

# Análise dos Resultados da Simulação

Prof. Paulo José de Freitas Filho, Dr. Eng.  
Universidade Federal de Santa Catarina  
Dep. Informática e Estatística  
*PerformanceLab*  
*freitas@inf.ufsc.br*

## Tópicos

- ◆ **Introdução**
- ◆ **Experimentação e Análise de Resultados**
- ◆ **Confiança Estatística**
- ◆ **Sistemas Terminais e Sistemas Não-Terminais**
- ◆ **Análise de Sistemas Terminais**
- ◆ **Usando o *Arena Output Analyzer* para tratar Sistemas Terminais**
- ◆ **Análise de Sistemas Não-Terminais**
- ◆ **Usando o *Arena Output Analyzer* para tratar Sistemas Não-Terminais**

## Tópicos

- ◆ **Introdução**
- ◆ **Experimentação e Análise de Resultados**
- ◆ **Confiança Estatística**
- ◆ **Sistemas Terminais e Sistemas Não-Terminais**
- ◆ **Análise de Sistemas Terminais**
- ◆ **Usando o *Arena Output Analyzer* para tratar Sistemas Terminais**
- ◆ **Análise de Sistemas Não-Terminais**
- ◆ **Usando o *Arena Output Analyzer* para tratar Sistemas Não-Terminais**

3

## Introdução

- ◆ A principal razão para uma maior atenção aos processos de análise dos resultados das simulações:

**modelos apresentam um comportamento estocástico**, à semelhança dos sistemas que estão imitando.

4

## Introdução

---

- ♦ Objetivo Principal: **minimizar os erros** relacionados ao processo de inferência.

5

## Introdução

---

- ♦ Os procedimentos necessários à análise dependem do tipo de sistema que está sendo tratado.
- ♦ Os sistemas serão classificados como:

*Terminais ou Não-terminais.*

6

## Tópicos

- ◆ Introdução
- ◆ **Experimentação e Análise de Resultados**
- ◆ Confiança Estatística
- ◆ Sistemas Terminais e Sistemas Não-Terminais
- ◆ Análise de Sistemas Terminais
- ◆ Usando o *Arena Output Analyzer* para tratar Sistemas Terminais
- ◆ Análise de Sistemas Não-Terminais
- ◆ Usando o *Arena Output Analyzer* para tratar Sistemas Não-Terminais

7

## Experimentação e Análise de Resultados

- ◆ Inicia com a **seleção de variáveis de desempenho.**
- ◆ Exemplos:
  - Contadores de ocorrências
  - Médias (min e max) de variáveis (tempo no sistema, filas, utilização de recursos, etc)

8

## Experimentação e Análise de Resultados

- ◆ Inferir → análises estatísticas apropriadas.
- ◆ Questões:
  - Quanto deve durar uma rodada de simulação?
  - Como interpretar as variações nos resultados?
  - Como analisar as diferenças obtidas em cada uma das replicações?

9

## Tópicos

- ◆ Introdução
- ◆ Experimentação e Análise de Resultados
- ◆ **Confiança Estatística**
- ◆ Sistemas Terminais e Sistemas Não-Terminais
- ◆ Análise de Sistemas Terminais
- ◆ Usando o *Arena Output Analyzer* para tratar Sistemas Terminais
- ◆ Análise de Sistemas Não-Terminais
- ◆ Usando o *Arena Output Analyzer* para tratar Sistemas Não-Terminais

10

## Confiança Estatística

- ♦ A determinação de **intervalos de confiança** para as variáveis de desempenho é um componente fundamental no processo de análise de resultados.

11

## Confiança Estatística - Exemplo

- ♦ Para os dados da tabela deseja-se construir intervalos de confiança de 95% ( $\alpha=0,05$ ) e de 99% ( $\alpha=0,01$ ).

Número da Replicação	Tempo Médio na Fila
1	63,2
2	69,7
3	67,3
4	64,8
5	72

12

## Confiança Estatística - Exemplo

- Assumindo que os valores para a variável aleatória Tempo Médio na Fila são normalmente distribuídos, o **semi-intervalo**  $h$  permitirá o cálculo do intervalo de confiança para o verdadeiro valor da média  $\mu$ , que estará centrado em  $\bar{X}$

13

## Confiança Estatística - Exemplo

- O semi-intervalo  $h$  é calculado por:

$$h = t_{n-1, 1-\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}}$$

- onde o valor de  $t_{n-1, 1-\alpha/2}$  é o valor tabulado de  $t$  (ver tabela  $t$ ).

14

## Confiança Estatística - Exemplo

$$\bar{X} = 67,4; \quad S^2 = 12,74 \quad S = 3,57$$

- ◆ Para 95% de confiança ( $\alpha = 5\%$ ), temos  $1 - \alpha/2 = 0,975$  e  $t_{4, 0,975} = 2,78$ .
- ◆ Para 99% de confiança ( $\alpha = 1\%$ ), temos  $1 - \alpha/2 = 0,995$  e  $t_{4, 0,995} = 4,60$ .
- ◆ Desta forma, os resultados dos valores de  $h$  são os seguintes:

$$h = 4,44 \text{ (95\% de confiança)}$$

$$h = 7,34 \text{ (99\% de confiança)}$$

15

## Confiança Estatística

- ◆ Como o intervalo é simétrico em torno da média, temos os seguintes limites:

$$[\bar{X} - h, \bar{X} + h]$$

- ◆ O intervalo com 95% de confiança é:

$$[62,6; 71,84]$$

- ◆ O intervalo com 99% de confiança é:

$$[60,06; 74,74].$$

16



## Confiança Estatística

- ♦ Três fatores influenciam a largura do intervalo de confiança:

- o número de replicações  $n$ ;
- o nível de confiança  $(1 - \alpha)$  predefinido pelo analista;
- variação ( $S^2$ ) associada à medida de desempenho sob análise.

17

## Confiança Estatística

- ♦ O relacionamento entre estes três fatores ocorre da seguinte maneira:

**Mais replicações  $\rightarrow$  menor o intervalo de confiança;**

**Maior o nível de confiança  $\rightarrow$  maior o intervalo de confiança.**

**Maior a variância ( $S^2$ )  $\rightarrow$  cresce o intervalo de confiança.**

18

# Tópicos

- ◆ Introdução
- ◆ Experimentação e Análise de Resultados
- ◆ Confiança Estatística
- ◆ **Sistemas Terminais e Sistemas Não-Terminais**
- ◆ Análise de Sistemas Terminais
- ◆ Usando o *Arena Output Analyzer* para tratar Sistemas Terminais
- ◆ Análise de Sistemas Não-Terminais
- ◆ Usando o *Arena Output Analyzer* para tratar Sistemas Não-Terminais

19

## Sistemas Terminais e Não-Terminais

- ◆ **Sistemas terminais:**
  - Condições iniciais fixas e um evento que determina um fim natural para o processo de simulação.
  - Exemplos: restaurantes, bancos, lojas comerciais, etc..

20

## Sistemas Terminais e Não-Terminais

### ♦ Sistemas Não-terminais:

- Não possuem condições iniciais fixas, nem um evento que determina o fim do processo de simulação.
- Exemplos: serviços de 24 horas, hospitais, sistemas de comunicação, etc..

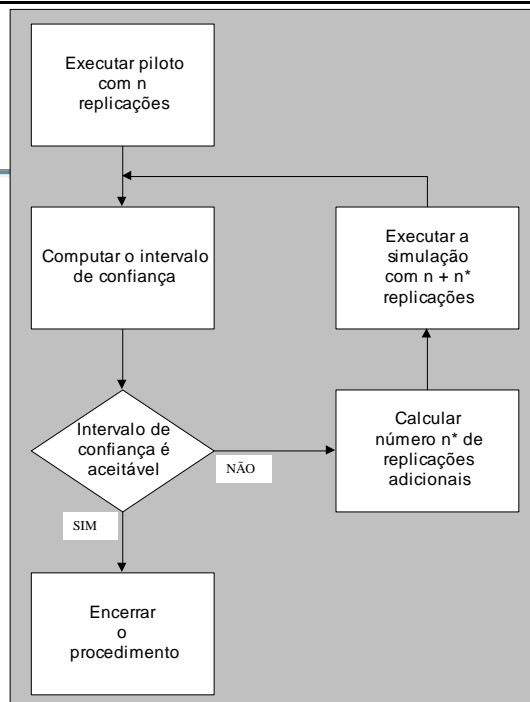
21

## Análise de Sistemas Terminais

- ♦ Objetivo: compreender seu comportamento ao longo de um período predeterminado e com duração fixa.
- ♦ Uma vez que as condições iniciais e o período simulado são fixos, o único fator controlável é o **número de replicações**.

22

## Análise de Sistemas Terminais



23

## Método Empírico de Determinação do Tamanho da Amostra

$$n^* = [n(h/h^*)^2]$$

onde:

$n^*$  = a nova estimativa para  $n$

$h$  = semi-intervalo de confiança obtido

$h^*$  = semi-intervalo de confiança desejado

24

## Exemplo uso da fórmula

$n = 24$  replicações;

Média = 92,36.

Semi-intervalo  $h = 16,54$

Intervalo de Confiança (IC) = [75,82; 108,90]

$h > 9,236$  (10% da média)

*Cálculo do número necessário de replicações*

$n^* = [n(h/h^*)^2] = [24 (16,04 / 9,236)^2] = 72,39 \cong 73$

$n = 73$  replicações  $\rightarrow h = 8,57$  para uma média = 91,13.

O novo IC para a média: [82,56; 99,70]

$91,13 - 8,57 = 82,56$

$91,13 + 8,57 = 99,70$

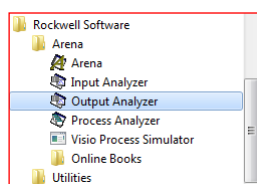
25

## Usando o Arena Output Analyzer para Tratar Sistemas Terminais

- ◆ Para um melhor entendimento dos passos que devem ser realizados, considere o exemplo do modelo

*“Transacoes Bancarias.doe”*.

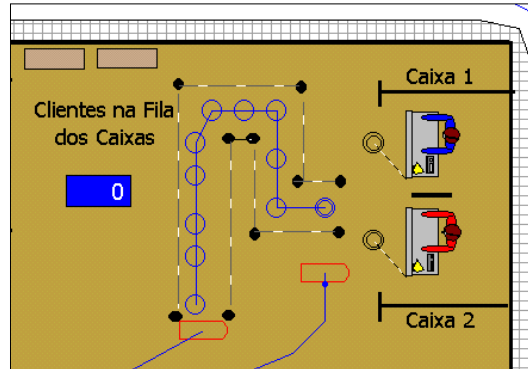
- ◆ Ative o **Output Analyzer** a partir do menu *Programas/Arena*.



26

## Exemplo uso do Arena Output Analyzer

- ◆ As seguintes variáveis de desempenho foram designadas:
  - Tempo médio no sistema de um cliente que faz uso dos caixas;
  - Número médio de clientes na fila dos caixas.



27

## Definição do número de replicações amostra piloto

28

## Armazenando os Dados da Simulação

Statistic - Advanced Process					
	Name	Type	Expression	Report Label	Output File
1	Statistic 1	Output	TAVG(Tempo Trans Caixa)	Tempo nos Caixas	TTCX.Dat
2	Statistic 2	Output	DAVG(Caixas.Queue.NumberInQueue)	Clientes Fila Caixas	NMFCx.dat

29

## Solicitando ao Arena a criação de arquivos de dados

**Statistic** ? X

Name:  Type:

Expression:

Report Label:  Output File:

OK Cancel Help

**Statistic** ? X

Name:  Type:

Expression:

Report Label:  Output File:

OK Cancel Help

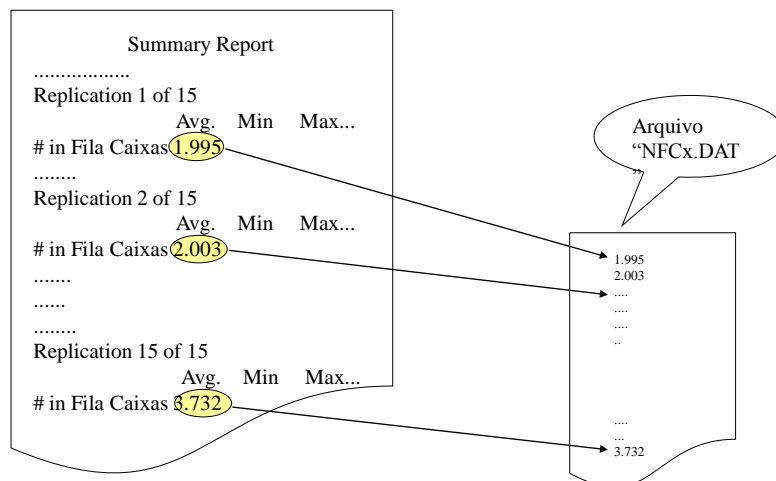
30

## Solicitando as Estatísticas de Filas

The 'Run Setup' dialog box is shown with the 'Project Parameters' tab selected. It contains fields for 'Project Title' (Transacoes Bancarias), 'Analyst Name' (Paulo freitas), and 'Project Description'. Below these is a 'Statistics Collection' section with checkboxes for 'Costing', 'Queues' (checked), 'Transporters', 'Entities', 'Processes', 'Conveyors', 'Resources', 'Stations', and 'Activity Areas'. At the bottom are 'OK', 'Cancel', 'Apply', and 'Help' buttons.

31

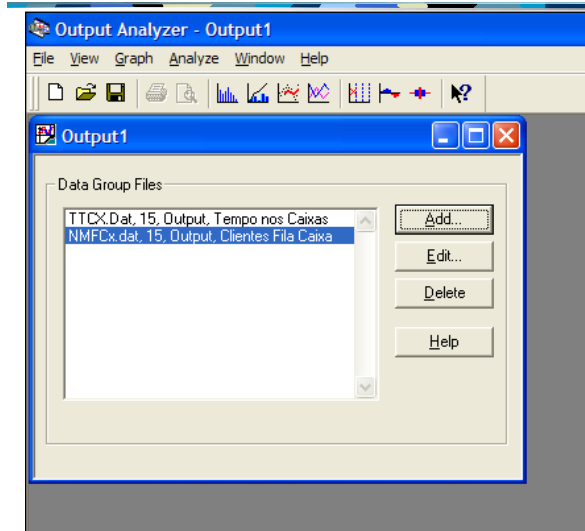
## Origem das Informações Geradas e Armazenadas no Arquivo Destino



32

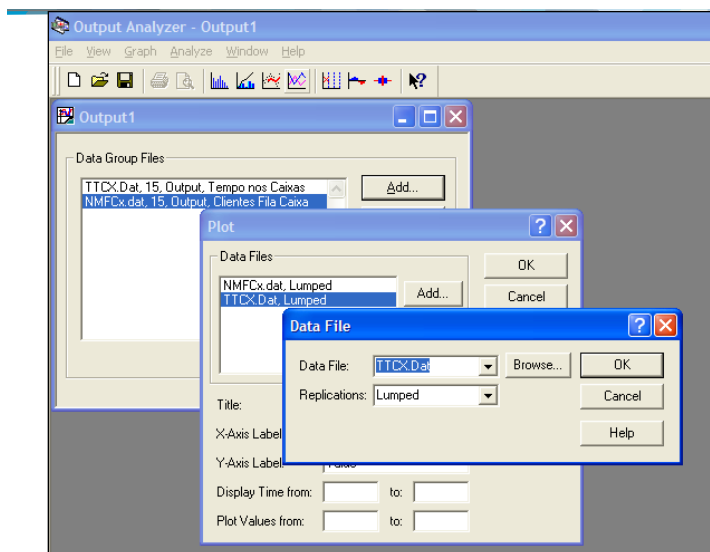


## Anexando os arquivos “TTCx.DAT” e “NFCx.DAT” ao *Output Analyzer*



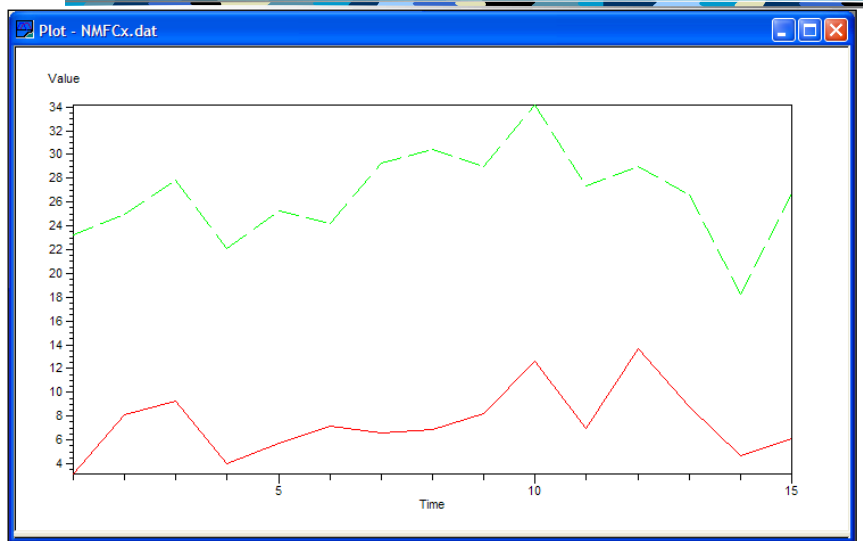
33

## Solicitando Gráficos (*Plot*)



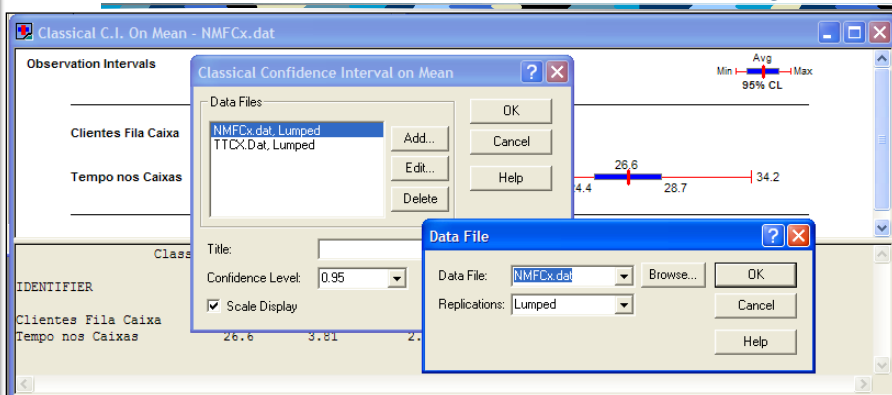
34

## Gráficos (Plot)



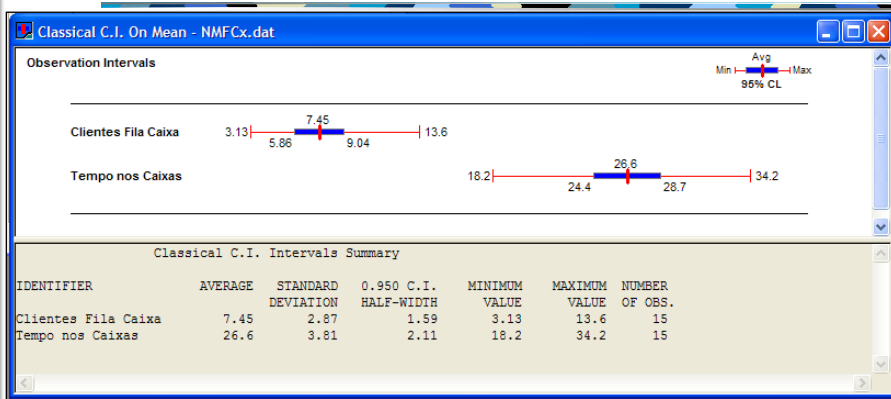
35

## Diálogo para o Cálculo do Intervalo de Confiança



36

## Intervalos de Confiança



37

## Mais precisão para o tamanho da fila

- ◆ Considere alcançar valores de  $h \leq 10\%$  da média amostral.

- ▶ Para a variável Clientes na Fila,  $h = 0,745$  (não atingida)
- ▶ Para a variável Tempo no Sistema,  $h = 2,66$  (atingida)

$$n^* = [n(h/h^*)^2]$$

$n^*$  = a nova estimativa para  $n$

$n$  = número de replicações já realizadas = 15

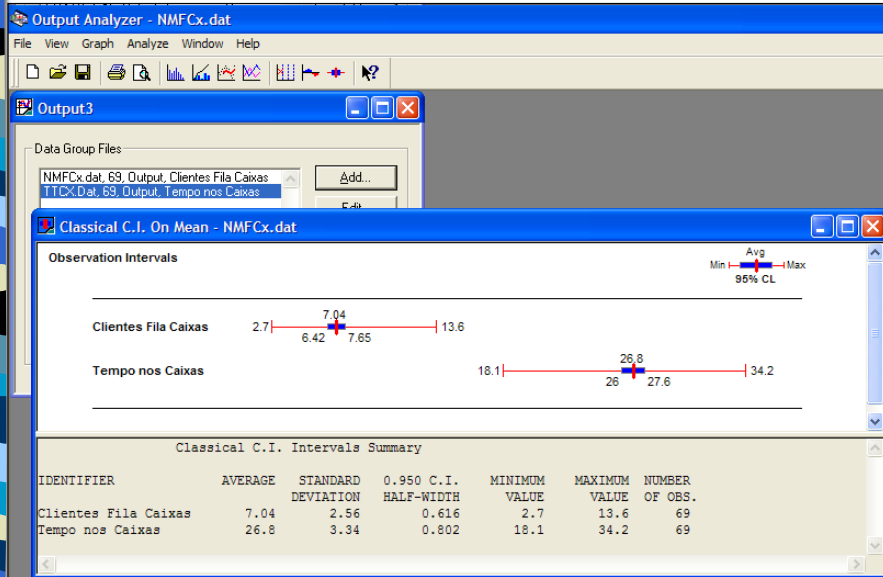
$h$  = semi-intervalo de confiança já obtido = 1,59

$h^*$  = semi-intervalo de confiança desejado = 0,745

$$n^* = [n(h/h^*)^2] = [15.(1,59 / 0,745)^2] = 15.(1,575)^2 \cong 69$$

38

## Mais Precisão



O valor obtido para  $h$  (0,616) é menor que o desejado (10% de 7,04 = 0, 704 )

39

## Análise de Sistemas Não Terminais

- ◆ Não têm um estado inicial predefinido
- ◆ Não há um evento encerramento do período de simulação.
- ◆ Problemas básicos que devem ser contornados.
  - **Descarte das observações que pertencem ao período transiente.**
  - **Período de simulação.** As técnicas de avaliação exigem longas simulações. Quão longas?

40

## Observação visual

- ♦ Método mais simples e prático para a determinação do ponto de término do período transiente.
- ♦ Inicia pela construção de um gráfico que mostra o comportamento da variável de resposta ao longo do tempo
- ♦ Procura-se observar o final da fase transiente
- ♦ Em alguns sistemas a flutuação das respostas é bastante acentuada, mesmo quando em regime, dificultando a observação.
- ♦ Neste caso, traçar gráficos com **médias móveis** da variável é aconselhável.

41

## Observação visual - Média Móvel

- ♦ A média móvel é construída calculando-se a média aritmética das  $k$  mais recentes observações em cada ponto do conjunto de dados.
- ♦ Na medida em que se aumenta o valor de  $k$ , suaviza-se o gráfico tornando mais clara a observação do ponto de truncagem.

42

◆ Gráfico 2.2: Média móvel com  $k=1$

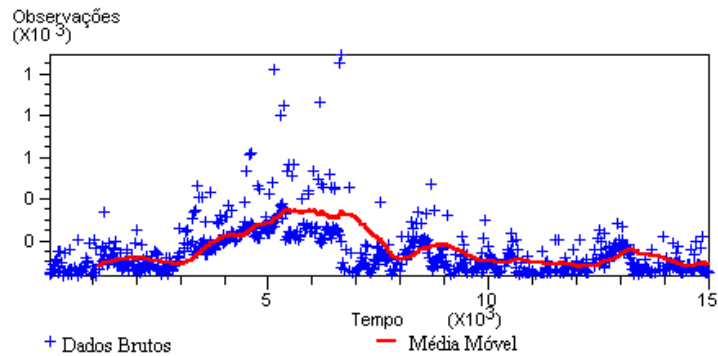


◆ Gráfico 2.3: Média móvel com  $k=10$



## Observação visual - Média Móvel

♦ Gráfico 2.4: Média móvel com  $k=50$



45

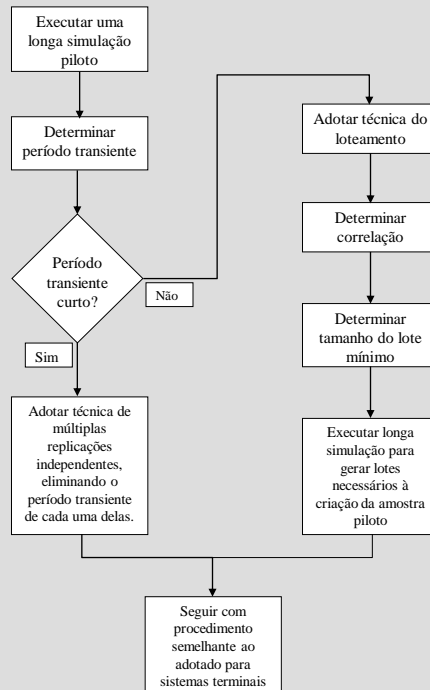
## Tamanho do Período de Simulação

### Métodos

- ♦ Replicações Independentes
- ♦ Loteamento

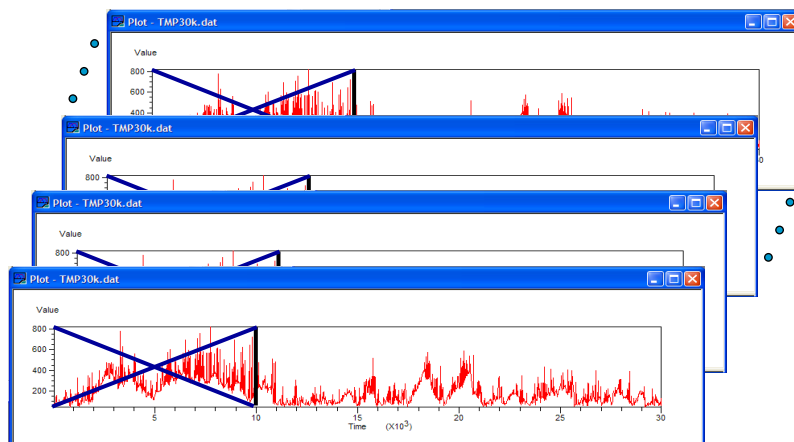
46

## Determinação do Tamanho do Período de Simulação para Sistemas Não-Terminais



47

## Determinação do Tamanho do Período de Simulação para Sistemas Não-Terminais

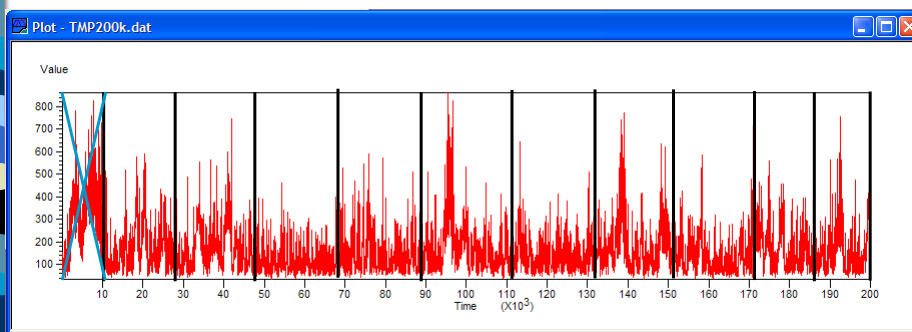


**Método das Replicações Independentes**

48



## Determinação do Tamanho do Período de Simulação para Sistemas Não-Terminais

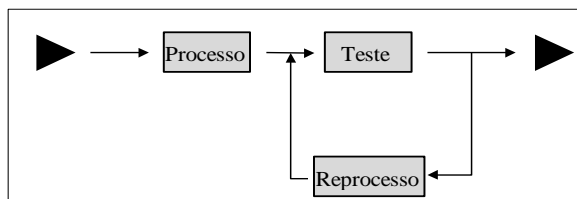


### Método do Loteamento

49

## Exemplo Sistemas Não-Terminais Método do Loteamento

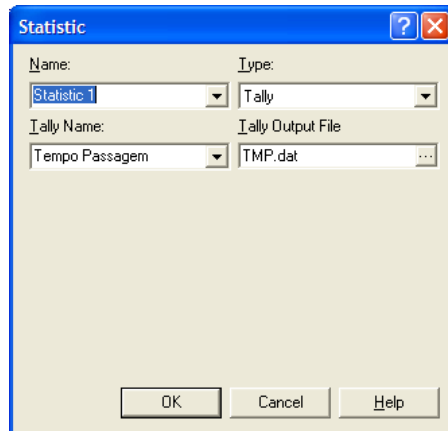
- ◆ Para a análise de um sistema não-terminal, vamos considerar o sistema hipotético representado na figura abaixo.
- ◆ O recurso do processo tem capacidade 2.
- ◆ Simule o modelo “*Sistemas N-Terminais - Exemplo\_6-7*” inicialmente com uma rodada piloto com 20.000 min.



Serviço	Tempo (min.)
Processo	Normal (34, 9)
Teste de Inspeção	Uniforme (10, 18)
Reprocessamento	Triangular (25, 40, 45)
Tempo entre Chegadas	Exponencial (20)

50

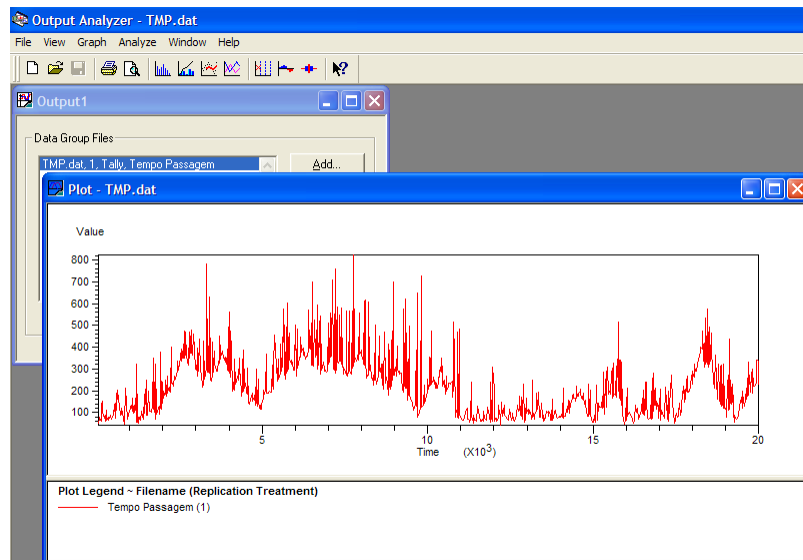
## Criando o arquivo de dados



O Módulo *Statistics* e a edição da estatística *Tally*

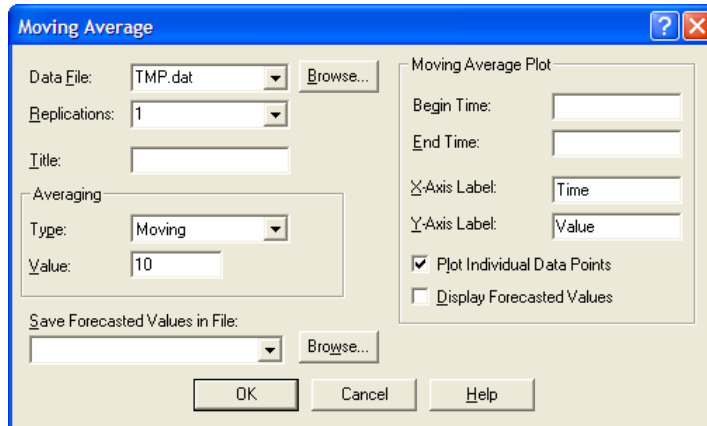
51

## Gráfico do Tempo Médio de Passagem



52

## Solicitação da média móvel

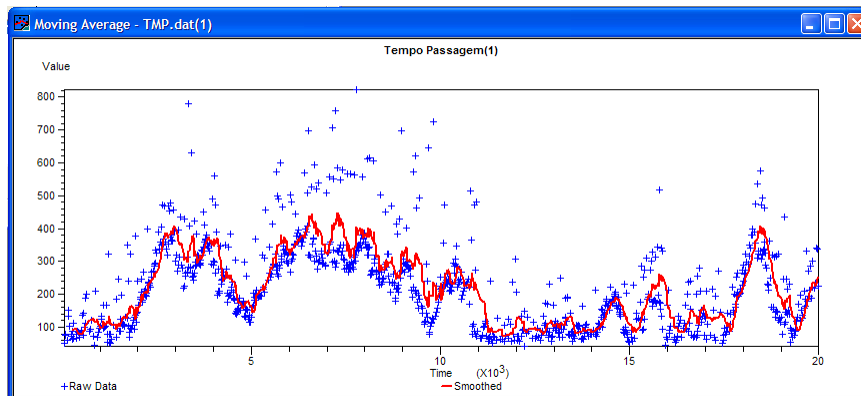


The image shows a 'Moving Average' dialog box with the following fields and options:

- Data File:** A dropdown menu showing 'TMP.dat' and a 'Browse...' button.
- Replications:** A dropdown menu showing '1'.
- Title:** An empty text field.
- Averaging:**
  - Type:** A dropdown menu showing 'Moving'.
  - Value:** A text field showing '10'.
- Save Forecasted Values in File:** An empty text field and a 'Browse...' button.
- Moving Average Plot:**
  - Begin Time:** An empty text field.
  - End Time:** An empty text field.
  - X-Axis Label:** A text field showing 'Time'.
  - Y-Axis Label:** A text field showing 'Value'.
  - ☒ **Plot Individual Data Points**
  - ☐ **Display Forecasted Values**
- Buttons:** 'OK', 'Cancel', and 'Help' at the bottom.

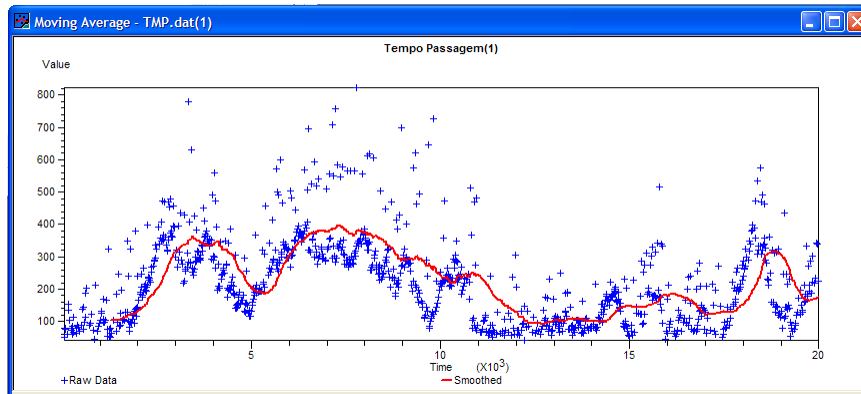
53

## Média móvel de parâmetro K=10



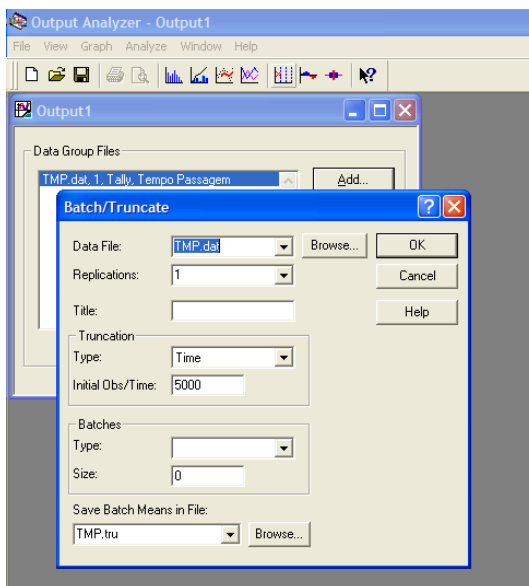
54

## Média móvel de parâmetro K=50



55

## Método do Loteamento Comando Batch/Truncate Observations

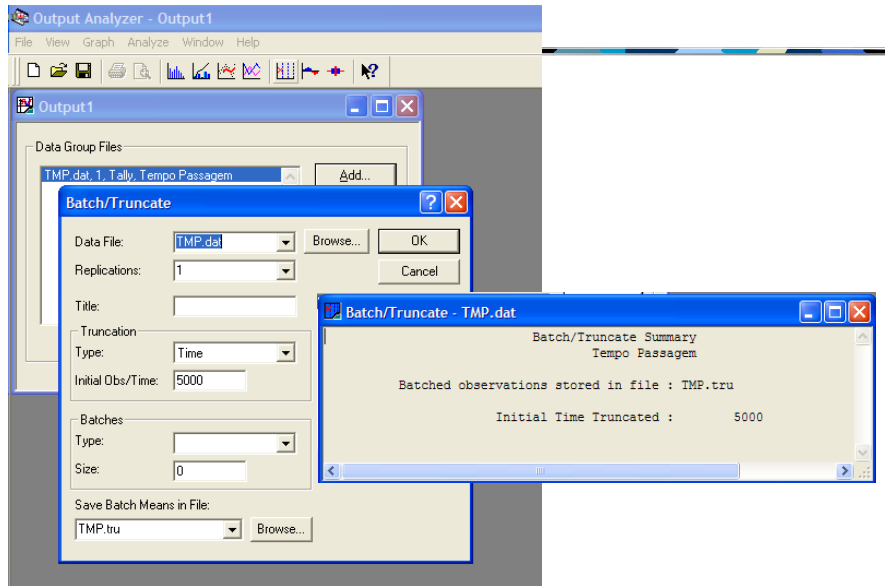


Eliminação das estatísticas  
obtidas nos primeiros  
5000 min. de simulação.  
Equivalente ao  
"Warmup"

56

## Método do Loteamento

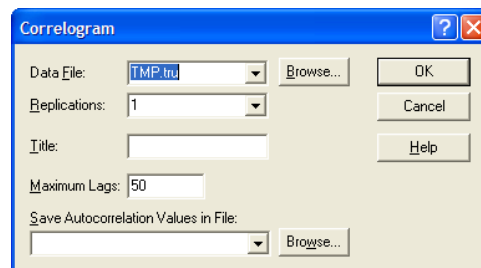
### Comando Batch/Truncate Observations



57

## Método do Loteamento

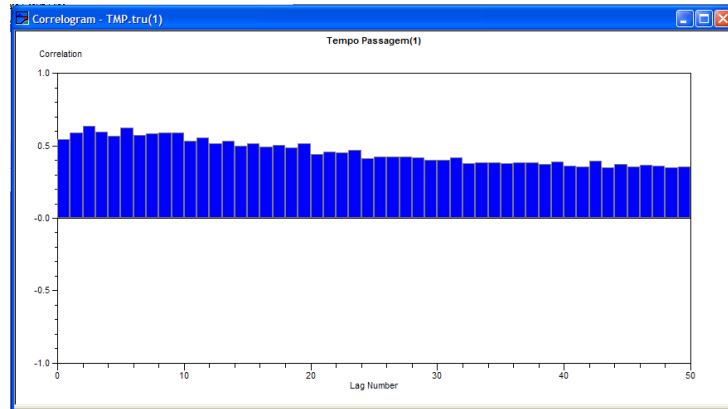
### Verificando a correlação entre as observações para a determinação dos Lotes



Comando *Correlogram*

58

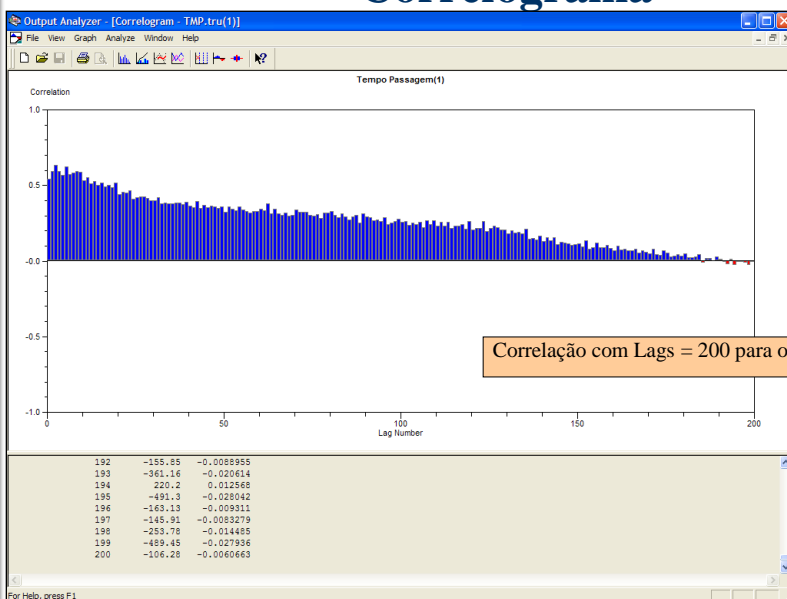
## Método do Loteamento Correlograma



Correlação com Lags = 50 para o TMP.tru

59

## Método do Loteamento Correlograma



60

## Método do Loteamento

### Calculo do Tempo de Simulação

- ♦ *Tamanho mínimo do Lote = 200 observações*
- ♦ *Tamanho do lote com segurança (10)  $\rightarrow 10 \times 200 = 2000$  obs.*
- ♦ *Uma obs. é obtida, em média, a cada 20 min. (TEC=Expo (20)min.)*
- ♦ *Tempo para simulação de um lote =  $2000 \text{ obs} \times 20 \text{ min} = 40.000 \text{ min}$*
  
- ♦ *Tempo de Total de Simulação = Tempo de Descarte + N° de Lotes x Tempo de Simulação para cada lote*
  
- ♦ *Tempo da Simulação para a geração de 15 lotes (replicações):*

*Tempo de Simulação = 5.000 min. + 15 x 40.000 min. = 605.000 min.*

61

## Método do Loteamento

### Determinação do novo Tempo de Simulação

Run Setup

Run Speed | Run Control | Reports

Project Parameters | Replication Parameters

Number of Replications: 1

Initialize Between Replications  
☒ Statistics ☒ System

Start Date and Time: domingo, 16 de maio de 2004 16:35:53

Warm-up Period: 0.0 Time Units: Minutes

Replication Length: 605000 Time Units: Minutes

Hours Per Day: 24 Base Time Units: Minutes

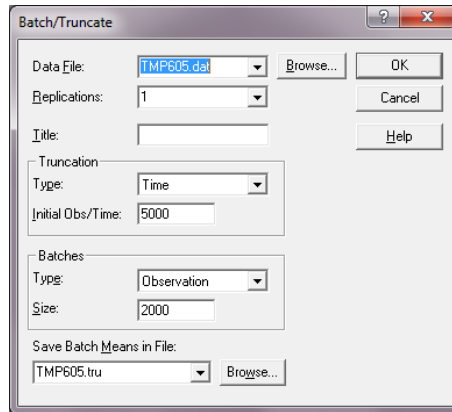
Terminating Condition:

OK Cancel Apply Help

62

## Método do Loteamento

### Montagem do arquivo de lotes



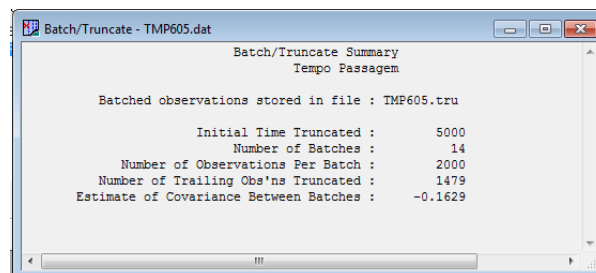
The image shows a 'Batch/Truncate' dialog box with the following fields and options:

- Data File: TMP605.dat (with a 'Browse...' button)
- Replications: 1 (dropdown)
- Title: (empty text field)
- Truncation Type: Time (dropdown)
- Initial Obs/Time: 5000 (text field)
- Batches Type: Observation (dropdown)
- Size: 2000 (text field)
- Save Batch Means in File: TMP605.tru (with a 'Browse...' button)
- Buttons: OK, Cancel, Help

63

## Método do Loteamento

### Montagem do arquivo de lotes



The image shows a 'Batch/Truncate Summary' window titled 'Batch/Truncate - TMP605.dat'. It displays the following information:

Batch/Truncate Summary  
Tempo Passagem

Batched observations stored in file : TMP605.tru

Initial Time Truncated :	5000
Number of Batches :	14
Number of Observations Per Batch :	2000
Number of Trailing Obs'ns Truncated :	1479
Estimate of Covariance Between Batches :	-0.1629

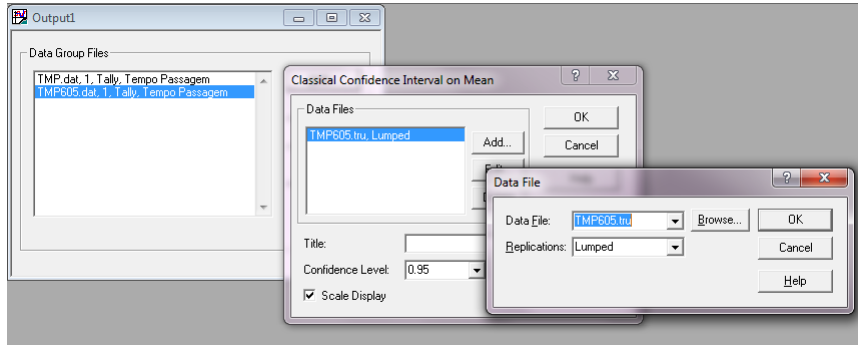
Informações sobre a formação do arquivo de lotes

64



## Método do Loteamento

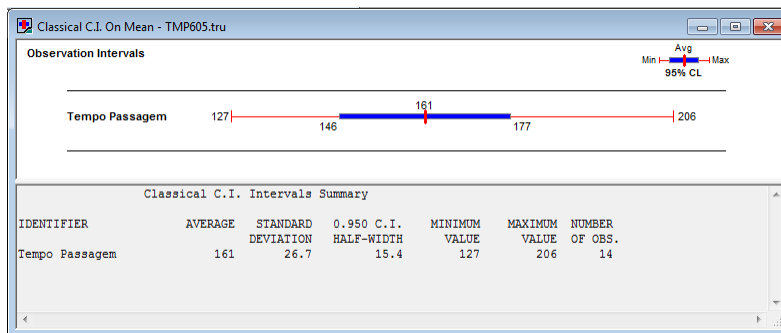
### Solicitação do Int. de Confiança



65

## Método do Loteamento

### Intervalo de confiança da variável TMP



Intervalo de confiança da variável TMP  
Meta:  $h < 10\%$  da média → atingida

66

## Exercício

---

- ♦ Mesmo exemplo usando o método das Replicações Independentes.
- ♦ Considere inicialmente replicações com 40.000 min. cada uma e um período de “warmup” de 5000 min. em cada replicação.