tempo de espera limitado

Criar um centro de trabalho que aceite os trabalhos que excederam o tempo máximo!

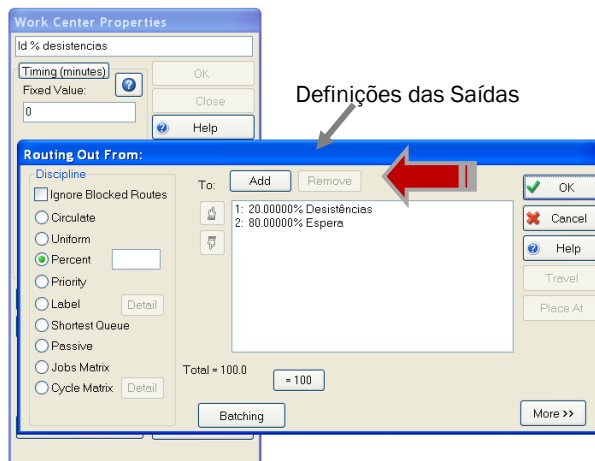
SIMUL8 – Desistências por Tempo

Centro de Trabalho que aceita e reencaminha os “fora de prazo”



SIMUL8 – Desistências por Tempo

Centro de Trabalho que aceita e reencaminha os “fora de prazo”



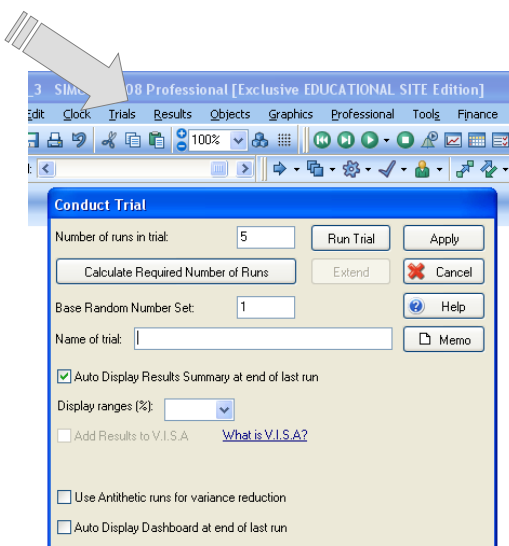
Simulação – Exemplo 4

Num dos serviços de uma estação dos CTT existem 2 balcões para atender os clientes. A chegada destes segue uma distribuição Poisson de média 10 por hora, contudo, 20% dos clientes desistem ao fim de 15 min de espera. O tempo de atendimento em cada um dos diferentes balcões é idêntico, podendo ser aproximado por uma v.a. Exponencial de média 20 minutos por cliente.

Utilize o [SIMUL8](#) para simular o funcionamento do sistema durante uma semana, de forma a saber:

- o tempo médio de espera dos clientes;
- o tempo durante o qual não haverá clientes no sistema;
- Compare o funcionamento do atual sistema com outro em que considera: **i)** mais um balcão; **ii)** menos um balcão;
- Proponha a melhor alternativa de funcionamento.

Simulação – Experiências



- Ao simular o funcionamento durante uma semana não sabemos se é uma semana média; boa ou má!
- **Experiência!**

Simulação – Exemplo 3 (cont.)

Analisar os resultados do exemplo 3 com base na realização de uma experiência com 30 “corridas”.



Exemplo 3 (cont.)

Work Center Properties

Balcão 2

Timing [minutes]

Average: 15

Distribution: Average

Buttons: Finance, Erase, High Volume, On State Change

Work Center Results

Balcão 2

Number of work items:

Currently in Work Center:	1
Minimum:	0.00
Average:	0.65
Maximum:	1.00
Completed Jobs:	102

Percent of time:

Awaiting Work:	34.05
Working:	65.95
Blocked:	0.00
Stopped:	0.00
Change Over:	0.00
Off Shift:	0.00
Resource Starved:	0.00

Click Right on any value that shows the "results cursor" to add it to the results summary window.

Exemplo 3 (cont.)

SIMUL8 Results Summary

Results

ex2

		Low 95% Range	Average Result	High 95% Range
Work Complete 1	Average Time in System	20.34	20.88	21.42
Queue for Work Center 1	Average Queuing Time	3.95	4.45	4.95
	St Dev of Queuing Time	6.31	6.93	7.54
Balcão 1	Working %	66.47	68.02	69.57
Balcão 2	Working %	65.83	67.31	68.80
Balcão 3	Working %	65.22	66.63	68.04
Desitem	Average Time in System	0.65	0.65	0.65

Exemplo 3 (cont.)

EX_3 SIMUL8 2008 [Exclusive EDUCATIONAL SITE Edition]

File Edit Clock Trials Results Objects Graphics Professional Tools Finance Window Help

Speed

SIMUL8 Results Manager

SIMUL8 Results Manager

KPIs KPI History All Object Results Custom Reports

		exp3_1 Average	ex1 Average	ex2 Average
Work Complete 1	Average Time in System	20.98635	20.94954	20.87709
Queue for Work Center 1	Average Queuing Time	0	0	4.4865
	St Dev of Queuing Time	0	0	6.32597
Balcão 1	Working %	0	0	68.02282
Balcão 2	Working %	0	0	67.31494
Balcão 3	Working %	0	0	66.63325
Desitem	Average Time in System	0	0	0.65239

Exemplo 3 (cont.)

SIMUL8 Results Manager

KPIs | KPI History | All Object Results | Custom Reports

Objects

- Work Entry Points
- Storage Bins
- Work Centres**
- Work Exit Points

Work Centres

	Waiting %	Working %	Blocked %	Stopped %	Number Completed Jobs	Minimum use	Average use	Maximum use	Current Contents	Change Over %	Off Shift %	Resource Starved %
Balcão 1	33.812	66.188	0	0	107	0	0.671	1	1	0	0	0
Balcão 2	34.759	65.241	0	0	100	0	0.642	1	1	0	0	0
Balcão 3	35.942	64.058	0	0	105	0	0.65	1	0	0	0	0
Work Center 4	100	0	0	0	74	0	0	1	0	0	0	0

SIMUL8 Results Manager

KPIs | KPI History | All Object Results | Custom Reports

All Objects

- Work Entry Points
- Storage Bins
- Work Centres
- Work Exit Points

Work Entry Points

	Number Entered	Number Lost	Net Number Entered
Work Entry Point 1	813	0	813

Storage Bins

	Minimum queue size	Average queue size	Maximum queue size	Minimum Queuing Time	Minimum (non-zero) Queuing Time	Average Queuing Time	Average (non-zero) Queuing Time	Maximum Queuing Time	Number of non zero queuing times	% Queued less than time limit	"Queued less than" time	St Dev of Queuing Time	Current Contents	Items Entered
Queue for Work Center 1	0	97,558	171	0	0,069	367,283	374,016	622,907	491	5,6	10	183,203	171	671

SIMUL8 Result Manager

SIMUL8 CORPORATION Results Manager

KPIs KPI History **All Object Results** Custom Reports

Work Centres


	Waiting %	Working %	Blocked %	Stopped %	Number Completed Jobs	Minimum Use	Average use	Maximum use	Current Contents	Change Over %	Off Shift %	Resource Starved %
Balcão 1	0,217	99,783	0	0	172	0	0,996	1	1	0	0	0
Balcão 2	0,435	99,565	0	0	153	0	0,994	1	1	0	0	0
Balcão 3	0,534	99,466	0	0	172	0	0,994	1	1	0	0	0
Work Center 4	100	0	0	0	142	0	0	1	0	0	0	0

Work Exit Points

	Average Time in System	Number Completed	"In System less than" time	% In System less than time limit	SD of	Maximum Time in System	Minimum Time in System
Work Complete 1	381,626	497	10	0,805	181,664	651,312	4,291
Desitem	0,653	142	10	100	0	0,653	0,653

2017/18 - Simulação M Cândida Mourão 45

SIMUL8 – Validação do modelo

 LISBON SCHOOL OF ECONOMICS & MANAGEMENT UNIVERSIDADE DE LISBOA

- **Verificação** – o modelo representa o sistema real?
 - Se o sistema (ou parte) já existe, trabalhar com dados reais e analisar o comportamento do sistema simulado face ao real
 - Se o sistema é novo, validar o comportamento face ao esperado, para os dados considerados
- **Exploração visual**
 - mostrar ao cliente o modelo criado e explorá-lo
 - Adequar o tempo de simulação com o cliente, em função das medidas de performance pretendidas

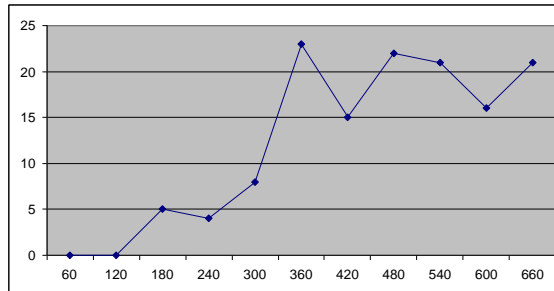
2017/18 - Simulação M Cândida Mourão 46

SIMUL8 – Validação do modelo

▪ **Tempo de Aquecimento** – para simular sistemas que estão sempre a funcionar (Hospital; fábrica), não reiniciam diariamente (como numa loja; aeroporto); durante este período os resultados não são contabilizados

▪ Como escolher este tempo?

- Fixar um período menor que o a simular (ex. 60 min numa simulação de 1 semana)
- Correr durante esse período por repetidas vezes, contabilizando a diferença entre as saídas do sistema
- Até parecer mais estável!



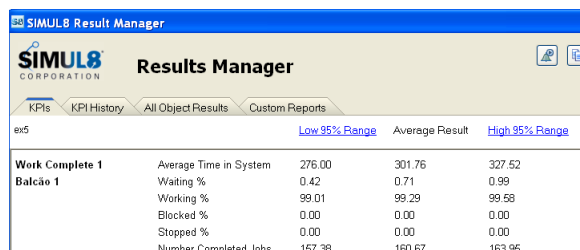
360 min!

SIMUL8 – Validação do modelo

Validade dos Resultados

- Correr o modelo com vários conjuntos de NPAs
- Média e Desvio padrão inversamente proporcionais à raiz quadrada do nº de resultados obtidos
- Calcular o intervalo de confiança para a média a 95%

- Escolher entre alternativas (mesmas seqüências de NPAs) - se há interseção dos IC, fazer mais corridas!



SIMUL8 Result Manager				
SIMUL8 CORPORATION Results Manager				
KPIs KPI History All Object Results Custom Reports				
ex5		Low 95% Range	Average Result	High 95% Range
Work Complete 1 Balcao 1	Average Time in System	276.00	301.76	327.52
	Waiting %	0.42	0.71	0.99
	Working %	99.01	99.29	99.58
	Blocked %	0.00	0.00	0.00
	Stopped %	0.00	0.00	0.00
	Number Completed Jobs	157.38	160.67	163.95