



Sistemas de Apoio à Decisão

Cap. 4 - Simulação

2020

Aula 1

M Cândida Mourão
cmourao@iseg.ulisboa.pt

•1

Simulação

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



•2

Simulação - Introdução

Sistema – coleção de entidades individuais – eventos

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



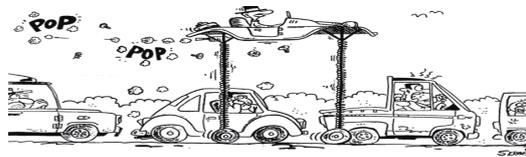
Quais os eventos numa fila de espera numa paragem de autocarro ?

•3

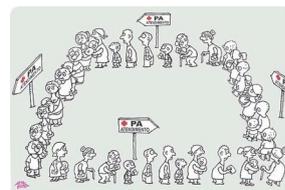
Simulação - Introdução

Sistema:

- > dividido em eventos que podem ser preditos



- > Em que seja possível considerar TODAS as interações entre os eventos
- > altera-se com o decorrer do tempo - **relógio** → mecanismo de atualização do tempo (fixo ou até ao próximo evento)



•4

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

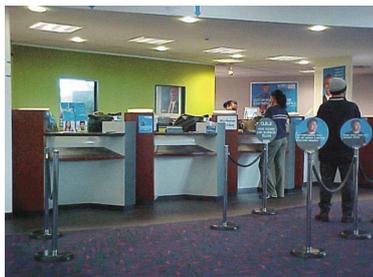
Simulação permite, de forma simples, responder a perguntas de tipo: **“e se”?**

•5

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	...



•6

 LISBON SCHOOL OF ECONOMICS & MANAGEMENT
UNIVERSIDADE DE LISBOA

Simulação - Exemplo

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

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

2019/20 - SimulaçãoM Cândida Mourão7

•7

 LISBON SCHOOL OF ECONOMICS & MANAGEMENT
UNIVERSIDADE DE LISBOA

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
...					

2019/20 - SimulaçãoM Cândida Mourão8

•8

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

•9

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** 

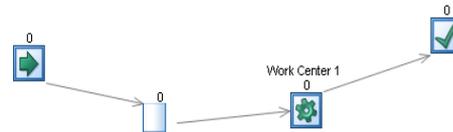
SIMUL8

•10

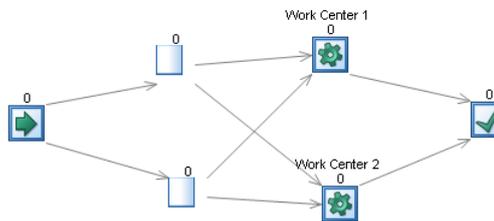
SIMUL8

Setas de Fluxo de Trabalho:

- Indicam o caminho que será seguido pelos fluxos durante a simulação
- SHIFT** (aparece "?") + **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

•11

SIMUL8 – Pontos de Entrada



Nome →

Ver as distribuições de probabilidade!

Distribuição para NPA's (tempo entre 2 chegadas consecutivas)

Chegadas não automáticas! Lidas de ficheiros

Alerta (ou não) para possível perdas nas entradas!

Colocar informação

Definir as saídas do ponto de entrada

Os itens seguem os diferentes caminhos com = probabilidade

O 1º dos seguintes é sempre selecionado, só passando para o 2º se o 1º estiver ocupado, e assim sucessivamente!

•12

LISBON SCHOOL OF ECONOMICS & MANAGEMENT
UNIVERSIDADE DE LISBOA

SIMUL8 – Pontos de Entrada

SIMUL8 – Pontos de Entrada
SIMUL8

Work Entry Financial Information

Capital Cost: 0 OK

Cost (per Unit): 0 Cancel

Help

Work Entry Point Properties

Work Entry Point:

Input Work Item Type:

Main Work Item Type:

Inter-arrival times (minutes)

Average: 2 OK

Cancel

Help

Memo

Results

Batching

Routing Out

Label Actions

Graphics

Finance

Erase Ignore hints about lost Work Items

Batching

Batch size leaving this object: OK

Cancel

Help

Distribution: Fixed

New Detail

Agrupar (ou não) os itens à saída deste ponto de entrada

Alterar o desenho e pôr título no objeto

2019/20 - Simulação
M Cândida Mourão
13

•13

LISBON SCHOOL OF ECONOMICS & MANAGEMENT
UNIVERSIDADE DE LISBOA

SIMUL8 – Pontos de Entrada

SIMUL8

Work Entry Point Properties

Work Entry Point:

Input Work Item Type:

Main Work Item Type:

Inter-arrival times (minutes)

Average: 2 OK

Cancel

Help

Memo

Results

Batching

Routing Out

Label Actions

Graphics

Finance

Erase Ignore hints about lost Work Items

Graphics: Work Enters Object:

Work Entry Point 1

Title OK

Image Select

Invisible

Count

Data Graphic

Close

Help

Default

Simulation Object Title

Show Title on Simulation Window OK

Cancel

Help

Position and Wrap

Offset to X,Y 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)

Return to SIMUL8 Position/Wrap defaults

Alterar o desenho e pôr título no objeto visível

2019/20 - Simulação
M Cândida Mourão
14

•14



SIMUL8 – Filas



➤ Ligadas aos centros de trabalho, ajudam a estruturar a simulação

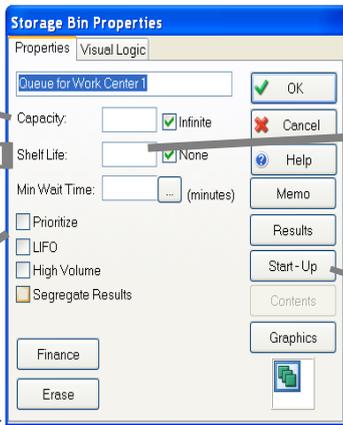
Nº máximo de itens

Tempo máximo e mínimo que é permitido ficar na fila

Disciplina da Fila se diferente de FIFO

Prioritize – valor das etiquetas é usado para estabelecer prioridades, sendo que quanto maior for o seu valor maior a prioridade

LIFO – Last In First Out



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



SIMUL8

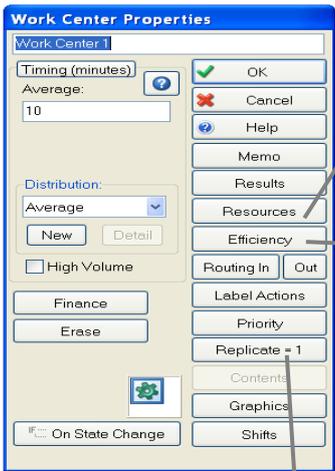
2019/20 - Simulação M Cândida Mourão 15

•15



SIMUL8 – Centros de Trabalho





N.º de cópias deste centro de trabalho

Definição de recursos

Juntar recursos



Define a % de eficiência neste centro de trabalho

SIMUL8

2019/20 - Simulação M Cândida Mourão 16

•16

SIMUL8

Work Center Properties

Work Center 1

Timing (minutes): 10

Distribution: Average

Routing Out From:

Discipline: Circulate

To: 1: Work Complete 1

Buttons: OK, Cancel, Help, Travel, Place At, Batching, More >>

Define como saem os itens depois de prontos

Circulate - à roda, como num jogo
Uniform - os itens seguem os diferentes caminhos com = probabilidade % - é definida a % de itens que segue para cada um dos pontos seguintes
Priority - o 1º dos seguintes é sempre que possível seleccionado, só passando a 2º quando o 1º não pode, e assim sucessivamente
Label - havendo etiquetas, um centro de trabalho pode alterar o seu valor ou aspeto e o caminho a seguir pode ser definido pelas etiquetas

2019/20 - Simulação M Cândida Mourão 17

•17

SIMUL8

Work Center Properties

Work Center 1

Timing (minutes): 10

Distribution: Average

Routing In To: Work Center 1

Selection Method | Options | Change Over

To: 1: Queue for Work Center 1

Discipline: Priority

Buttons: OK, Close, Help, Place At, More >>

Controlar de onde chega o trabalho e como chega

Seleciona a 1ª possibilidade onde exista trabalho para entrar neste centro

➤ 2 centros de trabalho não devem ser ligados sem uma fila entre eles, a não ser que um seja fictício!

2019/20 - Simulação M Cândida Mourão 18

•18

SIMUL8 – Centros de Trabalho

Work Center 1

UNIVERSIDADE DE LISBOA
SCHOOL OF ECONOMICS & MANAGEMENT

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

Use Cycle Matrix

From Sub Process starting:

OK

Cancel

Help

Set Time Scale

Routing In To: Work Center 1

Selection Method | Options | Change Over

Special Options

Interruptible

Use Label Batching

Batch by type

Wait until exit clear

Reuse Resources

Visual Logic

If... Before Selecting

If... After Loading Work

OK

Close

Help

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

2019/20 - Simulação M Cândida Mourão 19

•19

SIMUL8 – Centros de Trabalho

Work Center 1

UNIVERSIDADE DE LISBOA
SCHOOL OF ECONOMICS & MANAGEMENT

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 1

Selection Method | Options | Change Over

Add Remove Place At

1: 1 Queue for Work Center 1

Discipline

Priority

Collect

Passive

Do not collect until all available

More>>

Routing In To: Work Center 1

Selection Method | Options | Change Over

Add Remove Place At

1: 1 Queue for Work Center 1

Discipline

Priority

Collect

Passive

Do not collect until all available

Match

Assemble

More>>

Expired Only

Oldest

Youngest

Longest

Circulate

Locked

Cycle Matrix

Schedule

Assembly time-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"

2019/20 - Simulação M Cândida Mourão 20

•20

LISBON SCHOOL OF ECONOMICS & MANAGEMENT
UNIVERSIDADE DE LISBOA

SIMUL8 – Pontos de Saída

0

SIMUL8

Limite ao nº de tarefas a processar

←

Work Complete Properties

Work Complete 1

OK
 Cancel
 Help
 Memo
 Results
 Graphics

Finance
 Erase
 Halt Simulation at Limit: 10000
 Segregate Results
 High Volume
 File

←

Nº. de itens que saíram do sistema neste ponto de saída

2019/20 - Simulação

M Cândida Mourão

21

•21

LISBON SCHOOL OF ECONOMICS & MANAGEMENT
UNIVERSIDADE DE LISBOA

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

2019/20 - Simulação

M Cândida Mourão

22

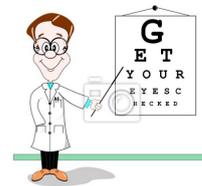
•22

Simulação – Exemplo 1

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

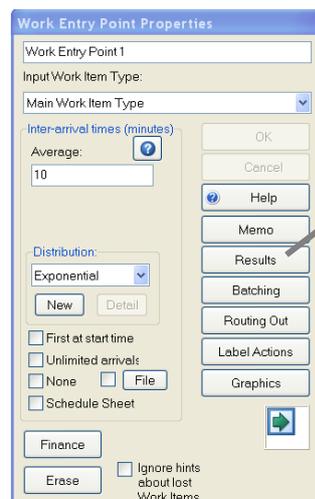
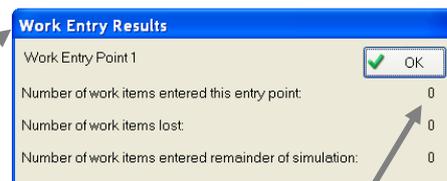
Utilizando o [SIMUL8](#), simule o funcionamento do sistema até terem sido atendidos 20 utentes, número máximo que o oftalmologista atende por dia, de forma a saber:

- o tempo médio de espera dos utentes;
- % de tempo durante a qual o médico estará sem trabalhar.



•23

SIMUL8 – Resultados das Entradas

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

[SIMUL8](#)

•24

SIMUL8 – Resultados das Filas

Storage Bin Properties

Queue for Work Center 1 OK

Capacity: Infinite Cancel

Shelf Life: None Help

Min Wait Time: (minutes)

Prioritize LIFO High Volume Segregate Results

Storage Bin Results

Queue for Work Center 1 OK

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	
Number of non zero queuing times:		0

Queuing Time within limit:

Time limit: 10 minutes

Percentage within limit: n/a%

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

SIMUL8

•25

SIMUL8 – Resultados dos Serviços

Work Center Properties

Work Center 1

Timing (minutes)

Average: 12

Distribution: Exponential

High Volume

Work Center Results

Work Center 1 OK

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

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

SIMUL8

•26



SIMUL8 – Resultados das Saídas

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

Work Completed: 0

Time in system: All

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

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

2019/20 - Simulação
M Cândida Mourão
27

•27



SIMUL8 – Relógio

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
 Time & Day

Decimals: 0
Description:

Digital Clock Face

HH:MM HH:MM:00 HH:MM:SS HH:MM:SS.000

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

SIMUL8

Results Collection Period

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

2399.4999

Beep on Completion

Warm Up Period Help

Warm Up Period

Start results collection after this number of time units:

Include in displayed clock time

Results Collection Period

■ Velocidade!

2019/20 - Simulação
M Cândida Mourão
28

•28

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.

Utilize o **SIMUL8** para simular o funcionamento do sistema durante uma semana, de forma a saber:

- o tempo médio de espera dos doentes;
- a % de tempo durante a 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.

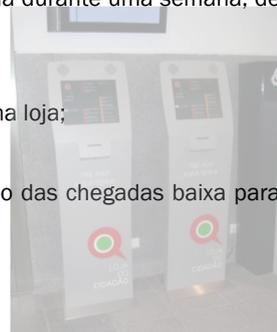
•29

Simulação – Exemplo 3 - TPC

Num dos serviços de Loja do Cidadão existem três balcões (A, B e C) 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.

Utilize o **SIMUL8**, para simular o funcionamento do sistema durante uma semana, de forma a saber:

- o tempo médio de espera dos clientes;
- a % de tempo durante a qual não haverá clientes na loja;
- se será preciso pôr mais balcões a funcionar;
- repita o problema mas supondo que o valor médio das chegadas baixa para 10 por hora.



•30