



Tópicos Avançados em Avaliação e Desempenho de Sistemas

Simulação Estacionária

Aleciano Júnior

aflj@cin.ufpe.br

Carlos Melo

casm3@cin.ufpe.br

Charles Bezerra

cbm3@cin.ufpe.br



UNIVERSIDADE
FEDERAL
DE PERNAMBUCO





Tópicos

- ❖ **Introdução;**
 - ❖ **Sistemas, Simulação...**
- ❖ **Simulação Terminante e Simulação Não-terminante;**
- ❖ **Rodada e Repetição;**
- ❖ **Viés de Inicialização;**
- ❖ **Simulando com a ferramenta ARENA;**
- ❖ **Considerações Finais**



Tópicos

- ❖ **Introdução;**
- ❖ **Sistemas, Simulação...**
- ❖ **Simulação Terminante e Simulação Não-terminante;**
- ❖ **Rodada e Repetição;**
- ❖ **Viés de Inicialização;**
- ❖ **Simulando com a ferramenta ARENA;**
- ❖ **Considerações Finais**



Sistemas

*“Um conjunto de partes organizadas para algum propósito”
Coyle, 1996*



Sistemas

- De acordo com Checkland (1981), os sistemas encontram-se divididos em quatro classes ou categorias principais:
- **Sistemas Naturais:** Sistemas cujas origens se encontram na origem do universo, os átomos, as galáxias, a Terra;
- **Sistemas Físicos projetados:** Sistemas físicos que são resultado de projetos humanos: Casa, carro, fábricas de automação;



Sistemas

- **Sistemas Abstratos Projetados:** Sistemas abstratos que são de autoria humana, como a matemática e a literatura;
- **Sistemas de Atividade Humana:** Sistemas que são resultados de ações conscientes ou inconscientes dos seres humanos, a família, cidades, sociedade e o sistema político;



Técnicas de Avaliação

- **Existem basicamente três tipos de técnicas de avaliação que se pode operar sobre um sistema:**
 - **Modelagem analítica**
Descrição matemática do sistema
 - **Simulação**
Programa que modela funcionalidades do sistema
 - **Medição**
Dados do sistema real



Técnicas de Avaliação

Lilja (2000):

Table 1.1. A comparison of the performance-analysis solution techniques

Characteristic	Solution technique		
	Analytical modeling	Simulation	Measurement
Flexibility	High	High	Low
Cost	Low	Medium	High
Believability	Low	Medium	High
Accuracy	Low	Medium	High



Simulação

“Uma imitação de um sistema”

“Uma imitação (em um computador) de um sistema à medida que este progride através do tempo”

Stewart & Robinson, 2004

“[simulas’ãw] s.f. Ato ou efeito de Simular. Experiência ou ensaio realizado com o auxílio de modelos.”



Simulação

“Simulação é uma das mais poderosas ferramentas de análise disponíveis para os responsáveis por projeto e operação de processos complexos ou sistemas. Simulação se tornou uma ferramenta muito poderosa para planejamento, projeto e controle de sistemas. Não mais renegado ao posto de “último recurso”, hoje ela é vista como uma metodologia indispensável de solução de problemas para engenheiros, projetistas e gerentes.

C. Dennis Pegden

“Introduction to Simulation Using SIMAN”



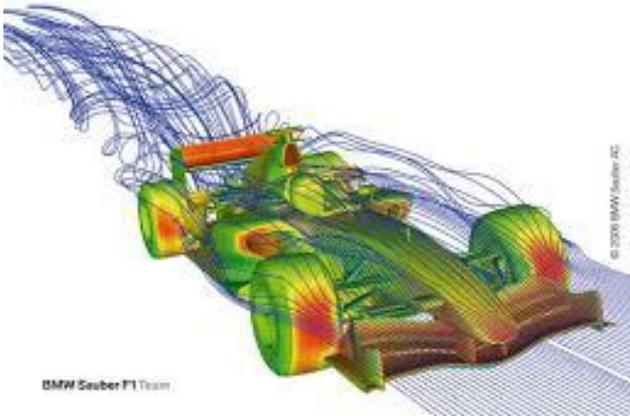
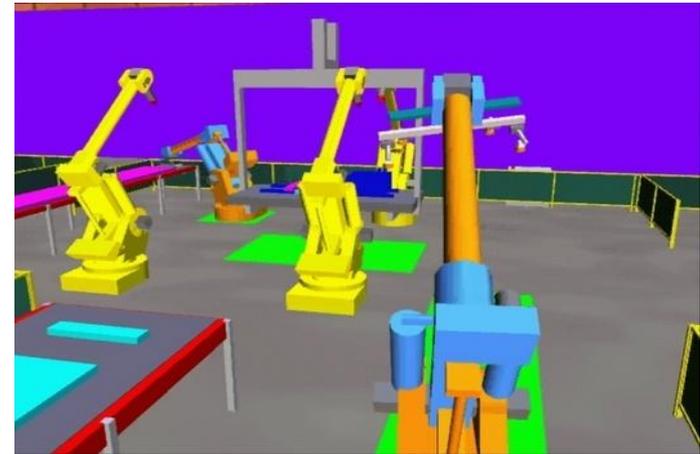
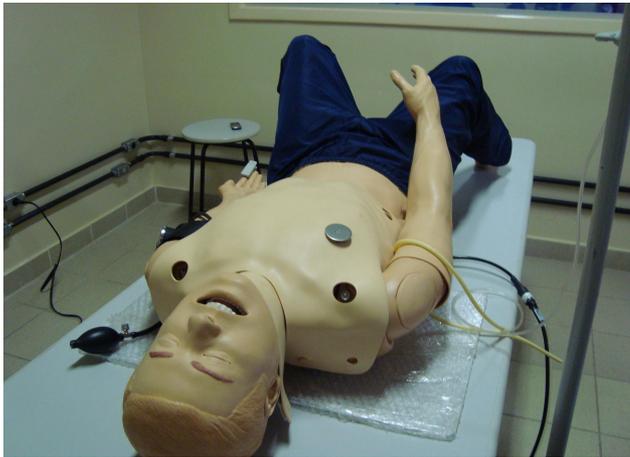
Simulação

Simulação é a técnica de estudar o comportamento e reações de um determinado sistema através de modelos, que imitam na totalidade ou em parte as propriedades e comportamentos deste sistema em uma escala menor, permitindo sua manipulação e estudo detalhado.



Simulação

Alguns exemplos de simulação





Experimentos com Simulação versus experimentos com o sistema real

- **Custo:** Experimentos com o sistema real são mais custosos, em geral requerem uma interrupção no fornecimento do serviço para que os testes possam ser realizados;
- **Tempo:** Pode se levar dias, semanas, meses, até mesmo anos para que se obtenha resultados válidos;
- **Controle das condições experimentais:** Alguns parâmetros são incontrolláveis em um sistema já em funcionamento;
- **O sistema real pode não existir;**



Vantagens da Simulação

- **Novas políticas, regras e procedimentos podem ser testados sem a interrupção do sistema;**
- **O tempo pode ser comprimido ou expandido para des\acelerar fenômenos investigados;**
- **Compreensão do funcionamento do sistema, em vez de *adivinhação*;**
- **Possibilidade de animar dinamicamente as operações realizadas no sistema simulado;**



Desvantagens da Simulação

- **Cara:** Softwares de simulação nem sempre são baratos, além do elevado custo do próprio modelo;
- **Consome tempo;**
- ***Data Hungry:*** Requerem grande quantidade de dados que as vezes não está disponível de imediato;
- **Requer experiência;**
- **Excesso de Confiança:** Interpretar resultados erroneamente pode levar ao fracasso total do projeto;



Falhas comuns na Simulação

- **Nível não apropriado de detalhes;**
- **Modelos inválidos ou não verificados;**
- **Tratamento incorreto das condições iniciais;**
- **Simulações muito curtas;**
- **Geradores fracos de números aleatórios.**



Tópicos

- ❖ Introdução;
- ❖ Sistemas, Simulação...
- ❖ **Simulação Terminante e Simulação Não-terminante;**
- ❖ Rodada e Repetição;
- ❖ Viés de Inicialização;
- ❖ Simulando com a ferramenta ARENA;
- ❖ Considerações Finais



Simulação Terminante e Não-terminante

- **Terminante:** A simulação executa por um período previamente estabelecido de tempo e é encerrada neste ponto. Também chamada de transiente.
- **Possui condições iniciais fixas que o sistema volta a assumir ao iniciar cada rodada de simulação**
- **Ex.:** Simulação de um banco, com funcionamento ao público/clientes entre às 09:00 e às 15:00 horas.



Simulação Terminante e Não-terminante

- **Não-terminante:** A simulação não possui um tempo exato, ou previamente fixado para seu término. Somente há o interesse de estudar uma simulação não terminal para o período em que a simulação é executada em regime permanente. Também chamada de **estacionária**.
- Ex.: Simulação de um sistema de suporte a vida de um paciente, um sistema crítico que não sabemos por quanto tempo deverá permanecer em funcionamento;



Sistemas Terminantes - Análise

- **Tem como objetivo compreender o comportamento ao longo de um período pré-determinado e que possui uma duração fixa;**
- **Tendo o período e as condições iniciais fixas, o único fator controlável é o número de replicações;**
- **Os procedimentos de análise consistem em:**
 1. Realizar um determinado número de replicações;
 2. Verificar a variância das medidas de desempenho selecionadas;
 3. Determinar se o intervalo de confiança encontra-se dentro de limites aceitáveis.



Sistemas Terminantes - Análise





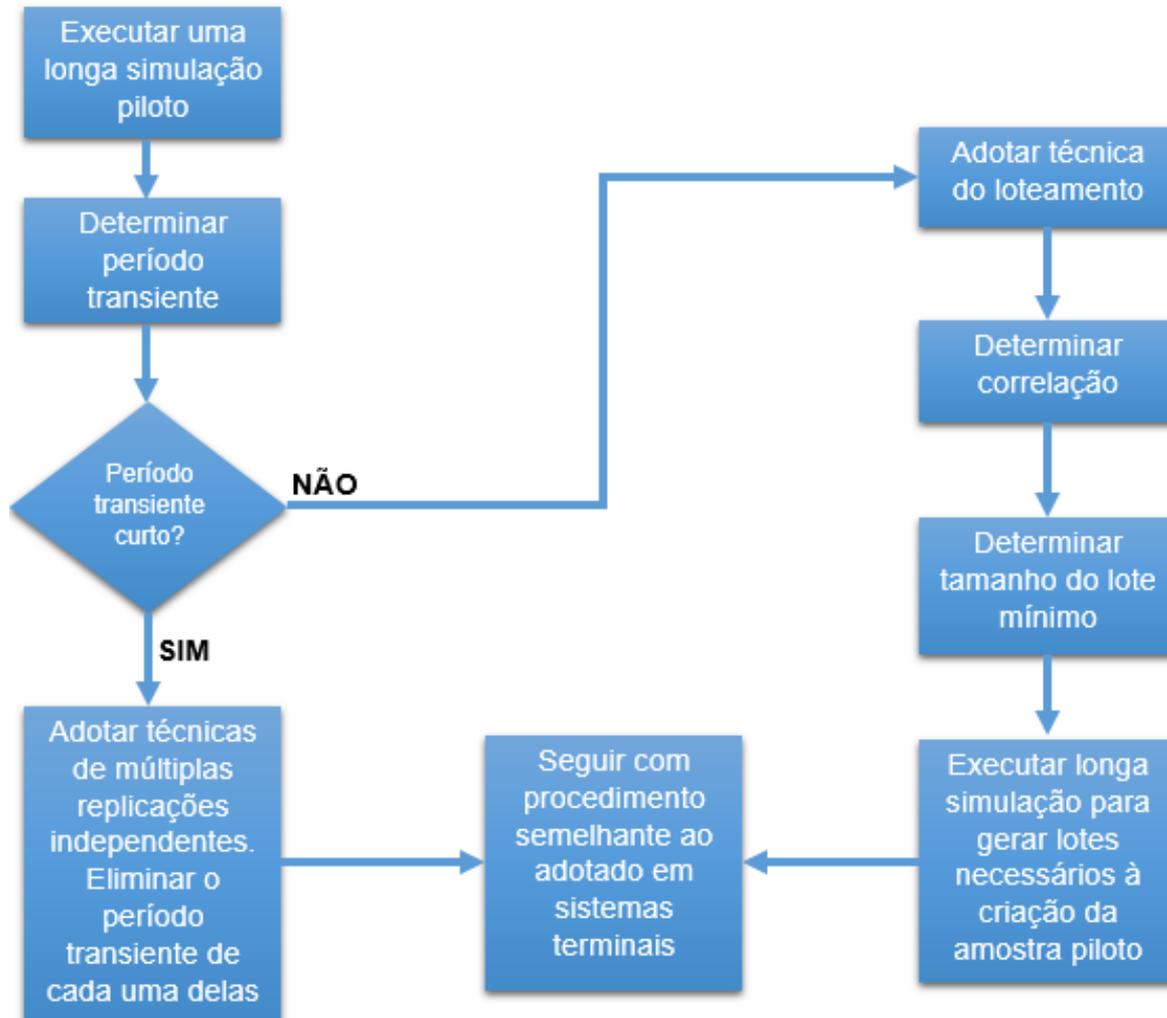
Sistemas Não-Terminantes - Análise

- **Não possui um estado inicial predefinido nem um evento que caracterize o encerramento do período de simulação;**
- **Dois problemas básicos devem ser contornados:**
 1. Descarte das observações que pertencem ao período transiente;
 2. Período de simulação. Para que se possa avaliar a variância da medida de interesse, considerando os descartes da fase transiente, as técnicas de avaliação exigem longas simulações.



Sistemas Não-Terminantes

Determinação do tamanho do período de simulação





Tópicos

- ❖ Introdução;
- ❖ Sistemas, Simulação...
- ❖ Simulação Terminante e Simulação Não-terminante;
- ❖ **Rodada e Repetição;**
- ❖ Viés de Inicialização;
- ❖ Simulando com a ferramenta ARENA;
- ❖ Considerações Finais



Replicação e Rodada

- **Rodada:** A rodada é o período que se inicia a partir do momento em que o comando para a execução da simulação é dado, uma rodada pode envolver n -replicações.



Replicação e Rodada

- **Replicação:** É uma repetição da simulação do modelo, com mesma configuração, mesma duração, mesmos parâmetros de entrada, mas com uma semente (*seed*) de geração de números aleatórios diferentes.
- Apesar dos mesmos dados e mesmos parâmetros de entrada, os números gerados são aleatórios e proverão saídas distintas.



Replicação e Rodada

- **Métodos:**
 - **Gráfico**
 - **Por intervalo de confiança**
- **Realizando uma rodada longa e única**
(performing a single long run)



Replicação e Rodada

- A questão é, então, saber a quantidade de replicações que terão de ser feitas naquela simulação. Ou melhor, saber o ponto em que a simulação estacionária pode ser paralisada pelo fato de já ter obtido dados suficientes.
- *A rule of thumb*
 - Law e McComas (1990) recomendam de três a cinco replicações.
 - No entanto não leva em consideração as características de saída do modelo.



Replicação e Rodada

- **Método gráfico**
 - **Uma abordagem simples é a de plotar as médias cumulativas em um gráfico e observar quando elas se tornam *flat*, ou seja, com mínima variabilidade.**
 - **Com aquele determinado número de replicações indicado no gráfico teremos dados de saída suficientes para a nossa simulação.**



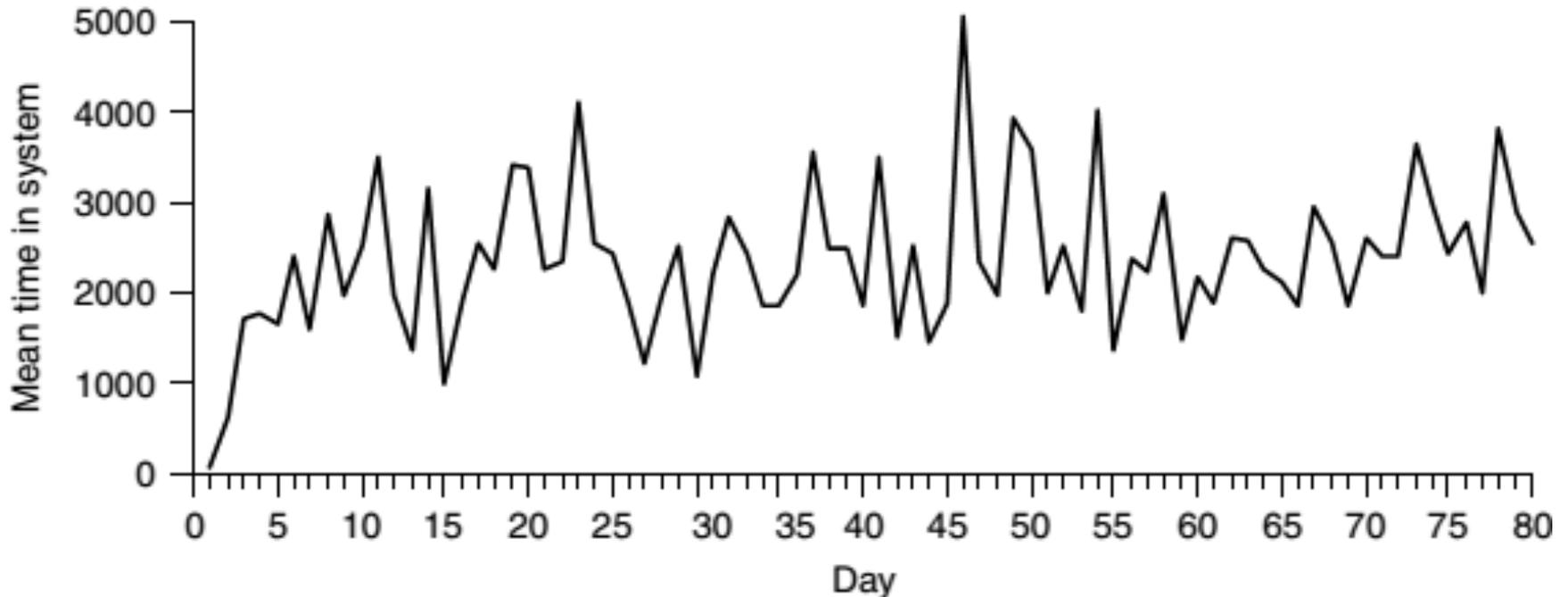
Replicação e Rodada

- **Exemplo do Help Desk:**
 - **Um profissional de help desk recebe ligações e e-mails dos usuários da empresa. A maioria das ligações necessitam de uma visita ao local e por isso estas são passadas ao pessoal técnico.**
 - **Uma métrica de interesse seria o tempo médio que cada requisição passou *viva* no sistema.**



Replicação e Rodada

- **Série temporal do tempo médio no sistema das requisições em cada dia.**





Replicação e Rodada

- **Então, supondo que foram realizadas 20 replicações (80 dias cada), e utilizando os dados da tabela a seguir:**



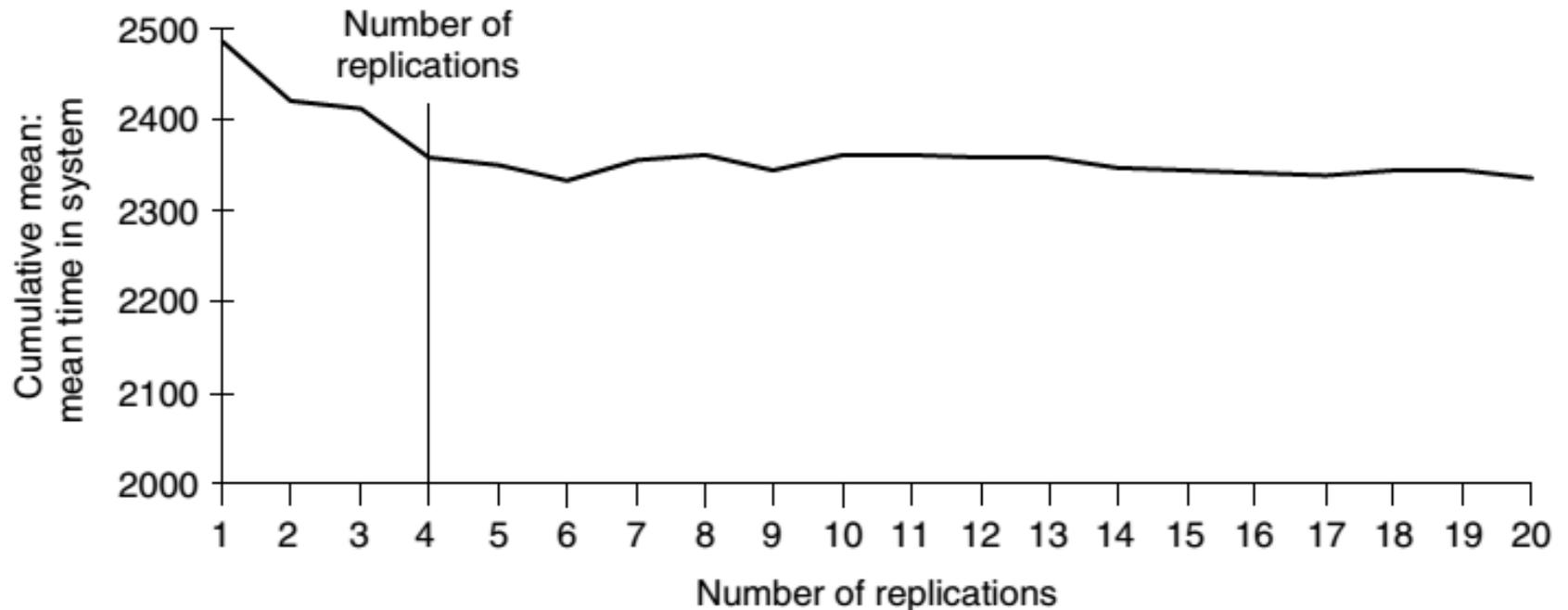
Replicação e Rodada

Replication	Mean time in system	Cumulative mean of mean time in system
1	2484.72	2484.72
2	2354.64	2419.68
3	2396.47	2411.94
4	2196.91	2358.18
5	2321.74	2350.89
6	2247.03	2333.58
7	2489.73	2355.89
8	2396.50	2360.97
9	2207.35	2343.90
10	2530.37	2362.55
11	2358.83	2362.21
12	2321.83	2358.84
13	2346.77	2357.91
14	2223.44	2348.31
15	2276.51	2343.52
16	2310.23	2341.44
17	2302.12	2339.13
18	2418.72	2343.55
19	2339.05	2343.31
20	2193.30	2335.81



Replicação e Rodada

- Teremos o seguinte gráfico, observem o ponto onde no número de replicações é igual a 4:





Replicação e Rodada

- **Método por meio do intervalo de confiança**
- **Mostrará o quão preciso o valor médio está sendo estimado. Quanto mais curto, melhor será.**
- **Neste caso, será observado o quanto a média cumulativa está desviando do intervalo calculado. Quem executa a simulação deve dizer se está satisfeito com 10%, 5% ou menos de desvio.**



Replicação e Rodada

- **Intervalo de confiança:**

$$CI = \bar{X} \pm t_{n-1, \alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}}$$

- Onde:

\bar{X} = mean of the output data from the replications

S = standard deviation of the output data from the replications (see equation below)

n = number of replications

$t_{n-1, \alpha/2}$ = value from Student's t -distribution with $n-1$ degree of freedom and a significance level of $\alpha/2$



Replicação e Rodada

- **Exemplo com dados do help desk:**

➤ *Replicacoes_intervalo_confiança.xls*



Tópicos

- ❖ Introdução;
- ❖ Sistemas, Simulação...
- ❖ Simulação Terminante e Simulação Não-terminante;
- ❖ Rodada e Repetição;
- ❖ **Viés de Inicialização;**
- ❖ Simulando com a ferramenta ARENA;
- ❖ Considerações Finais



Viés de Inicialização

- **A remoção do viés de inicialização é feita visando uma maior precisão nos resultados;**
- **Dados imprecisos podem levar a resultados tendenciosos e equivocados;**
- **Existem técnicas para evitar o impacto do viés de inicialização nos resultados das simulações;**
 - Período de Aquecimento;
 - Condições Iniciais;



Viés de Inicialização

- **Período de Aquecimento:** Execução de um período de aquecimento (warm-up) até que atinja uma condição mais próxima possível da real e obter resultados a partir deste ponto;
- **Condições Iniciais:** Definir condições iniciais ao modelo, que é colocado em condições próximas as reais já de início;
- **Período de Aquecimento + Condições Iniciais;**



Determinando o Período de Aquecimento

- **Como determinar o período de aquecimento?**
 - Ele deve ser longo o bastante para garantir que o modelo está o mais próximo possível das condições que seriam enfrentadas pelo sistema real.
 - Alguns métodos são propostos, estes, divididos em cinco categorias;



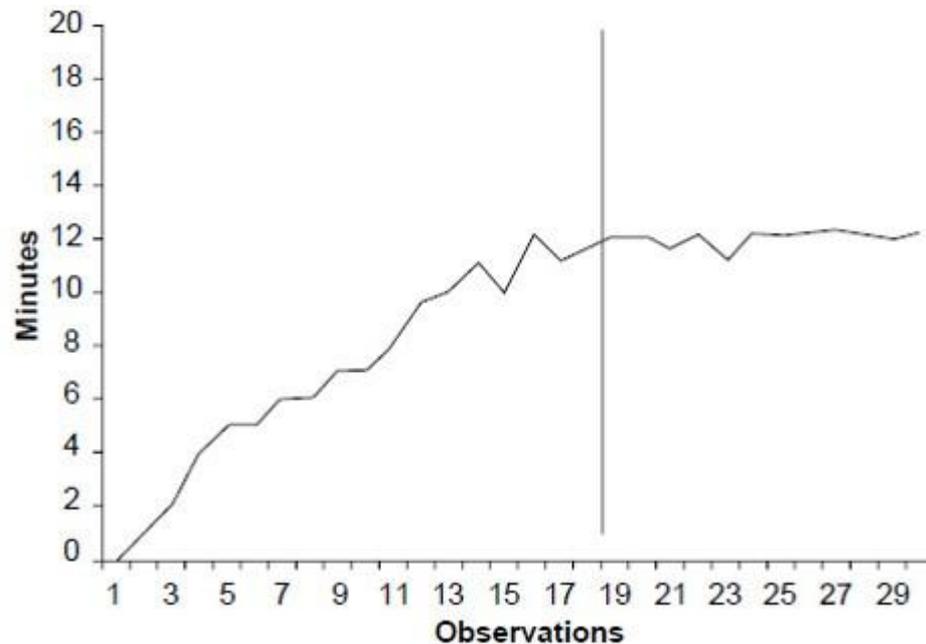
Determinando o Período de Aquecimento

Categoria	Método
Métodos Gráficos	Time-series inspection ; Ensemble average plots Cumulative mean rule; Deleting the cumulative mean rule CUSUM plots ; Welch's method Variance plots; Statistical process control
Métodos Heurísticos	Schriber's rule; Conway rule; Modified Conway rule Crossing of the mean rule; Autocorrelation estimator rule Marginal confidence rule; Goodness of fit Relaxation heuristics; MSER and MSER-5
Métodos Estatísticos	Kelton and Law regression method; Randomization tests
Testes de Viés de Inicialização	Schruben's maximum test; Schruben's modified test Optimal test; Rank test; The new maximum test Batch means test ; Area test
Métodos Híbridos	Pawlikowski's sequential method; Scale invariant truncation point method;



Abordagem de Gráfico Simples

- Se resume a plotagem para determinar o momento em que a inclinação do estado transiente inicial tende a zero e a medida de desempenho atinge o estado estacionário;





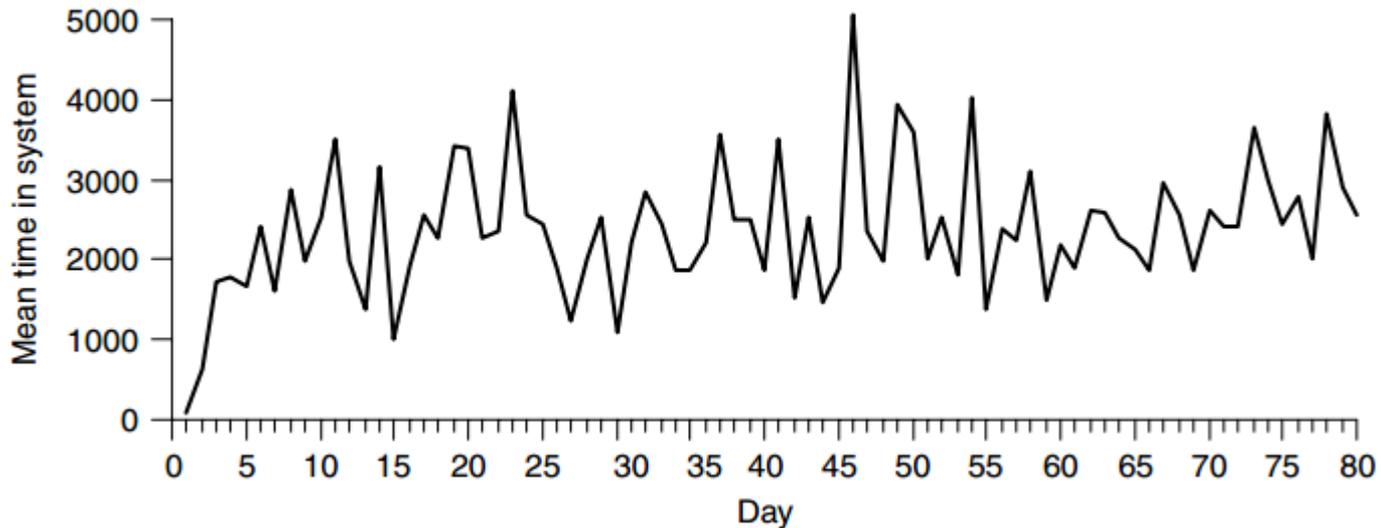
Inspeção de Séries Temporais

- **Um dos métodos “mais simples” para se determinar o período de aquecimento;**
- **Geralmente requer mais de uma replicação;**
 - O objetivo principal é reduzir o ruído e encontrar de modo mais rápido o estado estacionário, bem como, diagnosticar o início e o término do período transiente;



Inspeção de Séries Temporais

- Para apenas uma repetição fica difícil estabelecer com clareza o período estacionário;





Inspeção de Séries Temporais

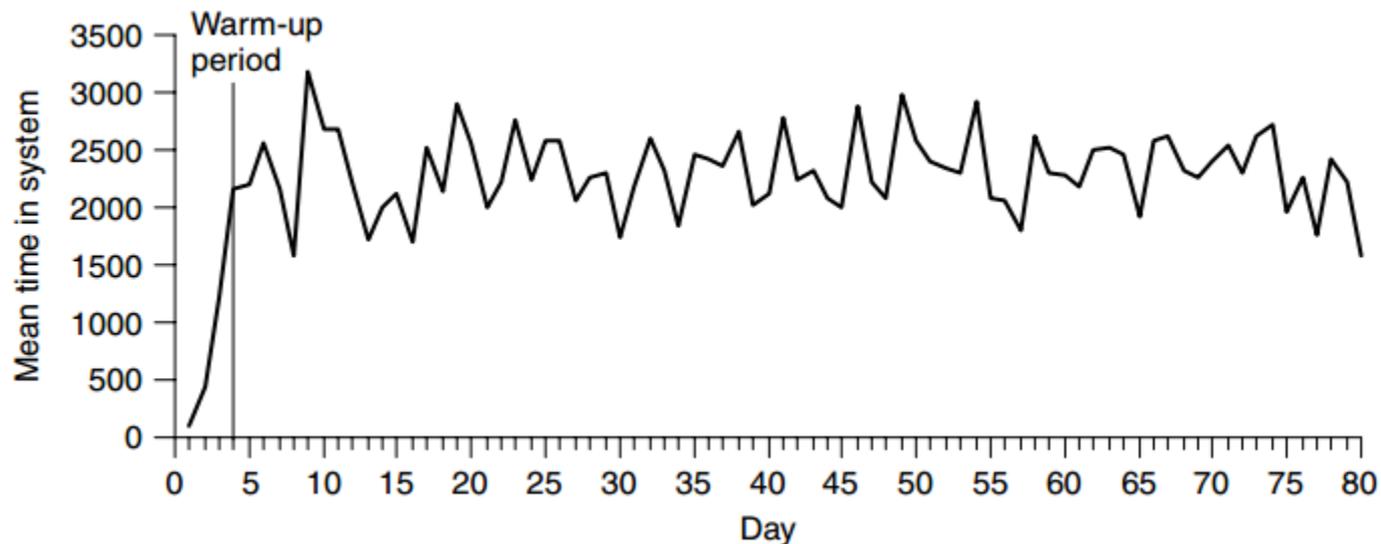
Saídas de cinco replicações e média para cada dia;

Day	Mean time in system					Mean
	Repl. 1	Repl. 2	Repl. 3	Repl. 4	Repl. 5	
1	93.98	56.88	142.04	110.87	82.32	97.22
2	618.08	501.71	292.19	672.74	135.28	444.00
3	1737.02	1162.92	336.36	1538.36	1291.77	1213.29
4	1769.77	953.53	3895.80	1069.59	3098.86	2157.51
5	1663.22	3006.68	1346.40	2837.09	2118.00	2194.28
6	2425.34	1495.23	2731.65	2855.38	3314.20	2564.36
7	1611.92	1798.13	1922.52	1797.52	3680.18	2162.05
8	2885.21	1185.96	1706.25	1548.68	544.49	1574.12
9	1986.58	3628.20	2958.04	3194.36	4104.93	3174.42
10	2521.63	2122.12	2537.90	2181.94	4068.63	2686.44
.
.
.



Inspeção de Séries Temporais

Com apenas cinco repetições, torna-se fácil de identificar o período de aquecimento;





Método de Welch

- **Seu algoritmo é descrito pelos seguintes passos:**
 - 1 - Executa uma série de repetições (pelo menos cinco) para obtenção de séries temporais dos dados;
 - 2 - Calcula a média dos dados de saída através das repetições para cada período;

$$\bar{Y}_i$$

- 3 - Calcula uma média móvel com base em uma janela de tamanho w (Iniciando com $w = 5$);



Método de Welch

- **4** - Plotar a média móvel em uma série temporal;
- **5** - Se os dados ainda não estiverem suavizados, aumentar o tamanho da janela (w) e retornar ao passo 3;
- **6** - Identifica o período de aquecimento como o ponto onde a série temporal se torna plana;



Método de Welch

- As médias móveis são calculadas utilizando a seguinte fórmula:

$$\bar{Y}_i(w) = \begin{cases} \frac{\sum_{s=-(i-1)}^{i-1} \bar{Y}_{i+s}}{2i-1} & \text{if } i = 1, \dots, w \\ \frac{\sum_{s=-w}^w \bar{Y}_{i+s}}{2w+1} & \text{if } i = w+1, \dots, m-w \end{cases}$$

where:

$\bar{Y}_i(w)$ = moving average of window size w

\bar{Y}_i = time-series of output data (mean of the replications)

i = period number

m = number of periods in the simulation run



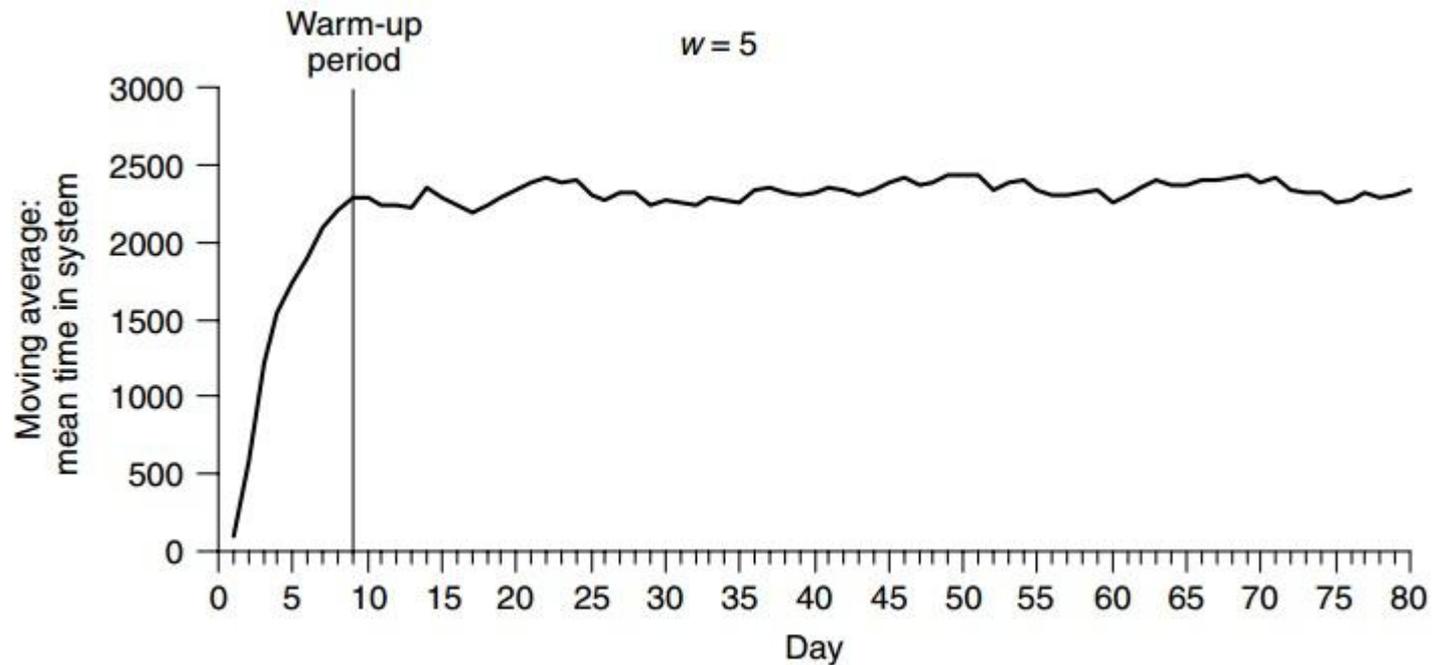
Método de Welch

Day	Mean time in system (mean of five replications)	Data included in the moving average	Moving average ($w = 5$)
1	97.22	} 1	97.22
2	444.00	} 1	584.84
3	1213.29	} 2	1221.26
4	2157.51	} 2	1547.53
5	2194.28	} 3	1731.25
6	2564.36	} 3	1903.62
7	2162.05	} 4	2096.58
8	1574.12	} 4	2212.96
9	3174.42	} 5	2285.29
10	2686.44	} 5	2281.33
11	2672.17	} 6	2237.21
12	2219.76	} 6	2232.31
13	1724.18	} 7	2229.52
14	2008.91	} 8	2349.58
15	2113.93	} 9	2293.24
16	1709.00	} 10	2230.03
17	2510.45	.	2188.89
18	2131.37	.	2237.11



Método de Welch

- Gráfico com ponto de suavização destacado.





Método de Welch

- Exemplo no Excel:

➤ *Welch_1.xlsx*



Regressão Linear

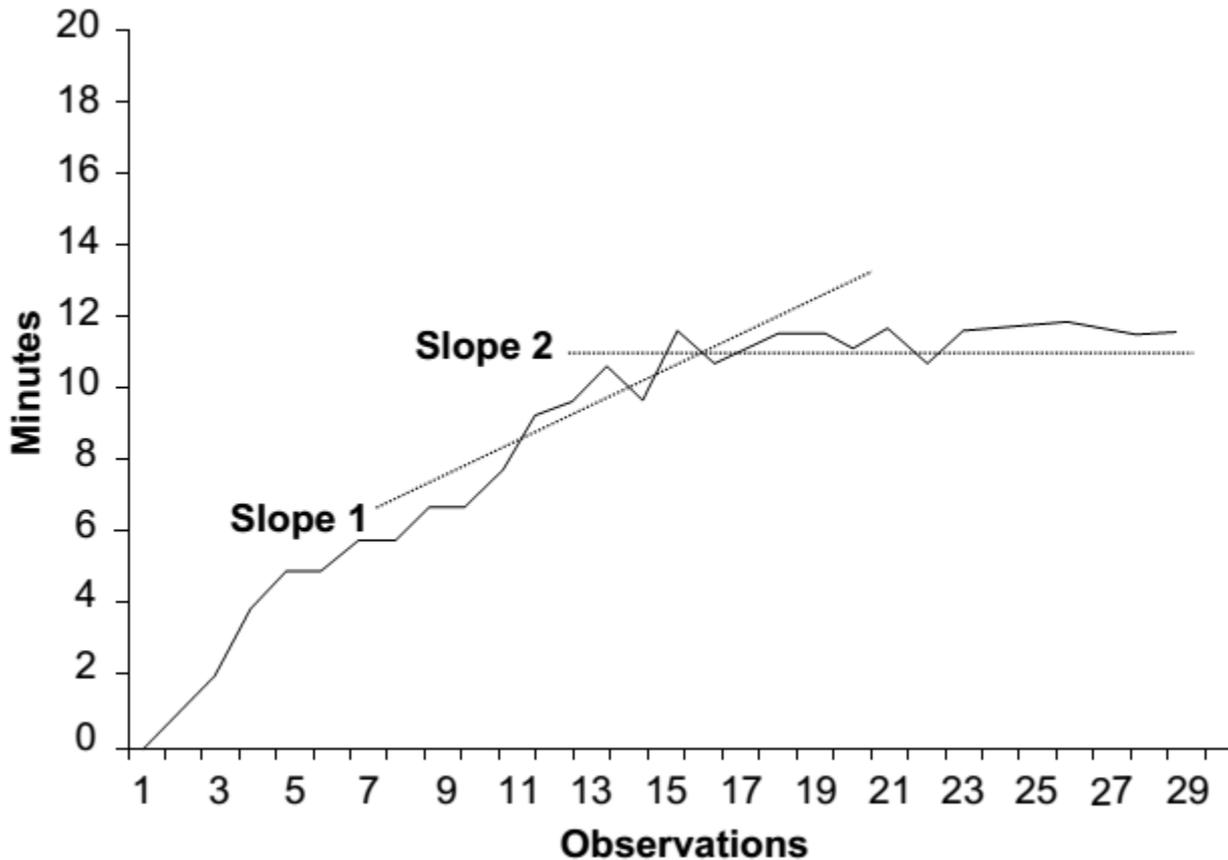
- Utiliza o método dos mínimos quadrados para determinar onde o estado transiente se encerra.
- Isto envolve em testar uma série de dados para ver onde o declive se aproxima de 0. Se não for 0, os testes são continuados até achar este ponto.
- Vamos considerar uma hipótese nula em que a inclinação é próxima a zero. A hipótese alternativa é de que a inclinação é diferente de zero.

$$H_0: \text{inclinação} \approx 0$$
$$H_1: \text{inclinação} \neq 0$$



Regressão Linear

- Gráfico com dois níveis de inclinação:





Regressão Linear

- **Exemplo com o Excel:**

➤ *Metodo_regressao.xls*



Regressão Linear

	C	D	E	F	G	H	I	J	K
97		16 até 25							
98		RESUMO DOS RESULTADOS							
99									
100		<i>Estadística de regressão</i>							
101		R múltiplo	0,174077656						
102		R-Quadrado	0,03030303						
103		R-quadrado ajustado	-0,090909091						
104		Erro padrão	0,440385506						
105		Observações	10						
106									
107		ANOVA							
108			<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>		
109		Regressão	1	0,048484848	0,048485	0,25	0,630536076		
110		Resíduo	8	1,551515152	0,193939				
111		Total	9	1,6					
112									
113			<i>Coeficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>
114		Interseção	11,2030303	1,003648075	11,16231	3,71E-06	8,888613692	13,51744691	8,888613692
115		Variável X 1	0,024242424	0,048484848	0,5	0,630536	-0,087563837	0,136048685	-0,087563837
116									



Autocorrelação

Ocorre quando o tempo de uma entidade está relacionada com a entidade seguinte.

$$R(k) = \frac{E[(X_t - \mu)(X_{t+k} - \mu)]}{\sigma^2}$$

$E[]$ – é o valor médio,

k – é o deslocamento no tempo,

σ^2 - é a variância da variável X_t



Autocorrelação

- **Se a variância for subestimada, há uma maior probabilidade que se pense que há realmente uma diferença entre os modelos quando na realidade não há.**
- **Se o sistema tiver autocorrelação e não se considerar isso, é possível que acidentalmente se rejeite uma hipótese nula de que não há nenhuma diferença entre os sistemas.**
- **O método de Batch é utilizado para explicar possíveis autocorrelações.**



Método das Médias de Batch

- **Técnica necessária que evita problemas em estados iniciais;**
- **Obtém pontos estimados por meio da simulação de um longo período de tempo;**
- **Utilizado para obter estimativas de intervalo de estados estacionários.**



Método Batch Means

Passos:

- Executar uma replicação única em um período de tempo longo e parte em lotes;
- Computar uma média estatística para cada lote;
- Construir uma estimativa de intervalo utilizando o lote.



Método Batch Means

- Considere a sequência de amostras Y_1, Y_2, \dots, Y_n ;
- Dividir em grupo de k lotes de comprimento b ;
- Calcular a média de cada lote como se segue:

$$\bar{Y}_i(b) = \frac{1}{b} \sum_{j=1}^b Y_{(i-1)b+j}$$

- Onde $\bar{Y}_i(b)$ = Batch means de tamanho b .



Método Batch Means

- **os lotes de dados são menos correlacionados do que as observações individuais.**
- **Por exemplo, a taxa de transferência de semana para semana numa unidade de fabricação é menos provável ter correlação do que a taxa de transferência por dia. Uma falha da máquina no fim de uma semana terá menos efeito na taxa de transferência para a semana seguinte do que o rendimento do dia seguinte.**



Método Batch Means

- Se o tamanho do lote é suficientemente grande, pode-se dizer que os lotes são independentes um do outro.
- Em seguida, é possível construir um intervalo de confiança de maneira normal:

$$CI = \bar{X} \pm t_{k-1, \alpha/2} \frac{S}{\sqrt{k}}$$

Onde:

S = desvio padrão das médias do lote

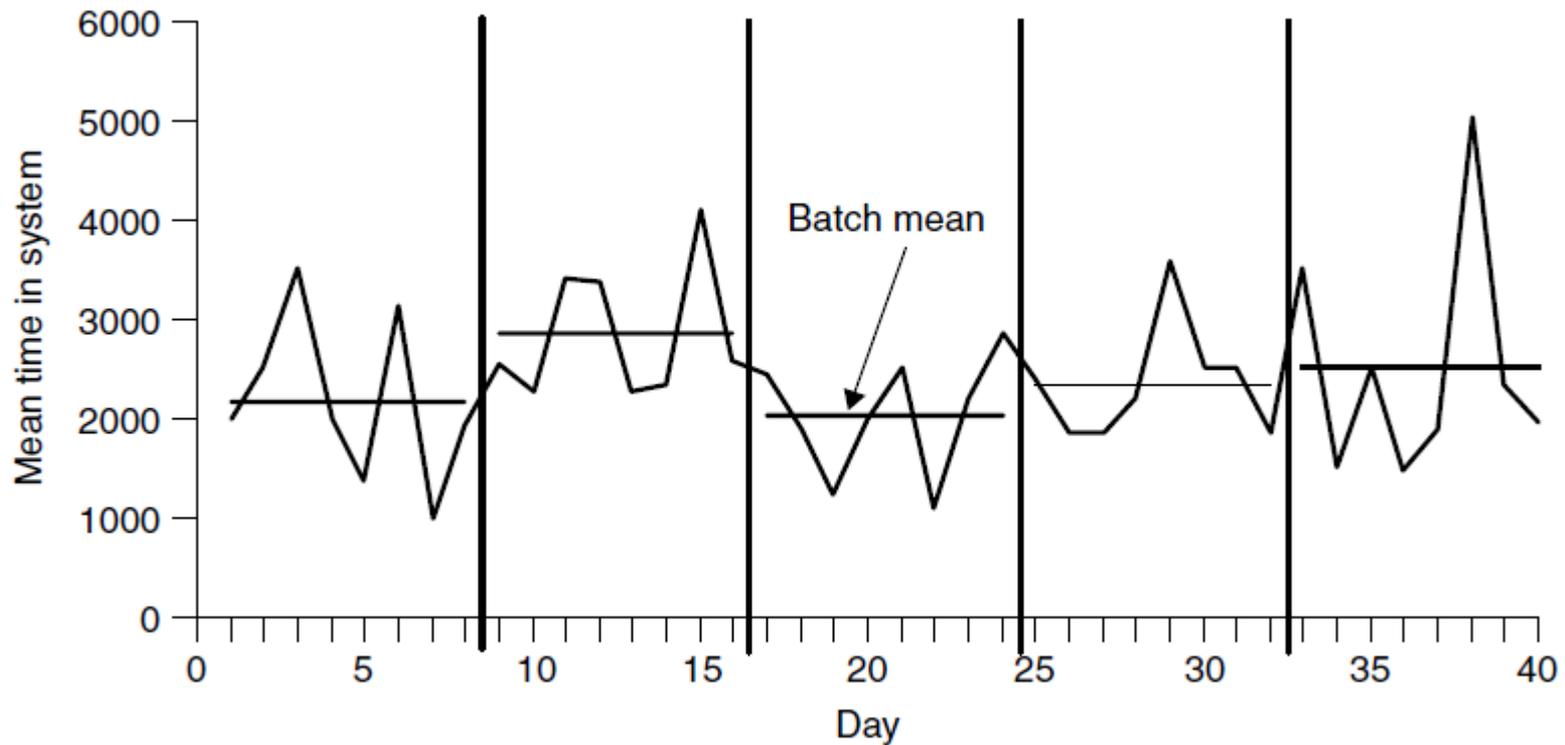
\bar{X} = média dos dados individuais

$t_{k-1, \alpha/2}$ = valor da distribuição t-Student com grau de liberdade $k - 1$ e um nível de significância $\alpha/2$



Método Batch Means

Formação de Batch Means de um Time-Series de dados de saída ($b = 8$).





Método Batch Means - Problemas

- O principal problema com o método Batch means é a determinação do tamanho do lote.
- Schmeiser (1982) sugere que a série temporal não deve ser dividido em mais de 30 lotes. Ele descobriu que a precisão do intervalo de confiança não melhorar muito por ter mais lotes.
- Ele também recomenda que não deve haver menos de 10 lotes, uma vez que isso também afeta a precisão do intervalo.



Condições Iniciais

- **O sistema pode realmente nunca fechar, ou pode fechar e reabrir no mesmo estado em que estava quando foi fechado.**
- **Exemplo de sistema não-terminante:**
 - Sistema de manufatura que é executado continuamente ou desligado ao final de cada turno. Se o sistema for desligado após cada turno, o trabalho é retomado no início do próximo turno de quaisquer produto que ainda não esteja sendo produzido.



Condições Iniciais

- **O interesse principal é a forma como o sistema não terminante executa;**
- **O estado transiente terá de ser modelado, mesmo não sendo de maior importância;**
- **É uma alternativa ao período de aquecimento.**



Condições Iniciais

- **Existem duas maneiras de identificar condições iniciais apropriadas:**
 - Observar o sistema real;
 - Executar um período de aquecimento e registrar o estado do modelo (Warm-up + Condições Iniciais).



Condições Iniciais e Período de Aquecimento

- Simulações terminantes e não-terminantes podem começar em um estado inicial irreal, por isso, exigem um período de aquecimento ou condições iniciais.

	Vantagem	Desvantagem
Período de Aquecimento	Armazena-se uma massa de dados sobre o sistema real que pode vir a ser usada posteriormente.	Leva mais tempo para executar as simulações
Condições Iniciais	Poupa tempo.	Necessita da especificação de condições adequadas.



Exemplo de simulação com Arena Simulation

- ❖ Introdução;
- ❖ Sistemas, Simulação...
- ❖ Simulação Terminante e Simulação Não-terminante;
- ❖ Rodada e Repetição;
- ❖ Viés de Inicialização;
- ❖ **Simulando com a ferramenta ARENA;**
- ❖ Considerações Finais



Exemplo de simulação com Arena Simulation

- O gerente do depto. de RH pretende testar a estratégia para o processo de seleção de trainees deste ano através de um modelo de simulação.
- Os currículos, desta vez, serão recebidos apenas via E-mail. Estima-se que estes cheguem em intervalos de 4 minutos seguindo uma distribuição exponencial.
- Os E-mails são lidos inicialmente por uma secretária, seguindo uma distribuição normal de média 3 minutos e desvio padrão de 1. Ela separa todos os currículos que não possuem os requisitos essenciais (fluência em inglês e conhecimentos em Windows7/Office 2013) e os envia para o arquivo.



Exemplo de simulação com Arena Simulation

- Os currículos que atendem a estes requisitos são enviados para a área específica, via E-mail, que os avalia em um tempo de média 10 minutos com desvio padrão de 2, segundo uma distribuição normal. Os currículos aprovados nesta fase são enviados ao próprio gerente de RH, e os recusados vão para o arquivo.
- Sabe-se que 20% dos currículos recebidos não possuem os requisitos básicos e que 80% dos currículos são recusados pela área.
- O gerente de RH deseja saber se alguma etapa ficará sobrecarregada, gerando atraso no processo.
- A simulação de um dia de trabalho (8 horas) será considerada suficiente para esta análise.



Considerações Finais



Referências

Simulation: The practice of model development. Stewart Robinson, 2004. Wiley Computer Publishing, John Wiley & Sons, Inc.

Art of Computer Systems Performance Analysis Techniques for Experimental Design Measurements Simulation and Modeling by Raj Jain, Wiley Computer Publishing, John Wiley & Sons, Inc.

Lilja, David J. *Measuring computer performance: a practitioner's guide*. Cambridge University Press, 2005.

Chung, Christopher A., ed. *Simulation modeling handbook: a practical approach*. CRC press, 2003.