

Cap. 5 Simulação

Sistemas de Apoio à Decisão

Optativa



LISBON
SCHOOL OF
ECONOMICS &
MANAGEMENT
UNIVERSIDADE DE LISBOA



Simulação



▪ Simulação

- Conceitos
- Modelações

▪ SIMUL8

▪ Simulação – imitar a realidade!

- Duplicar os voos num 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

Relógio (min)	Evento	N.º Clientes	Instante da Próxima		Próximo Evento
			Chegada	Partida	
0	Chega C1 Inic. Serviço C1	1	10	22	Chegada
10	Chega C2	2	20	22	Chegada
20	Chega C3	3	30	22	Partida
22	Parte C1 Inic. Serviço C2	2	30	22+8=30	Chegada Partida
30	Chega C4 Parte C2 Inic. Serviço C3	2	40	30+2=32	Partida
32	Parte C3 Inic. Serviço C4	1	40	32+5=37	Partida
37	Parte C4	0	40	-	Chegada
...					

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

Objetos:

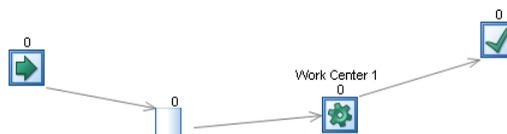
- **Pontos de Entrada** 
- **Centros de Trabalho** – onde é feito o trabalho/serviço  Work Center 1
- **Filas de Espera** – espera até ser possível passar para o objeto seguinte 
- **Recursos** – pessoas, ... – necessários nos centros de trabalho  10
- **Pontos de Saída** 

[SIMUL8](#)

Setas de Fluxo de Trabalho:

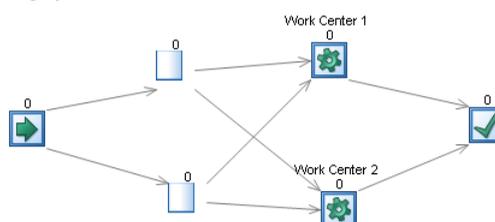
- Indicam o caminho que será seguido pelos fluxos durante a simulação

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



- Copiar Objetos com as respetivas ligações:

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



[SIMUL8](#)

SIMUL8 – Pontos de Entrada

Work Entry Point Properties

Nome → [Work Entry Point 1]

Input Work Item Type: Main Work Item Type

Inter-arrival times (minutes): Average: 2

Distribution: Exponential

Buttons: New, Detail

Options: First at start time, Unlimited arrivals, None, File, Schedule Sheet

Buttons: Finance, Erase, Ignore hints about lost Work Items

Buttons: OK, Cancel, Help, Memo, Results, Batching, Routing Out, Label Actions, Graphics

Colocar informação

Routing Out From:

Discipline: Ignore Blocked Routes

Options: Circulate, Uniform, Percent, Priority, Label, Shortest Queue, Jobs Matrix, Passive

To: Add, Remove, OK, Cancel, Help, Travel

Queue list: 1: Queue for Work Center, 2: Queue 2 for Work Cent

Annotations:

- Ver as distribuições de probabilidade!
- Distribuição para NPA's
- Chegadas não automáticas! Lidas de ficheiros
- Alerta para possível perdas nas entradas!

2016/17 - Simulação M Cândida Mourão 11

SIMUL8 – Pontos de Entrada

Work Entry Point Properties

Work Entry Point 1

Input Work Item Type: Main Work Item Type

Inter-arrival times (minutes): Average: 2

Distribution: Exponential

Buttons: New, Detail

Options: First at start time, Unlimited arrivals, None, File, Schedule Sheet

Buttons: Finance, Erase, Ignore hints about lost Work Items

Buttons: OK, Cancel, Help, Memo, Results, Batching, Routing Out, Label Actions, Graphics

Work Entry Financial Information

Capital Cost: 0

Cost (per Unit): 0

Buttons: OK, Cancel, Help

Batching

Batch size leaving this object: Fixed Value: 1

Distribution: Fixed

Buttons: New, Detail

Buttons: OK, Cancel, Help

Annotation: Alterar o desenho e pôr título no objeto

2016/17 - Simulação M Cândida Mourão 12

SIMUL8 – Pontos de Entrada

Alterar o desenho e pôr título no objeto visível

SIMUL8

The image shows three overlapping dialog boxes in the SIMUL8 software interface. On the left is the 'Work Entry Point Properties' dialog, which includes fields for 'Input Work Item Type', 'Main Work Item Type', 'Inter-arrival times (minutes)' (Average: 2), and 'Distribution' (Exponential). In the center is the 'Graphics: Work Enters Object' dialog, which has a 'Title' field, an 'Image' selection button, and checkboxes for 'Invisible', 'Count', and 'Data Graphic'. On the right is the 'Simulation Object Title' dialog, which has a checkbox for 'Show Title on Simulation Window' and 'Position and Wrap' settings (X Offset: 15, Y Offset: -24). Arrows point from the 'Graphics' dialog to the 'Simulation Object Title' dialog, and from the 'Work Entry Point Properties' dialog to the 'Graphics' dialog.

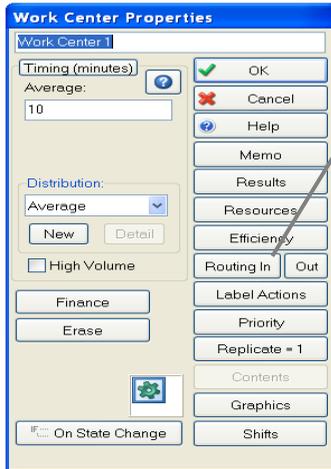
SIMUL8 – Centros de Trabalho

Definição de recursos

SIMUL8

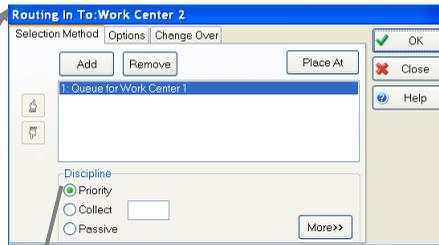
The image shows three overlapping dialog boxes in the SIMUL8 software interface. On the left is the 'Work Center Properties' dialog, which includes fields for 'Timing (minutes)' (Average: 10) and 'Distribution' (Average). In the center is the 'Efficiency' dialog, which has radio buttons for 'Auto' and 'Detailed', and fields for 'Efficiency %' (100) and 'Average Repair time'. On the right is the 'Routing Out From' dialog, which has a 'Discipline' section with radio buttons (Ignore Blocked Routes, Circulate, Uniform, Percent, Priority, Label, Shortest Queue, Passive, Jobs Matrix, Cycle Matrix) and a 'To:' field with a list containing '1: Work Complete 1'. Arrows point from the 'Work Center Properties' dialog to the 'Efficiency' dialog, and from the 'Efficiency' dialog to the 'Routing Out From' dialog.

SIMUL8 – Centros de Trabalho



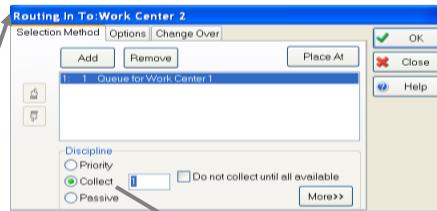
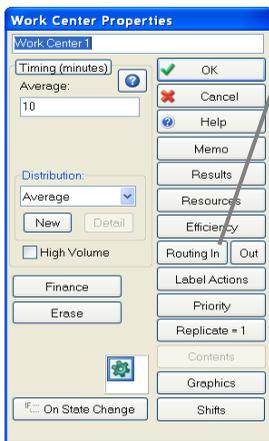
Controlar de onde chega o trabalho e como chega

SIMUL8



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

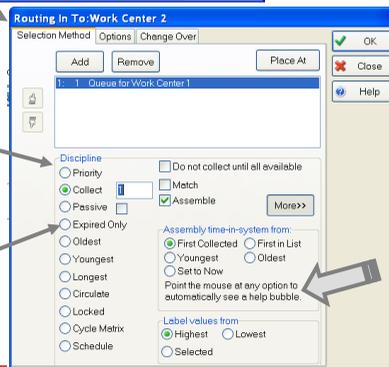
SIMUL8 – Centros de Trabalho



SIMUL8

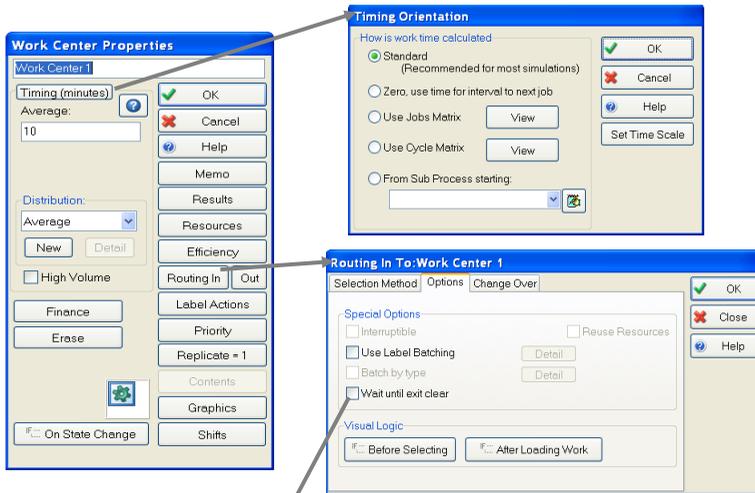
Outras disciplinas

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



SIMUL8 – Centros de Trabalho

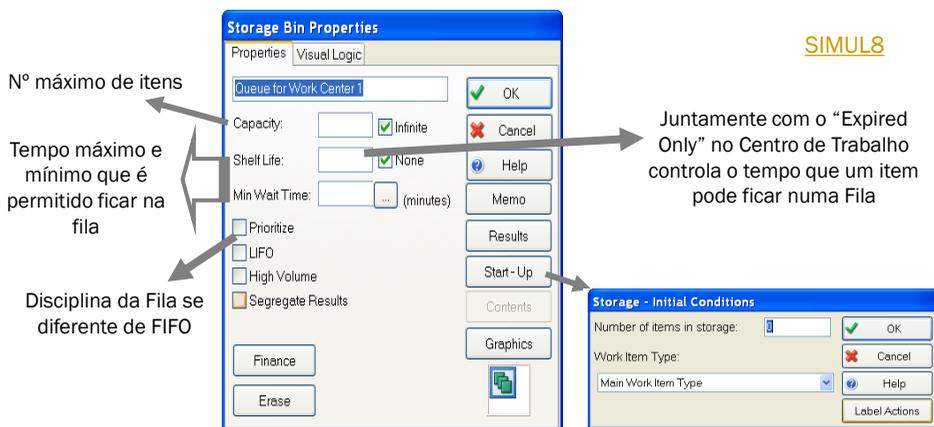
SIMUL8



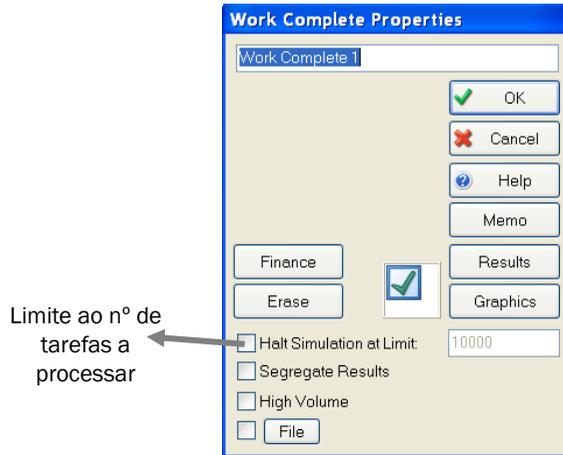
Só aceita trabalho quando a saída deste centro já for possível!

SIMUL8 – Filas

SIMUL8



SIMUL8 – Pontos de Saída



SIMUL8

SIMUL8

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

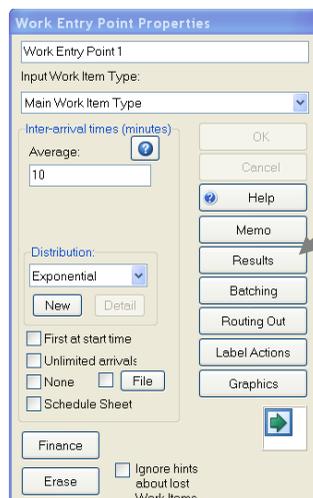
Num posto clínico existe um único oftalmologista para atender os doentes. A chegada destes ao posto segue uma distribuição Poisson de média 3 por hora. O oftalmologista consegue ver, em média, 5 doentes por hora, podendo o tempo que cada doente leva a ser atendido ser aproximado por uma v.a. Exponencial.

Utilizando o **SIMUL8**, simule o funcionamento do sistema até terem sido vistos 20 doentes, de forma a saber:

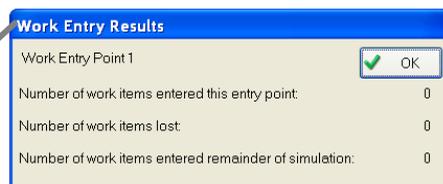
- a) o tempo médio de espera dos doentes;
- b) o tempo durante o qual o médico não terá doentes para ver.

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

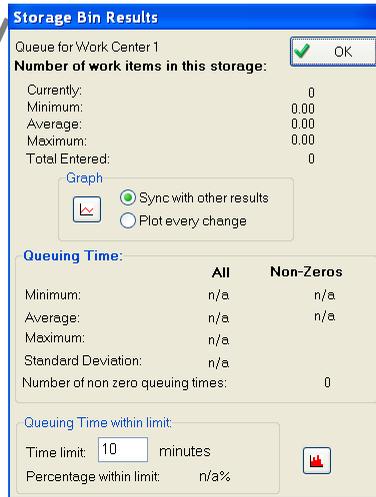
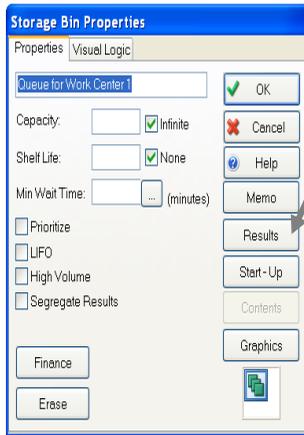
SIMUL8 – Resultados das Entradas



SIMUL8

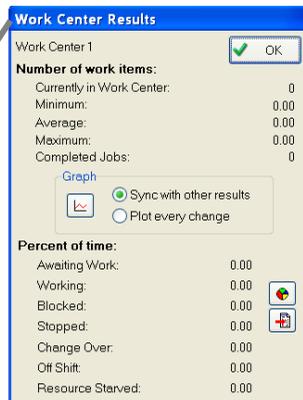
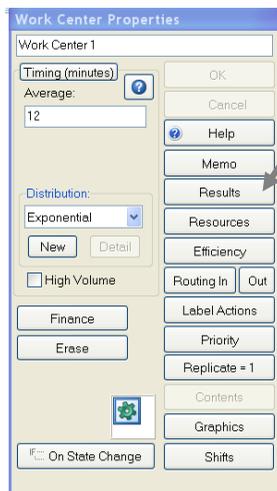


SIMUL8 – Resultados das Filas



SIMUL8

SIMUL8 – Resultados dos Serviços



SIMUL8

SIMUL8 – Resultados das Saídas

SIMUL8

Work Complete Properties

Work Complete 1

OK

Cancel

Help

Memo

Results

Graphics

Finance

Erase

Halt Simulation at Limit: 10000

Segregate Results

High Volume

File

Work Complete Results

Work Complete 1 OK

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 – Relógio

SIMUL8

Clock Properties

Time Units

Seconds Minutes Hours Days

For units smaller than seconds use decimals of units e.g. 0.001 = 1 millisecond

Time format

Simple unit count from zero Percent Time only

Decimals: 0

Time & Day

Description:

Digital Clock Face

Days

Day Day, Week

Mon, Tues, Wed... Days per week: 5

Running Time

Start time each day (HH:MM): 09:00

Duration of day (HH:MM): 08:00

Warm Up Period

Results Collection Period

The simulation will run for the total of Warm Up Period + Results Collection Period

Results Collection Period

Collect results for this amount of time units in each simulation run:

2399.4999 OK

Beep on Completion Close

Warm Up Period Help

Warm Up Period

Start results collection after this number of time units:

0 OK

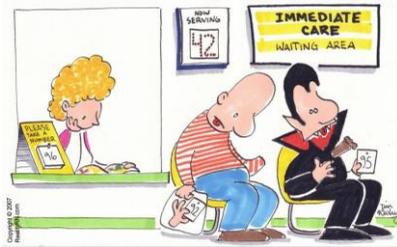
Include in displayed clock time Cancel Help

Results Collection Period

▪ 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:

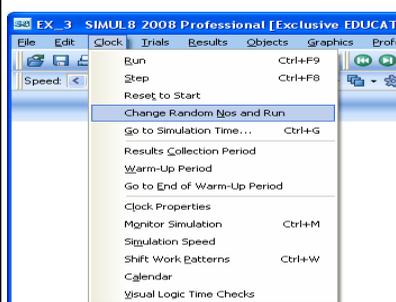
- o tempo médio de espera dos doentes;
- o tempo durante o qual os médicos não terão doentes para ver;
- se será preciso contratar mais médicos
- Repita o problema mas supondo que o valor médio das chegadas baixa para 6 por hora

Simulação – Exemplo 3

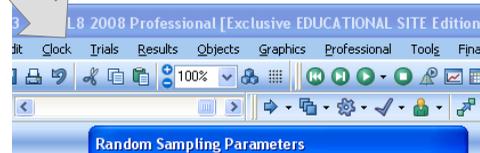
Num dos serviços de Loja do Cidadão existem 3 balcões para atender os clientes. A chegada destes segue uma distribuição Poisson de média 20 por hora, contudo, 20% desistem. O tempo de atendimento em cada um dos diferentes balcões é idêntico, podendo ser aproximado por uma v.a. Exponencial de média 15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

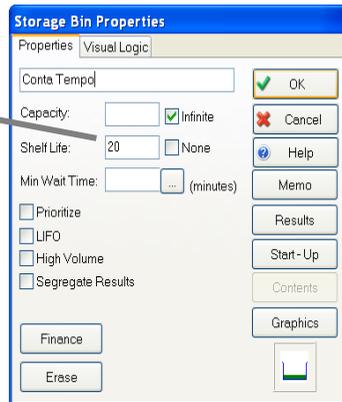


Para utilizar NPA's diferentes em cada nova "corrida"

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



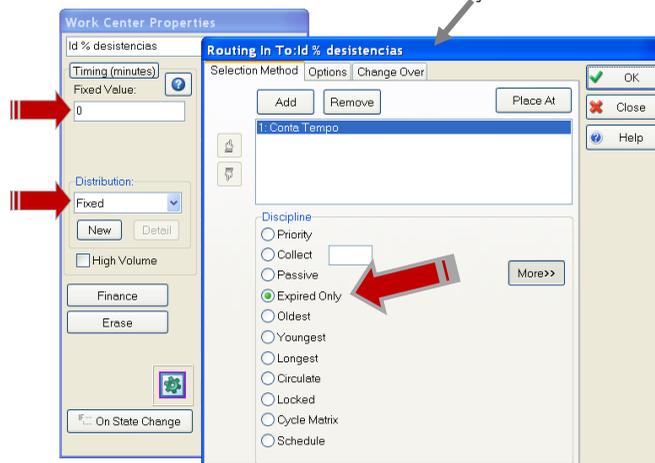
The screenshot shows the 'Storage Bin Properties' dialog box with the 'Visual Logic' tab selected. The 'Conta Tempo' field is highlighted. The 'Capacity' is set to 'Infinite'. The 'Shelf Life' is set to '20' minutes. The 'Min Wait Time' is set to '(minutes)'. There are buttons for 'OK', 'Cancel', 'Help', 'Memo', 'Results', 'Start-Up', 'Contents', 'Graphics', 'Finance', and 'Erase'.

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”

Definições das Entradas



The screenshot shows the 'Work Center Properties' dialog box with the 'Routing In To: Id % desistencias' tab selected. The 'Timing (minutes)' is set to 'Fixed Value: 0'. The 'Distribution' is set to 'Fixed'. The 'Discipline' is set to 'Expired Only'. There are buttons for 'Add', 'Remove', 'Place At', 'OK', 'Close', 'Help', 'Finance', 'Erase', and 'On State Change'.

SIMUL8 – Desistências por Tempo

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



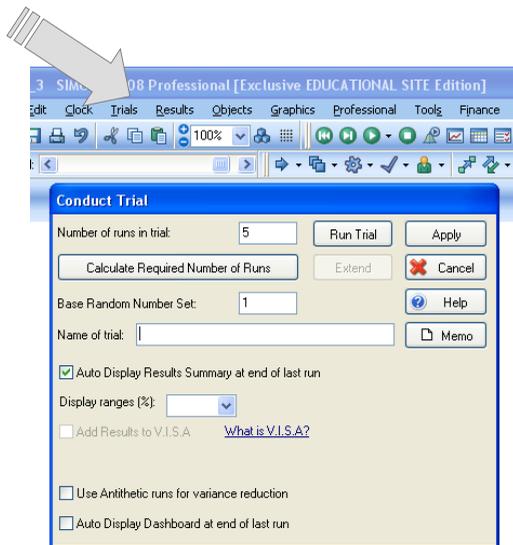
Simulação – Exemplo 4

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, 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

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

2016/17 - Simulação M Cândida Mourão 37

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

2016/17 - Simulação M Cândida Mourão 38

Exemplo 3 (cont.)

The screenshot shows the SIMUL8 Results Manager interface with a table of performance metrics. The table has columns for 'exp3 Average', 'ex1 Average', and 'ex2 Average'. The rows include 'Work Complete 1', 'Queue for Work Center 1', 'Balcão 1', 'Balcão 2', 'Balcão 3', and 'Destem'.

		exp3 Average	ex1 Average	ex2 Average
Work Complete 1	Average Time in System	20.98635	20.94954	20.67709
Queue for Work Center 1	Average Queuing Time	0	0	4.44885
Queue for Work Center 1	St Dev of Queuing Time	0	0	6.92597
Balcão 1	Working %	0	0	68.02262
Balcão 2	Working %	0	0	67.31494
Balcão 3	Working %	0	0	66.63325
Destem	Average Time in System	0	0	0.65299

Exemplo 3 (cont.)

The screenshot shows the SIMUL8 Results Manager interface with a detailed table for 'Work Centres'. The table includes columns for 'Waiting %', 'Working %', 'Blocked %', 'Stopped %', 'Number Completed Jobs', 'Minimum use', 'Average use', 'Maximum use', 'Current Contents', 'Change Over %', 'Off Shift %', and 'Resource Starved %'. The rows are 'Balcão 1', 'Balcão 2', 'Balcão 3', and 'Work Center 4'.

	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

LISBON SCHOOL OF

SIMUL8 CORPORATION 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

2016/17 - Simulação M Cândida Mourão 44

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	S.Dev 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

2016/17 - Simulação M Cândida Mourão 45

SIMUL8 – Validação do modelo

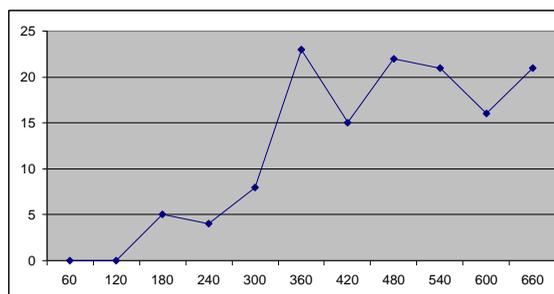
- **Verificação** – o modelo representa o sistema real?
 - Se o sistema (ou parte) já existe, trabalhar com dados reais e analisar o comportamento do sistema simulado face ao real
 - Se o sistema é novo, validar o comportamento face ao esperado, para os dados considerados
- **Exploração visual**
 - mostrar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

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 sequências de NPAs) - se há interseção dos IC, fazer mais corridas!



SIMUL8 Result Manager				
SIMUL8 CORPORATION		Results Manager		
		Low 95% Range	Average Result	High 95% Range
ex5				
Work Complete 1	Average Time in System	276.00	301.76	327.52
Balcão 1	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