

Cap. 5 Simulação

Sistemas de Apoio à Decisão
2009/10

Maria Cândida Mourão

Simulação

- Simulação
 - Conceitos
 - Modelações
- SIMUL8
- Simulação – imitar a realidade!
 - Duplicar os voos num aeroporto!



Simulação - Introdução

Sistema – colecção 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 interacções entre os eventos
- altera-se com o decorrer do tempo – relógio → mecanismo de actualização 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 interacções
- Por computador simula o funcionamento do sistema adoptando 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

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 - Introdução

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

Objectos:


- 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 objecto seguinte 
- Recursos – pessoas, ... – necessários nos centros de trabalho 
- Pontos de Saída 

SIMUL8

SIMUL8

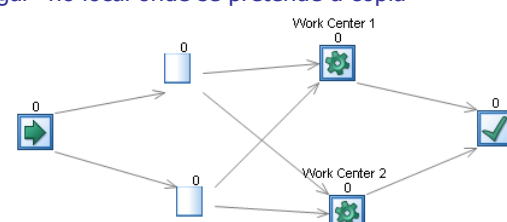
Setas de Fluxo de Trabalho:

- Indicam o caminho que será seguido pelos fluxos durante a simulação (SHIFT + movimentar o rato entre o objecto inicial e o final)



SIMUL8

- Copiar Objectos com as respectivas ligações: CTRL + seleccionar o objecto e "largar" no local onde se pretende a cópia



SAD 2009/10 Simulação - 10

SIMUL8 – Pontos de Entrada

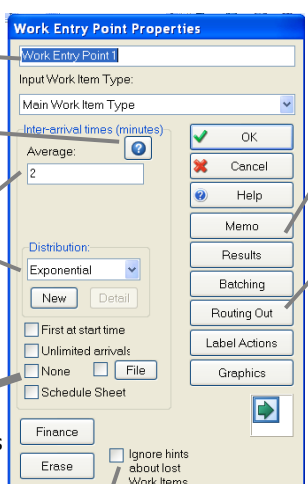
Nome →

Ver as distribuições de probabilidade!

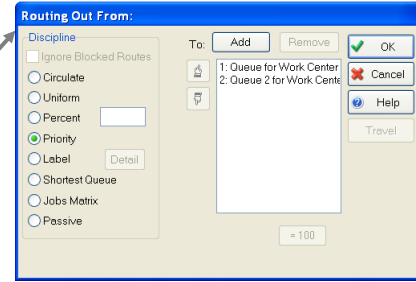
Distribuição para NPA's

Chegadas não automáticas! Lidas de ficheiros

Alerta para possível perdas nas entradas!



Colocar informação →



SIMUL8

SAD 2009/10 Simulação - 11

SIMUL8 – Pontos de Entrada

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

Batching

Batch size leaving this object:

Fixed Value: 1

Distribution: Fixed

Alterar o desenho e pôr título no objecto

SAD 2009/10

Simulação - 12

SIMUL8 – Pontos de Entrada

SIMUL8

Alterar o desenho e pôr título no objecto

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 Image

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 objecto

SAD 2009/10

Simulação - 13

SIMUL8 – Centros de Trabalho

Work Center Properties

Work Center 1

Timing (minutes)

Average: 10

Distribution: Average

High Volume

Finance

Erase

OK

Cancel

Help

Memo

Results

Resources

Efficiency

Routing In

Out

Label Actions

Priority

Replicate = 1

Contents

Graphics

Shifts

IF: On State Change

Definição de recursos

Efficiency

Auto Detailed

Efficiency %: 100

Average Repair time: ?

OK

Cancel

Help

Routing Out From:

Discipline

Ignore Blocked Routes

Circulate

Uniform

Percent

Priority

Label

Shortest Queue

Passive

Jobs Matrix

Cycle Matrix

To: Add Remove

1: Work Complete 1

OK

Cancel

Help

Travel

Place At

Batching

More >>

SAD 2009/10

Simulação - 14

SIMUL8

SIMUL8 – Centros de Trabalho

Work Center Properties

Work Center 1

Timing (minutes)

Average: 10

Distribution: Average

High Volume

Finance

Erase

OK

Cancel

Help

Memo

Results

Resources

Efficiency

Routing In

Out

Label Actions

Priority

Replicate = 1

Contents

Graphics

Shifts

IF: On State Change

Controlar de onde chega o trabalho e como chega

Routing In To: Work Center 2

Selection Method Options Change Over

Add Remove Place At

1: Queue for Work Center 1

Discipline

Priority

Collect

Passive

OK

Close

Help

More >>

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

SAD 2009/10

Simulação - 15

SIMUL8

SIMUL8 – Centros de Trabalho

Work Center Properties

Work Center 1

Timing (minutes)

Average: 10

Distribution: Average

High Volume

Finance

Erase

On State Change

OK

Cancel

Help

Memo

Results

Resources

Efficiency

Routing In | Out

Label Actions

Priority

Replicate = 1

Contents

Graphics

Shifts

Routing In To: Work Center 2

Selection Method | Options | Change Over

Add Remove Place At

1: 1: Queue for Work Center 1

Discipline

Priority

Collect Do not collect until all available

Passive More>>

Routing In To: Work Center 2

Selection Method | Options | Change Over

Add Remove Place At

1: 1: Queue for Work Center 1

Discipline

Priority

Collect Match Do not collect until all available

Passive Assemble More>>

Expired Only

Oldest

Youngest

Longest

Circulate

Locked

Cycle Matrix

Schedule

Assembly first-in-system from:

First Collected First in List Youngest Oldest Set to Now

Point the mouse at any option to automatically see a help bubble.

Label values from:

Highest Lowest Selected

Outras disciplinas

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

SAD 2009/10

SIMUL8

- 16

SIMUL8 – Centros de Trabalho

Work Center Properties

Work Center 1

Timing (minutes)

Average: 10

Distribution: Average

High Volume

Finance

Erase

On State Change

OK

Cancel

Help

Memo

Results

Resources

Efficiency

Routing In | Out

Label Actions

Priority

Replicate = 1

Contents

Graphics

Shifts

Timing Orientation

How is work time calculated

Standard (Recommended for most simulations)

Zero, use time for interval to next job

Use Jobs Matrix View

Use Cycle Matrix View

From Sub Process starting:

OK

Cancel

Help

Set Time Scale

Routing In To: Work Center 1

Selection Method | Options | Change Over

Special Options

Interruptible Reuse Resources

Use Label Batching Detail

Batch by type Detail

Wait until exit clear

Visual Logic

Before Selecting After Loading Work

OK

Close

Help

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

SAD 2009/10

SIMUL8

Simulação - 17

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



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 objectos
 - São arrumados em áreas de arrumação
 - Activam 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

Work Entry Point Properties

Work Entry Point 1

Input Work Item Type

Main Work Item Type

Inter-arrival times (minutes)

Average: 10

Distribution: Exponential

Buttons: New, Detail, OK, Cancel, Help, Memo, Results, Batching, Routing Out, Label Actions, Graphics, Finance, Erase, Ignore hints about lost Work Items

SIMUL8

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

Buttons: OK

SIMUL8 – Resultados das Filas

Storage Bin Properties

Properties | Visual Logic

Queue for Work Center 1

Capacity: Infinite

Shelf Life: None

Min Wait Time: (minutes)

Buttons: OK, Cancel, Help, Memo, Results, Start-Up, Contents, Graphics, 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%

Buttons: OK

SIMUL8

SIMUL8 – Resultados dos Serviços

Work Center Properties

Work Center 1

Timing (minutes)

Average: 12

Distribution: Exponential

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

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

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

SIMUL8

The main dialog box, 'Clock Properties', is shown with the following settings:

- Time Units:** Minutes (selected)
- Time format:** Time & Day (selected)
- Days:** Day (selected)
- Running Time:** Start time each day: 09:00, Duration of day (HH:MM): 08:00
- Days per week:** 5 (Mon, Tues, Wed...)

Two sub-dialogs are shown:

- Results Collection Period:** Collect results for this amount of time units in each simulation run: 2399.4999
- Warm Up Period:** Start results collection after this number of time units: 1

Buttons for 'Warm Up Period' and 'Results Collection Period' are visible at the bottom of the main dialog.

▪ Velocidade!

SAD 2009/10

Simulação - 26

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)!

SAD 2009/10

Simulação - 27

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

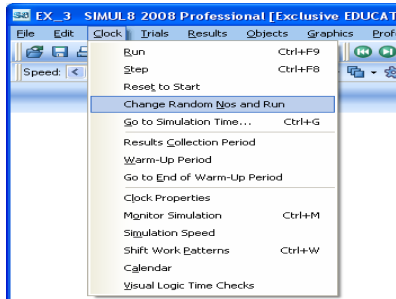
Simulação – Exemplo 3

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.

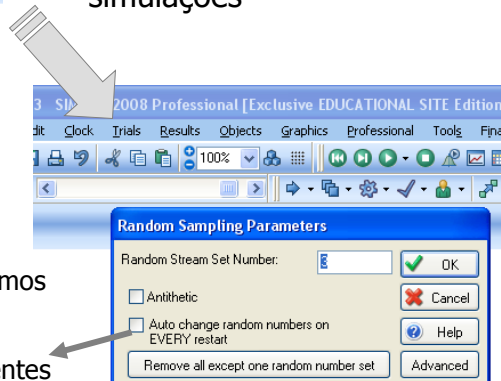
Suponha que parte de um instante inicial no qual não há clientes na Loja e utilize o **SIMUL8**, para simular o funcionamento do sistema durante uma semana, de forma a saber:

- 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



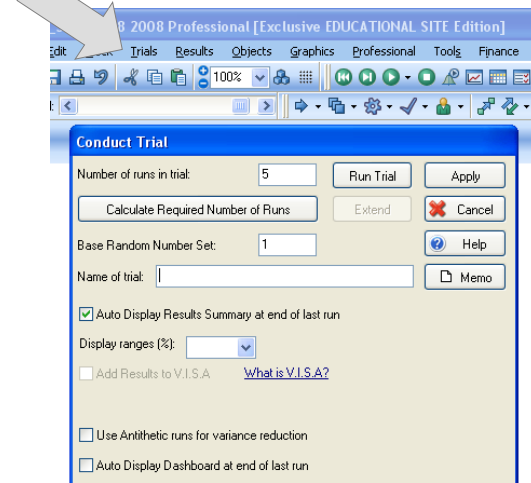
Nota: Por defeito, em 2 corridas diferentes são utilizados os mesmos NPA's – **Comparar estratégias!**

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

SAD 2009/10

Simulação - 30

Simulação – Experiências



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

SAD 2009/10

Simulação - 31

Simulação – Exemplo 3 (cont.)

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



SIMUL8
CORPORATION

Results Manager

KFIs | KPI History | All Object Results | Custom Reports

- [-] All Objects
 - [+] Work Entry Points
 - [+] Storage Bins
 - [+] Work Centres
 - [+] Work Exit Points

Exemplo 3 (cont.)

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 **Exemplo 3 (cont.)**

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


Work Centres

	Waiting %	Working %	Blocked %	Shipped %	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	StDev 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

SAD 2009/10 Simulação - 34


Instituto Superior de Economia e Gestão

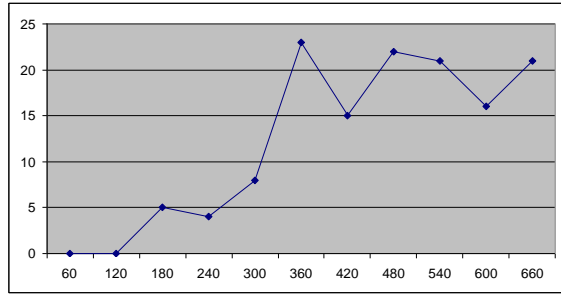
SIMUL8 – Validação do modelo

- 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 sistema 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

SAD 2009/10 Simulação - 35

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 intersecção 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	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

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!

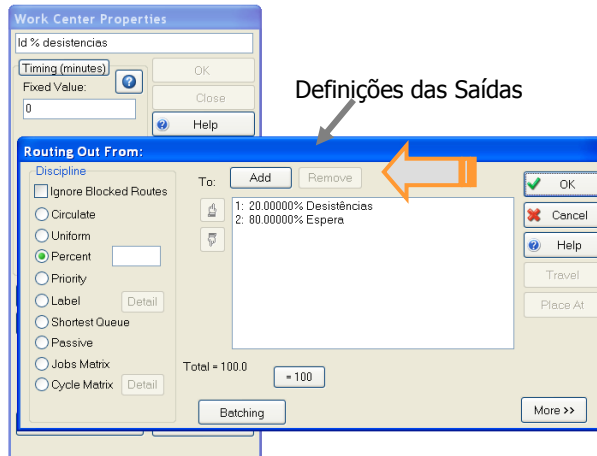
SIMUL8 – desistências por tempo

Centro de Trabalho que aceita e reencaminha os "fora de prazo"

Definições das Entradas

SIMUL8 – desistências por tempo

Centro de Trabalho que aceita e reencaminha os
"fora de prazo"



SAD 2009/10

Simulação - 40

Simulação – Exemplo 4

Num dos serviços de Loja do Cidadão existem 3 balcões para atender os clientes. A chegada destes segue uma distribuição Poisson de média 10 por hora, contudo, 20% desistem dos clientes desistem ao fim de 20 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 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
- Proponha uma alternativa de funcionamento melhor que a actual

SAD 2009/10

Simulação - 41