

COPPEAD/UFRJ

RELATÓRIO COPPEAD Nº 208

INFLUÊNCIA DA BLOCAGEM E DO TAMANHO
DA AMOSTRA DESCRITIVA NA SIMULAÇÃO
DE UM PROBLEMA DE FILAS

Eduardo Saliby *
Gilberto Funchal **

Março de 1988

* Professor adjunto da área de Métodos Quantitativos e pesquisador da COPPEAD - Instituto de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração / UFRJ.

** Mestre em Engenharia de Sistemas / Pesquisa Operacional - DFPC / QG Ex - SMU - Brasília / DF.

RESUMO

Dois problemas práticos relacionados ao uso da amostragem descritiva são estudados: a blocagem e o efeito de erros na determinação do tamanho da amostra de entrada.

A blocagem é um recurso para se reduzir a área de memória exigida na amostragem descritiva. Ela consiste na decomposição da amostra de entrada em subamostras, também descritivas. A blocagem pode atuar sobre o conjunto e a sequência simultaneamente, quando é denominada blocagem total, ou somente sobre o conjunto. Estudando sua utilização verificou-se que, em alguns casos, a blocagem total pode levar a resultados distorcidos. Já a blocagem parcial, restrita apenas ao conjunto de valores amostrais, revelou-se um procedimento eficaz.

Quanto ao tamanho da amostra de entrada, um pré-requisito para o uso da amostragem descritiva, ele nem sempre é conhecido a priori. Assim sendo, estudou-se o efeito que erros na sua determinação teriam na precisão dos resultados da simulação, verificando-se ser muito pequena a sua influência.

ABSTRACT

Two practical problems related to the use of descriptive sampling were studied: blocking and the effect of errors on sample size determination.

Blocking is a procedure for reducing memory requirements with descriptive sampling. It consists in decomposing an input sample into sub-samples, descriptive too. Both the set and the sequence can be blocked simultaneously, named in this case full blocking; but also, only the set can be blocked. Empirical tests showed that full blocking may produce biased results; partial blocking however, restricted to the set values, showed to be an efficient procedure.

Concerning the input sample size, it cannot always be known in advance. The effect of errors on its determination was studied showing that they have a very small influence upon the precision of the estimates.

1. INTRODUÇÃO

Dois problemas relacionados com o uso da amostragem descritiva (AD) referem-se à exigência de memória para armazenar os valores descritivos (Pidd, 1984) e a determinação a priori do tamanho das amostras de entrada (Saliby, 1988). Tomando a simulação do caso "Great Western" como referência, previamente estudado por Saliby & Funchal (1987), o presente trabalho trata dessas duas dificuldades práticas.

No primeiro estudo, é analisado o efeito da blocagem de uma amostra descritiva na precisão das estimativas; entende-se por blocagem a divisão da amostra de entrada em subamostras descritivas. A blocagem tem por objetivo reduzir a exigência de memória numa simulação; seu efeito, no entanto, era ainda desconhecido.

O segundo estudo analisa o papel que pequenos erros na determinação do tamanho da amostra de entrada podem ter na eficiência estatística da amostragem descritiva. Estes erros têm origem na dificuldade, que certos problemas de simulação apresentam, em se estimar o tamanho da amostra de entrada, um pré-requisito para a utilização da amostragem descritiva.

2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA SIMULADO

O problema "Great Western Steel Corporation" (Vatter, P.A. et al, 1978) pode ser resumidamente descrito da seguinte forma :

A Great Western Steel Corporation operava duas docas em um porto da costa oeste dos Estados Unidos. Nelas eram descarregados em média 250 navios de minério de ferro por ano, vindos da Venezuela. Os navios eram aproximadamente do mesmo tipo e tamanho. Cada doca podia descarregar somente um navio por vez e o tempo requerido para essa descarga variava de 1.00 a 1.50 dias, conforme mostra a Tabela 1.

A jornada de trabalho era de 24 horas por dia, 7 dias por semana. Algumas vezes ocorria que um navio a caminho do porto encontrava as duas vagas ocupadas, tendo de esperar para ser descarregado; dificilmente, no entanto, isso demorava mais do que umas poucas horas.

Entretanto, uma nova usina siderúrgica estava sendo concluída, o que aumentaria a necessidade de minério de ferro e, conseqüentemente, a chegada de navios. Cerca de 500 carregamentos anuais seriam agora necessários e a gerência estava preocupada com a possibilidade de os navios, pelos quais a companhia pagava um aluguel de \$1400 por dia, terem de esperar um longo período de tempo para serem descarregados.

TABELA 1 - Distribuição de probabilidade dos tempos de descarga das docas.

Tempo de descarga dos navios (dias)	Percentagem de navios
1.00	4
1.04	9
1.08	18
1.13	13
1.17	10
1.21	5
1.25	4
1.29	4
1.33	6
1.38	8
1.42	11
1.46	6
1.50	2

Elaborou-se um estudo acerca da possibilidade de tornar mais regulares as chegadas dos navios, mas uma variedade de condições encontradas durante as viagens tornava isso impossível. Um estudo dos dados passados mostrava que a chegada dos navios era completamente imprevisível, sendo o tempo entre duas chegadas consecutivas, para o novo tráfego previsto, dado pela distribuição exponencial com média de $365 / 500 = 0.73$ dias.

Outra opção seria a construção de mais uma doca nas proximidades, semelhante às existentes, que custaria cerca de \$1.3 milhões. A vida útil das novas instalações foi estimada em 25 anos e sua manutenção custaria \$28000 por ano. A política da companhia era de não fazer investimento sobre o qual ela não recebesse um retorno de 15% ao ano, depois dos impostos.

Necessitava-se, portanto, saber qual alternativa seria melhor: construir uma terceira doca ou operar com as 2 docas existentes e pagar mais aluguel pela espera dos navios.

Para o estudo da viabilidade econômica da construção da terceira doca necessitava-se determinar o tempo médio de espera dos navios considerando-se os dois casos : 2 e 3 docas, o que foi resolvido por simulação.

O problema foi simulado em um microcomputador de 16 bits, com clock de 4.77 MHz, sem processador aritmético e utilizando-se linguagem TURBO-PASCAL.

3. AMOSTRAGEM DESCRITIVA EM SUA UTILIZAÇÃO NORMAL

Para se comparar o desempenho do porto operando com 2 e 3 docas, adotou-se o seguinte procedimento :

a) um experimento de simulação foi definido por $M = 100$ corridas independentes com duração de 5 anos. Esses valores foram estabelecidos atendendo-se ao compromisso entre o tempo de processamento e uma duração suficiente para que o sistema atinja condições de estacionaridade;

b) em cada corrida foi levantada a seguinte estatística :

* tempo médio de espera dos navios (\overline{TE});

c) Sintetizando os resultados do experimento, foram calculadas as seguintes estatísticas globais :

* média dos $M = 100$ tempos médios de espera (\overline{TE});

* variância dos $M = 100$ tempos médios de espera ($\text{Var}(\overline{TE})$) que serve como medida de precisão da estimativa;

Quanto à geração das amostras descritivas, adotou-se o seguinte procedimento :

a) a amostra descritiva para os tempos entre chegadas (TEC), para cada corrida, foi definida por 2500 valores deterministicamente selecionados. Isso

corresponde às 500 chegadas de navios/ano durante 5 anos.

Os valores referentes às 2500 observações da distribuição de chegada (exponencial, com média 0.73 dias) foram definidos segundo a fórmula :

$$TEC_i = - 0.73 \times \text{LN}[(i - 0.5)/2500], \quad i=1, \dots, 2500, \quad (1)$$

que corresponde à aplicação do método da transformada inversa para a geração de amostras descritivas (Saliby, 1988);

- b) a amostra descritiva, para os tempos de descarga (TD), foi também definida por 2500 valores deterministicamente selecionados, conforme se vê na Tabela 2. Note-se que as frequências relativas de cada valor são iguais às respectivas probabilidades apresentadas na Tabela 1.

Os resultados globais obtidos com a amostragem descritiva são mostrados na Tabela 3.

A avaliação da eficiência da amostragem descritiva em relação à amostragem aleatória simples (AAS) para esse problema foi estudada por Saliby & Funchal (1987).

TABELA 2 - Valores que compõem uma amostra descritiva dos tempos de descarga das docas.

TD (dias)	Quantidade de valores TD na amostra descritiva	Frequência relativa
1.00	100	0.04
1.04	225	0.09
1.08	450	0.18
1.13	325	0.13
1.17	250	0.10
1.21	125	0.05
1.25	100	0.04
1.29	100	0.04
1.33	150	0.06
1.38	200	0.08
1.42	275	0.11
1.46	150	0.06
1.50	50	0.02
Total	2500	1.00

TABELA 3 - Resultados globais obtidos com a AD (M = 100 corridas de 5 anos).

Número de docas	\overline{TE}	Var(\overline{TE})
2	1.401	0.03759
3	0.150	0.00021

4. AMOSTRAGEM DESCRITIVA COM BLOCAGEM COMPLETA

O uso de subamostras descritivas, proposto por Saliby (1988), tem por finalidade reduzir a exigência de memória. Entretanto, esse procedimento, a que se denominou "blocagem", deve ser utilizado com cautela uma vez que pode levar a resultados distorcidos. A blocagem consiste em dividir uma amostra descritiva em várias subamostras. Para teste desse procedimento foram realizados experimentos nos moldes do Item 3., com as subamostras descritivas geradas da seguinte forma :

a) blocagem dos tempos entre chegadas dos navios

Dado que a amostra dos tempos entre chegadas é composta de 2500 valores, foram utilizadas subamostras descritivas com blocagens $BC = 100, 500$ e 2500 valores, isto é, dividindo a amostra em respectivamente 25, 5 e 1 conjuntos. As blocagens definem o tamanho das subamostras descritivas.

Os valores dos tempos entre chegadas foram então definidos pela fórmula :

$$TEC_i = - 0.73 \times \text{LN}[(i - 0.5)/BC], \quad i = 1, \dots, BC, \quad (2)$$

$$BC = 100, 500 \text{ e } 2500.$$

Em cada corrida foram utilizadas $2500/BC$ subamostras descritivas;

b) blocagem dos tempos de descarga das docas

A semelhança dos tempos entre chegadas utilizou-se blocagens dos tempos de descarga com $BD = 100, 500$ e 2500 valores.

Dessa forma, os valores TD para os tempos de descarga foram definidos conforme a Tabela 4. Também, em cada corrida, foram utilizadas $2500/BD$ subamostras descritivas.

TABELA 4 - Valores que compõem uma subamostra descritiva dos tempos de descarga das docas ($BD = 100, 500$ e 2500).

TD (dias)	Quantidade de valores TD na amostra descritiva	Frequência relativa
1.00	$0.04 \times BD$	0.04
1.04	$0.09 \times BD$	0.09
1.08	$0.18 \times BD$	0.18
1.13	$0.13 \times BD$	0.13
1.17	$0.10 \times BD$	0.10
1.21	$0.05 \times BD$	0.05
1.25	$0.04 \times BD$	0.04
1.29	$0.04 \times BD$	0.04
1.33	$0.06 \times BD$	0.06
1.38	$0.08 \times BD$	0.08
1.42	$0.11 \times BD$	0.11
1.46	$0.06 \times BD$	0.06
1.50	$0.02 \times BD$	0.02
Total	$1.00 \times BD$	1.00

A Tabela 5 mostra os resultados globais obtidos com todas as combinações de blocagens BC e BD. Note-se que BC = BD = 2500 corresponde aos experimentos descritos no item 3., que servem como padrão de comparação para as demais blocagens.

A partir dos resultados da Tabela 5 verifica-se que :

- a) com BD = 2500 e BC = 100 e 500 as variâncias foram menores, mas as estimativas foram tendenciosas. Levando esse viés em consideração, a precisão relativa das estimativas (Precisão_{BC} , BC = 100 e 500) em relação à obtida com BC = 2500, é dada pela relação :

$$\text{Precisão}_{BC} = \frac{[(\overline{TE}_{BC} - \overline{TE}_{2500})^2 + \text{Var}(\overline{TE})_{BC}]}{\text{Var}(\overline{TE})_{2500}}, \quad BC = 100 \text{ e } 500. \quad (3)$$

A Tabela 6 mostra os resultados dessa precisão relativa para BC = 100 e 500. Observa-se que a blocagem BC = 100, para o caso de 2 docas, é inaceitável porque prejudicou sensivelmente a precisão da estimativa. As demais blocagens produziram resultados satisfatórios;

- b) com BC = 2500 e BD = 100 e 500 as variâncias foram aproximadamente as mesmas e as estimativas não apresentaram viés. Explica-se isso pelo fato de que os valores TD têm pequena variação relativa, isto

é, o maior valor (1.5 dias) é apenas 50 % maior que o menor valor (1.0 dia);

TABELA 5 - Resultados globais obtidos com a AD (M = 100 corridas de 5 anos) e blocagem dos tempos entre chegadas (BC) e dos tempos de descarga (BD).

Número de docas	BC	BD	\overline{TE}	Var(\overline{TE})
2	100	100	1.125	0.00727
	100	500	1.111	0.00804
	100	2500	1.123	0.00999
	500	100	1.312	0.02335
	500	500	1.324	0.01983
	500	2500	1.320	0.02027
	2500	100	1.403	0.03310
	2500	500	1.394	0.03356
	2500	2500	1.401	0.03759
3	100	100	0.140	0.00011
	100	500	0.141	0.00012
	100	2500	0.139	0.00011
	500	100	0.149	0.00018
	500	500	0.149	0.00014
	500	2500	0.148	0.00016
	2500	100	0.149	0.00015
	2500	500	0.152	0.00021
	2500	2500	0.150	0.00021

TABELA 6 - Precisão relativa das estimativas em relação à blocagem BC = 2500, obtida a partir dos resultados da Tabela 5 (BD = 2500).

Número de docas	BC	Precisão
2	100	2.32
	500	0.71
3	100	1.10
	500	0.78

c) portanto, somente a blocagem dos tempos entre chegadas (BC) é que de fato alterou os resultados da simulação em relação à blocagem padrão (BC = BD = 2500).

Assim, vê-se que certas blocagens poderiam ser utilizadas, como por exemplo BC = 500 e BD = 100; isto proporcionaria uma economia de memória para a geração das amostras descritivas da ordem de 88 %, em relação à amostragem descritiva com blocagem padrão (BC = BD = 2500).

Cabe observar que, até agora, foram estudadas blocagens completas, abrangendo tanto o conjunto como sua seqüência. Por exemplo, com BC = 100, um conjunto de 100 valores descritivos para os tempos entre chegadas e uma nova permutação aleatória são utilizados a cada bloco de 100 valores de entrada.

A blocagem do conjunto corresponde a uma discretização da variável de entrada. Assim, no caso da distribuição exponencial, as blocagens $BC = 100$ e 500 resultaram em maior distorção de conjunto que a blocagem padrão $BC = 2500$. Entretanto, sendo os tempos de descarga definidos por uma distribuição discreta com probabilidades percentuais, as blocagens $BD = 100, 500$ e 2500 não resultaram em distorção de conjunto.

A blocagem de seqüência é resultante do fato de que a utilização das várias subamostras descritivas, em cada corrida, é feita seqüencialmente. Por exemplo, considerando $BC = 100$, define-se uma subamostra de 100 valores a partir da relação (2). No processo de amostragem são escolhidos aleatoriamente, e sem reposição, cada um dos valores desta subamostra até se completar as 100 primeiras observações. As 100 observações subseqüentes da amostra (de 101 a 200) são também assim geradas, usando-se o mesmo conjunto de 100 valores da subamostra, porém numa nova permutação. Esse processo se repete até que as 2500 observações da amostra sejam geradas. Dessa forma utiliza-se, em cada corrida, $2500/100 = 25$ subamostras compostas dos mesmos 100 valores, em diferentes permutações.

5. AMOSTRAGEM DESCRITIVA COM BLOCAGEM APENAS DE CONJUNTO PARA OS TEMPOS ENTRE CHEGADAS

A blocagem completa (conjunto e seqüência) dos tempos entre chegadas BC = 100 para o caso de 2 docas, levou a estimativas tendenciosas. Mas, seria essa distorção consequência da discretização da distribuição (blocagem de conjunto), da blocagem de seqüência ou de ambos os fatores? Para responder a essa pergunta, foram realizados experimentos com blocagem apenas do conjunto de valores de entrada. Esse procedimento será descrito a seguir.

As amostras descritivas para os tempos entre chegadas foram compostas por NConjC = 1, 5, 25, 50, 125 e 250 conjuntos com, respectivamente, BConjC = 2500, 500, 50, 20 e 10 observações da distribuição de chegada. Assim, NConjC (número de conjuntos dos tempos entre chegadas) representa o número de conjuntos iguais utilizados em uma corrida, enquanto que BConjC (blocagem de conjunto dos tempos entre chegadas) representa o tamanho de cada um desses conjuntos. Dessa forma, os 2500 valores TEC foram definidos segundo a expressão :

$$TEC_{i,j} = - 0.73 \times \text{LN}[(i - 0.5)/BConjC],$$

$$i = 1, \dots, BConjC, \quad j = 1, \dots, NConjC, \quad (4)$$

onde

$$BConjC = 2500, 500, 100, 50, 20 \text{ e } 10;$$

$$NConjC = 1, 5, 25, 50, 125 \text{ e } 250;$$

$$BConjC \times NConjC = 2500.$$

Sendo a blocagem restrita ao conjunto, a permutação aleatória de cada corrida foi feita sempre com base nos 2500 valores definidos pela expressão (4).

Os valores das amostras descritivas para os tempos de descarga (TD) foram definidos conforme a Tabela 2 (BD = 2500).

A Tabela 7 mostra os resultados globais obtidos nesses experimentos. Note-se que BConjC = 2500 corresponde aos experimentos descritos no item 3.

TABELA 7 - Resultados globais obtidos com a AD (M = 100 corridas de 5 anos) e blocagem de conjunto da distribuição dos tempos entre chegadas.

=====				
Número de docas	BConjC	NConjC	\overline{TE}	Var(\overline{TE})

2	10	250	1.469	0.03450
	20	125	1.468	0.03905
	50	50	1.377	0.02907
	100	25	1.401	0.03560
	500	5	1.395	0.03521
	2500	1	1.401	0.03759
3	10	250	0.152	0.00018
	20	125	0.152	0.00020
	50	50	0.151	0.00020
	100	25	0.151	0.00018
	500	5	0.151	0.00016
	2500	1	0.150	0.00021
=====				

Observa-se da Tabela 7 que mesmo as blocagens de conjunto mais grosseiras ($BConjC = 10$ e 20) produziram resultados bastante satisfatórios. Conclui-se, portanto, que a blocagem de conjunto não produz, neste caso, qualquer alteração de relevância no resultado das estimativas. Conseqüentemente, a causa das distorções observadas no item 4., com blocagens completas, reside unicamente na blocagem de seqüência.

A blocagem de conjunto pode levar também a substanciais ganhos de tempo computacional, uma vez que a geração dos 2500 valores amostrais poderia ser reduzida, por exemplo, para 100. Os demais 2400 valores seriam definidos por outros 24 conjuntos iguais aos 100 valores inicialmente gerados. Dessa forma, a geração dos valores amostrais seria reduzida em 96 %.

A Tabela 8 mostra os tempos de inicialização - ocasião em que são gerados os valores descritivos - para as diversas blocagens de conjunto.

Verifica-se, a partir dos dados da Tabela 8, que com $BConjC = 100$ o tempo de inicialização reduziu-se em 93 % em relação ao uso direto da amostragem descritiva ($BConjC = 2500$). Essa redução é de particular importância quando se tiver experimentos com poucas corridas de longa duração.

TABELA 8 - Tempos de inicialização gastos com a AD (M = 100 corridas de 5 anos) e blocagem de conjunto da distribuição de chegada.

Número de docas	BConjC	NConjC	Tempo de inicialização (segundos)
2	10	250	1.76
	20	125	1.70
	50	50	2.69
	100	25	3.41
	500	5	11.26
	2500	1	48.72
3	10	250	1.76
	20	125	2.03
	50	50	2.42
	100	25	3.46
	500	5	11.10
	2500	1	49.16

6. VARIACÃO DO TAMANHO DAS AMOSTRAS DESCRITIVAS

Os experimentos anteriores foram realizados com amostras descritivas compostas de 2500 valores, número esse correspondente à média de chegadas dos navios em 5 anos. Vale lembrar que, no caso da blocagem completa, os tamanhos das subamostras eram sempre submúltiplos de 2500, ou seja, 100, 500 e 2500 observações. Isso permitiu que a última subamostra utilizada em uma corrida fosse praticamente esgotada, tornando as médias das amostras de entrada muito próximas das médias das distribuições representadas.

Até o presente momento, o tamanho da amostra de entrada (N), que corresponde ao número de observações efetivamente utilizadas numa corrida, foi de fácil determinação ($N = 2500$). Sendo conhecido o tamanho da amostra de entrada, o tamanho da amostra descritiva (TAD) - que serve de base para a geração do conjunto de valores descritivos - é automaticamente definido como $TAD = N$.

No entanto, em alguns casos, o tamanho da amostra de entrada (N) é difícil ou até mesmo impossível de determinar a priori. Nestes casos, define-se TAD a partir de uma estimativa de N , podendo ocorrer erros nesta determinação. Para avaliar a influência deste tipo de erro no desempenho da amostragem descritiva, foram realizados experimentos com tamanhos das amostras descritivas dos tempos entre chegadas $TADC = 2000, 2500$ e

3000 (variação de 20 % em torno do valor ideal) e, da mesma forma, para o tamanho da amostra descritiva dos tempos de descarga, TADD = 2000, 2500 e 3000.

Observe-se que TADC = TADD = 2500 corresponde aos experimentos vistos no item 3., que são aqui mostrados novamente para comparação com os demais valores de TADC e TADD.

Os valores TEC das amostras descritivas dos tempos entre chegadas e de tamanhos TADC = 2000, 2500 e 3000, foram definidas por :

$$TEC_i = - 0.73 \times \text{LN}[(i - 0.5)/TADC], \quad i = 1, \dots, TADC. \quad (5)$$

Os valores TD das amostras descritivas dos tempos de descarga e de tamanhos TADD = 2000, 2500 e 3000 foram obtidos fazendo-se, na Tabela 4, BD = 2000, 2500 e 3000 respectivamente.

Os resultados desses experimentos constam na Tabela 9.

Observa-se, da Tabela 9, que a variação de 20 % no tamanho das amostras descritivas não alterou significativamente os resultados da simulação. Esse fato permite concluir que pequenas diferenças entre o tamanho das amostras descritivas (TAD) e o número de observações utilizadas em uma corrida, ou seja, o tamanho das amostras de entrada (N), não traz problemas para a

amostragem descritiva. Maiores detalhes a respeito desse estudo são encontrados em Funchal (1987).

TABELA 9 - Resultados globais obtidos com a AD (M = 100 corridas de 5 anos) e com variação de 20 % no tamanho das amostras descritivas.

Número de docas	TADC	TADD	\overline{TE}	Var(\overline{TE})
2	2000	2000	1.371	0.03233
	2000	2500	1.410	0.03824
	2000	3000	1.408	0.03278
	2500	2000	1.371	0.02554
	2500	2500	1.401	0.03759
	2500	3000	1.402	0.03659
	3000	2000	1.355	0.02865
	3000	2500	1.408	0.03421
3	3000	3000	1.370	0.03503
	2000	2000	0.152	0.00023
	2000	2500	0.152	0.00015
	2000	3000	0.152	0.00020
	2500	2000	0.152	0.00013
	2500	2500	0.150	0.00021
	2500	3000	0.150	0.00020
	3000	2000	0.148	0.00015
3000	2500	0.151	0.00022	
3000	3000	0.150	0.00014	

6. CONCLUSOES

A blocagem, como recurso para a redução da exigência de memória com a amostragem descritiva, mostrou-se eficaz. No entanto, em se tratando de uma distribuição de probabilidades como a exponencial, a blocagem completa pode resultar em distorções nas estimativas; como visto, tais distorções decorrem da blocagem de seqüência apenas. Assim sendo, pode-se imaginar um método para a geração de amostras descritivas que, utilizando apenas a blocagem de conjunto, reduza esta exigência de memória.

Já o uso da blocagem completa deve ser precedido de uma análise mais cuidadosa do problema e, de preferência, fazendo-se testes com diferentes blocagens. Como visto, o tipo de distribuição de probabilidades, é também um importante fator a ser considerado.

Com relação à determinação do tamanho da amostra de entrada, os resultados foram mais conclusivos. Viu-se que erros da ordem de 20 % praticamente não afetaram a qualidade dos resultados. Por outro lado, fazendo-se corridas piloto, pode-se estimar o tamanho destas amostras com uma margem de erro inferior a esta. Assim sendo, essa dificuldade pode ser facilmente contornada na prática.

BIBLIOGRAFIA

FUNCHAL, G. Aplicação da amostragem descritiva na simulação de sistemas não elementares. Rio de Janeiro, Instituto Militar de Engenharia, 1987. Tese de Mestrado.

PIDD, M. Computer simulation in management science. Chichester, J. Wiley, 1984.

SALIBY, E. A reappraisal of some simulation fundamentals. Lancaster, Universidade de Lancaster, 1980. Tese de Doutorado.

_____ Repensando a simulação : a amostragem descritiva. São Paulo, Atlas/EDUFRJ, 1988.

_____ Uma revisão dos fundamentos da simulação : o uso incorreto de amostragem aleatória simples. Pesquisa Operacional, 2 (2) : 1 - 16, 1982.

_____ & FUNCHAL, G. Estudo da eficiência da amostragem descritiva na simulação de um problema de filas. Rio de Janeiro, COPPEAD/UFRJ, 1987. (Relatório Técnico, 110).

VATTER, P.A. et al. Quantitative methods in management : text and cases. Homewood, Irwin, 1978.