

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS DADOS DE ENTRADA, EM UM MODELO DE SIMULAÇÃO DE UMA LINHA DE PRODUÇÃO SEMI-AUTOMÁTICA

Ana Paula Kiguti Muniz

Anna Cristina Barbosa Dias de Carvalho

Arthur José Vieira Porto

Ricardo Yassuchi Inamasu

Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia Mecânica, 13560-190, São Carlos, SP, Brasil. E-mail: apkmuniz@uol.com.br

RESUMO

Nos dias atuais, a simulação é uma técnica e/ou ferramenta que tem auxiliado as empresas a melhorar seus processos produtivos. Pode ser compreendida como um projeto complexo que se divide em diversas etapas para a elaboração. Entre as quais se encontra a modelagem dos dados de entrada. O processo de modelagem tem despertado, cada vez mais a atenção dos profissionais, devido a sua influência sobre os resultados de um modelo. Atualmente existem sofisticados *softwares* estatísticos capazes de auxiliar na modelagem dos dados. No entanto, mesmo nestes *softwares*, a ausência de dados compromete na seleção de uma distribuição de probabilidade representativa para a variável. Este trabalho tem como objetivo avaliar e ressaltar a importância da modelagem dos dados de entrada, através de experimentos aplicados no modelo de simulação. O modelo de simulação avaliado é uma linha de produção semi-automática.

Palavras-chave: modelagem de dados, simulação, linha de produção semi-automática

1. INTRODUÇÃO

A crescente concorrência industrial tem levado as empresas à buscar continuamente melhorias em seus processos produtivos, de modo a aumentar a qualidade de seus produtos, a um baixo custo. Uma ferramenta que tem auxiliado a atingir estes objetivos com maior rapidez é a simulação.

Uma simulação é uma técnica e/ou ferramenta que permite obter conclusões sobre o comportamento de um sistema, através da análise do comportamento de um modelo. Fornecendo ao usuário um conhecimento antecipado dos efeitos que futuras ações e/ou modificações podem vir a gerar sobre o sistema em estudo. De um modo geral, a simulação pode ser compreendida como um projeto complexo, que pode ser sistematizado em diversas etapas para ser elaborado (MUNIZ & CARVALHO, 1998).

Embora o planejamento sistematizado seja de grande auxílio na elaboração de um modelo de simulação, deve-se ressaltar que não existem garantias de que o projeto seja um sucesso. Isto ocorre devido a existência de diversos fatores que influenciam na elaboração do modelo, que vão desde o tipo de *software* selecionado, habilidade do modelador e/ou equipe responsável, tipo de dados utilizados no projeto, procedimentos de análise dos resultados,

entre outros. Além disto, deve-se considerar que um projeto de simulação é uma solução entre diversas outras existentes, podendo portanto ser sempre melhorado.

LAW & KELTON(1991) e ANNINO & RUSSELL(1981) citam alguns erros comuns que podem ser evitados, para aumentar as chances de sucesso em um projeto de simulação. Entre estes, pode-se citar o uso indevido de uma distribuição de probabilidade para representar o comportamento de uma variável. O processo que especifica a distribuição de probabilidade, que irá representar uma variável em um modelo é denominado de modelagem estatística dos dados de entrada.

A importância da modelagem dos dados se concentra no fato de que, ao implementar uma distribuição de probabilidade que não represente o comportamento de uma variável, todos os resultados do modelo de simulação ficarão comprometidos. Ou seja, dados de entrada não confiáveis geram resultados não confiáveis, afetando desta forma a confiabilidade do modelo. E conseqüentemente nas decisões baseadas no estudo de simulação. INGELS *apud* LOBÃO & PORTO (1997), ressalta este fato pelo seguinte axioma: “entra lixo, sai lixo”.

Este artigo tem como objetivo avaliar a influência dos dados de entrada no estudo de simulação, através de experimentos realizados em um modelo de simulação. O modelo de simulação avaliado é uma linha de produção semi-automática que possui 2 estações de processamento, 1 estação de inspeção e 1 *buffer* para cada estação. Neste experimento foi admitido que a simulação é do tipo terminativa.

2. DESCRIÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

Neste modelo, o estudo de simulação tem como objetivo verificar e analisar a variação, que pode ocorrer na capacidade de produção do sistema, quando a distribuição do conjunto de dados de entrada é alterada. Para isto, foi considerado que o sistema modelado se encontra em fase de projeto, ou seja, não está implementado. Este fato resulta na impossibilidade de se realizar a coleta de dados, para as variáveis que serão implementadas no modelo. Deste modo, a modelagem de dados é realizada com a aplicação de distribuições de probabilidade hipotéticas, obtidas de fontes secundárias, sobre o comportamento de cada variável. Ou seja, não possuem uma grande acuracidade.

O modelo de simulação em estudo é uma linha de produção semi-automática, composta por 3 estações de trabalho. A FIGURA 2.1 apresenta o layout do sistema. A primeira estação, denominada grupo de máquinas 1, é composto por 3 máquinas idênticas (*cpmaq11, cpmaq12 e cpmaq13*), cujo tempo de processamento de cada máquina é uma distribuição Gamma (2;0,25) minutos. A estação 2, denominada grupo de máquinas 2, é composta por 2 máquinas idênticas (*cpmaq21 e cpmaq22*), cujo tempo de processamento é uma distribuição Gamma (2;0,05) minutos. E a estação 3, uma estação de inspeção (*cpinsp1 e cpinsp2*), possui 2 operários, que trabalham conforme uma distribuição triangular (0,3;1,2). O modelo ainda possui 10 AGVS, 7 esteiras e 3 *buffers* (*cpb1, cpb2 e cpb3*) com capacidade de 10 peças.

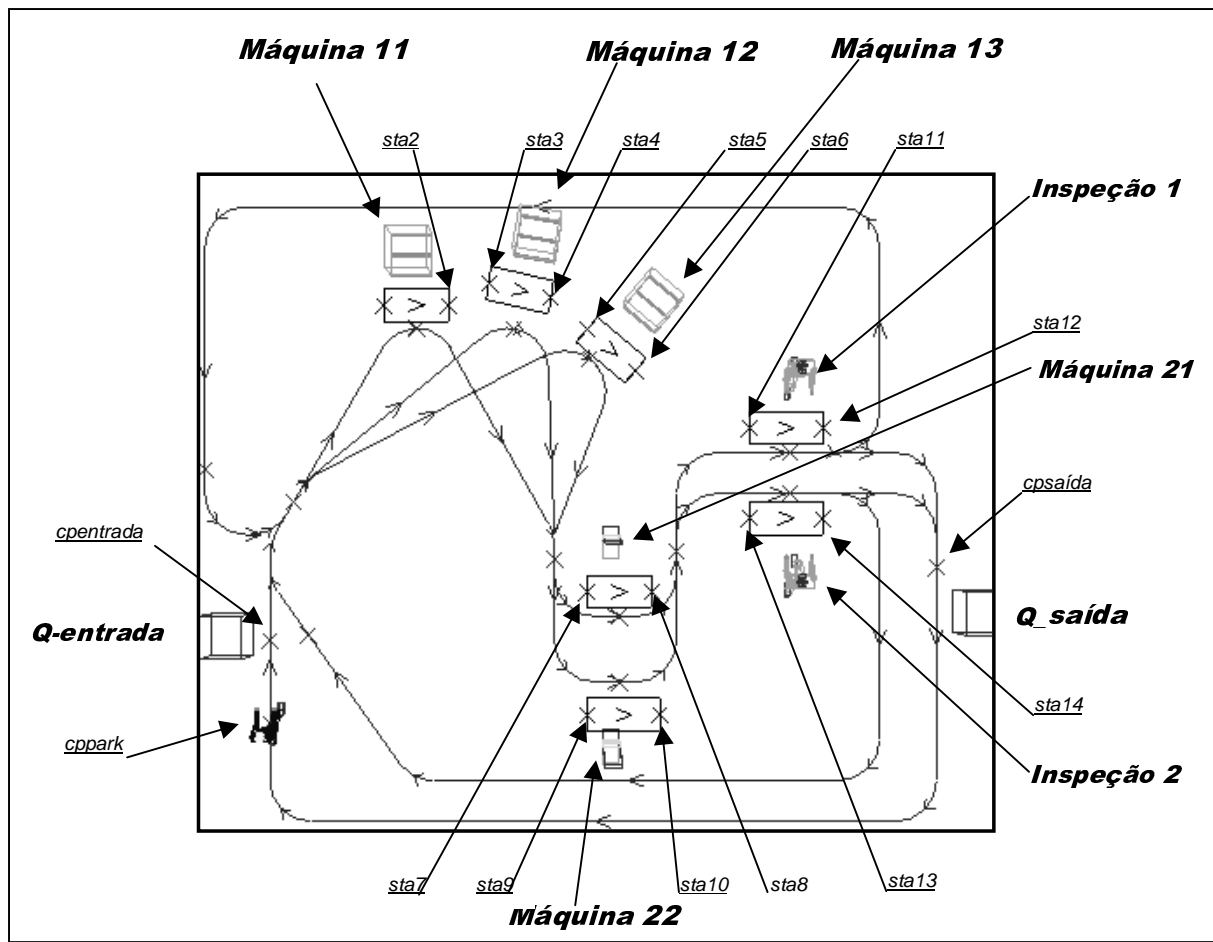


FIGURA 2.1 – Layout da Linha de Produção

O sistema trabalha com um turno diário de 8 horas. A simulação foi corrida no período de 2 meses, ou seja, 480 horas. O modelo foi implementado no *software AUTOMOD* (AUTOSIMULATIONS, 2000). O sistema opera da seguinte forma, as cargas que são geradas infinitamente em *Q_entrada*, chegam no sistema por *cpentrada*, se esta estação estiver desocupada. Caso *cpentrada* esteja ocupado, a carga fica aguardando sua liberação. Em *cpentrada*, a lista de ordens da simulação avança para o programa *PB1*, que verifica se o *buffer cpb1* possui capacidade para receber novas cargas. Se $cpb1 \geq 10$, a carga aguarda a liberação deste *control point*. Caso $cpb1 < 10$, a carga é deslocada até este *control point*, iniciando o programa *PV1*. Este programa, verifica a existência de máquinas livres no grupo de máquinas 1. Se todas as máquinas estiverem ocupadas, a carga fica novamente aguardando a liberação de uma máquina livre para se locomover. Quando existir alguma máquina livre, a carga é deslocada para o respectivo *control point* desocupado. A peça então é movida para a esteira, onde é processada de acordo com a distribuição Gamma (2,0,25) minutos. Ao término deste processo, a lista de ordens da simulação vai para o programa *PB2*, que de forma idêntica a *PB1*, verifica a capacidade do *buffer cpb2* de receber novas cargas. Se *cpb2* estiver livre, as cargas são deslocadas para este *control point* e a lista de ordens da simulação é direcionada para o programa *PV2*. Este programa, idêntico a *PV1*, verifica a existência de máquinas livres no grupo de máquinas 2. Caso todas as máquinas estejam ocupadas, a carga fica esperando a liberação de pelo menos uma das máquinas deste grupo. Existindo alguma máquina livre no grupo 2, a carga é deslocada até o respectivo *control point* desocupado. A peça então é deslocada para a esteira, onde é processada conforme uma distribuição Gamma (2;0,05)

minutos. Novamente, a lista de operações da simulação é direcionada para o programa seguinte, *PB3*. Que de forma análoga aos outros programas dos *buffers*, verifica a capacidade de *cpb3* de receber novas cargas. Identicamente aos outros processos, a carga é deslocada para *cpb3* somente quando este *control point* estiver desocupado. De *PB3*, a simulação segue para o programa *PV3*, que desloca a carga para o operário em *cpinsp1* ou em *cpinsp2*, se estiver livre. No processo de inspeção, 90% das cargas são aceitas e tem seu processos finalizados. E portanto saem do sistema em estudo, em *cpsaída*. Enquanto 10% são rejeitadas e são reprocessadas. As cargas rejeitadas por *cpinsp1*, são enviadas para *cpesp1*. Enquanto que as cargas rejeitadas por *cpinsp2*, são enviadas para *cpesp2*. Em *cpinsp1* e *cpinsp2*, a simulação segue para *PB1*, iniciando novamente o processamento da carga.

Ressalta-se a existência de 3 prioridades de operações no decorrer do processamentos das cargas no modelo. A primeira delas ocorre no programa *PENTRADA*. A carga em *cpentrada* só é enviada para *cpb1* se *cpesp1* e *cpesp2* estiverem desocupados. Esta prioridade foi definida, devido ao fato de que as peças para serem reprocessadas, em geral são mais rápidas para atingir a finalização do seu processo do que as novas peças que entram no sistema. No entanto, com a finalidade de facilitar nossos estudos, as peças são reprocessadas com o mesmo tempo de processamento de uma nova peça que entra no sistema. A segunda prioridade que ocorre em *PESP1* e *PESP2*, determina que uma carga que se encontra em *cpesp1* só é disparada para *cpb1*, se *cpesp2* estiver desocupado. De forma idêntica, uma carga em *cpesp2* só é enviada para *cpb1*, se *cpesp1* estiver desocupado. Assim, quando uma carga ao se deslocar para *cpesp1* e encontrar *cpesp2* ocupado, esta carga ficará aguardando a liberação de *cpesp2* para prosseguir para *cpb1*. O mesmo ocorre para uma carga que se desloca para *cpesp2* e encontra *cpesp1* ocupado. Esta prioridade foi criada para ordenar o deslocamento das cargas para *cpesp1* e outra para *cpesp2*. Garantindo desta forma que a primeira carga que alcançar o *control point* de espera, irá iniciar o reprocessamento primeiro. A última prioridade, também definida em *PESP1* e *PESP2*, e é executada em *PINSP*, consiste em garantir que uma carga reprocessada não seja reprocessada novamente, enviando-a para *cpsaída*.

O tempo de carregamento e descarregamento da carga para cada máquina está incluído no tempo de processamento. Em *PSAIDA*, foi criado um programa para armazenar o tempo de espera de cada carga, diante de cada recurso, assim como o tempo de utilização dos recursos. Este programa ainda, visando facilitar a análise dos resultados, calcula o tempo médio de fila do sistema para cada um dos recursos, tanto quanto o tempo médio de utilização. Além de fornecer o número de cargas que são processadas no período do estudo de simulação.

3. PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE DOS RESULTADOS GERADOS PELO MODELO DE SIMULAÇÃO

O modelo de simulação analisado é do tipo terminativo, visto que, existe um tempo limite para o tamanho da corrida de simulação. Para este estudo, foi considerado que o estado inicial do sistema é vazio, o sistema a ser modelado se encontra em fase de projeto, e a simulação é corrida sob condições iniciais idênticas.

Devido ao fato de o sistema em estudo não estar implementado, para avaliar os efeitos que a distribuição dos dados de entrada possui sobre os resultados de um modelo de simulação, inicialmente foi considerada uma distribuição hipotética para representar estes dados no modelo. A distribuição de probabilidade considerada, que foi selecionada com base na teoria do processo de Poisson (BANKS *et al.*,1996) é a distribuição exponencial com parâmetro $\lambda = 0,1$ (10 cargas por minuto). Este parâmetro foi definido à partir do estudo de simulação, de um modelo teórico de um sistema de manufatura.

Desta forma, admitindo a distribuição Exponencial(0,1) como a distribuição ideal para representar os dados de entrada no modelo, utilizou-se o *software* estatístico *EXPERTFIT*, para gerar um conjunto de dados, à partir desta distribuição. Com a finalidade de determinar para os dados gerados, um *rank* de distribuições de probabilidade que pudessem representar os dados de entrada no modelo.

Para determinar este *rank* de distribuições, foi gerado um total de 30 amostras com 900 dados. O *rank* de distribuições selecionado foi aquele que forneceu o parâmetro λ mais próximo de 0,1 da distribuição Exponencial admitida como ideal. Para avaliar a influência do “*input*” dos dados de entrada, no modelo de simulação, foram selecionadas as seguintes distribuições de probabilidade :

Exponential (0,09846)	2° Colocada no rank
Gamma (0,99053;0,09940)	3° Colocada no rank
Weibull (0,99358;0,09819)	4° Colocada no rank
Lognormal (-2,901543; 1,292922)	15° Colocada no rank

Além destas distribuições será também avaliada a distribuição Weibull (0,5;1), e a constante igual a 10 peças/minuto, que não se encontram no *rank* de distribuições. Pretende-se com isto ressaltar as diferenças que podem ocorrer ao selecionar uma distribuição que não fornece uma boa representação. Deve-se ressaltar que o *software* de simulação *AUTOMOD* possui somente as distribuições de probabilidade Constante, Uniforme, Normal, Triangular, Exponencial, Lognormal, Gamma e Weibull para serem implementadas diretamente no modelo, portanto, estas distribuições são mais aplicadas. Para implementar qualquer outra distribuição neste *software* é necessário criar um programa lógico para o modelo.

A simulação foi executada num total de 10 replicações, para cada uma das distribuições selecionadas. O método aplicado para estimar os resultados, foi o método das replicações independentes. Ou seja, foi utilizado um conjunto de “*stream*” diferente em cada replicação, garantindo desta forma a independência entre as replicações.

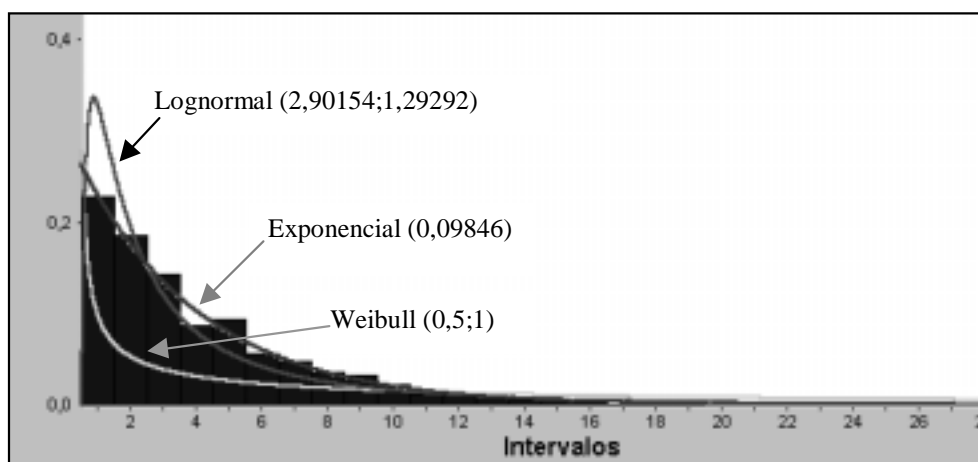
Para comparar os resultados gerados do modelo de simulação, foi aplicado a proposta da amostra correlacionada (LAW & KELTON,1991)

4. RESULTADOS

Para avaliar se as distribuições Exponencial (0,09846), Gamma (0,99053;0,09940), Weibull (0,99358;0,09819), Lognormal (-2,901543; 1,292922) e Weibull (0,5;1) são representativas ao conjunto de dados de entrada, foram aplicados os seguintes testes de ajuste pelo *software* *EXPERTFIT*: Teste de Anderson-Darling, Teste de Kolmogorov-Smirnov e Teste do Qui-quadrado.

De acordo com os testes de ajuste aplicados nas distribuições selecionadas, pode-se observar que a distribuição Lognormal (-2,90154; 1,29292) e Weibull (0,5;1) são rejeitadas, ou seja, não fornecem uma boa representação para o conjunto de dados. Este fato pode ser comprovado pela FIGURA 4.1 apresenta o ajuste destas distribuições para o conjunto de dados gerados.

FIGURA 4.1 – Histograma com o ajuste das distribuições selecionadas para avaliação



Ainda analisando visualmente o histograma da FIGURA 4.1, pode-se observar que as distribuições Gamma (0,09940; 0,99053) e Weibull (0,09819;0,99358) apresentam um comportamento semelhante à Exponencial(0,09846). Enquanto que a distribuição Lognormal (2,90154; 1,29292) e Weibull (0,5;1) se encontram bem distantes do comportamento da variável.

Para avaliar a influência destas distribuições no modelo, considere os resultados gerados pela simulação em cada uma das replicações (TABELA 4.1).

TABELA 4.1 – Resultados do modelo de simulação

NUMERO DE PEÇAS PRODUZIDAS NO SISTEMA EM CADA REPLICAÇÃO						
	EXP 1	EXP 2	EXP 3	EXP 4	EXP 5	EXP 6
REPLICACAO 1	674,00	677	677	433	673	80
REPLICACAO 2	669,00	680	669	409	669	80
REPLICACAO 3	670,00	678	670	421	671	80
REPLICACAO 4	668,00	664	668	424	668	80
REPLICACAO 5	689,00	669	689	339	689	80
REPLICACAO 6	675,00	673	675	325	675	80
REPLICACAO 7	677,00	677	677	374	677	80
REPLICACAO 8	671,00	677	671	378	671	80
REPLICACAO 9	685,00	668	685	333	674	80
REPLICACAO 10	674,00	680	674	452	674	80
MÉDIA	675,20	674,3	675,5	388,80	674,1	80
VARIANCIA	47,51	30,67777778	47,61111111	2070,178	34,988	0

Onde: EXP1: Exponencial (0,09846) EXP4: Weibull(0,5;1)
 EXP2: Gamma(0,09940;0,99053) EXP5: lognormal(-2,90154;1,29292)
 EXP3: Weibull(0,09819;0,99358) EXP6: constante 10 peças/minuto

De acordo com os resultados apresentados na TABELA 4.1, para o número médio de peças produzidas com a aplicação das distribuições selecionadas pode-se observar que as distribuições Lognormal(-2,90154;1,29292) e Weibull (0,5;1) que foram rejeitadas pelos testes de ajuste, possuem um erro proporcional em relação a média da distribuição ideal de respectivamente 0,16% e 42,42%. Enquanto que a distribuição Gamma(0,09940;0,99053) e

Weibull(0,09819;0,99358), que não foram rejeitadas pelos testes de ajuste, apresentam um erro proporcional de respectivamente 0,1% e 0,04%. Desta forma, ao comparar o erro proporcional entre a distribuição Lognormal e a distribuição Gamma, observa-se que a Lognormal embora tenha sido rejeitada apresenta uma estimativa para a média bem próxima da solução fornecida pela distribuição hipotética ideal. A constante 10 peças/minuto fornece um erro grotesco. Deve-se ressaltar que esta comparação fornece apenas o erro percentual entre as estimativas, não fornecendo uma garantia de que uma distribuição é mais representativa do que outra. Para melhor avaliar os resultados obtidos realizou-se a comparação entre as diferenças do número médio de peças produzidas para cada uma das distribuições selecionadas em relação a distribuição Exponencial (0,09846). A TABELA 4.2 apresenta as diferenças encontradas em cada replicação.

TABELA 4.2 – Comparação entre as distribuições selecionadas com a distribuição Hipotética ideal

COMPARAÇÃO DAS DISTRIBUIÇÕES SELECIONADAS COM A DISTRIBUIÇÃO HIPOTÉTICA IDEAL				
	EXP1-EXP2	EXP1-EXP3	EXP1-EXP4	EXP1-EXP5
REPLICACAO 1	-3,00	-3,00	241,00	1,00
REPLICACAO 2	-11,00	0,00	260,00	0,00
REPLICACAO 3	-8,00	0,00	249,00	-1,00
REPLICACAO 4	4,00	0,00	244,00	0,00
REPLICACAO 5	20,00	0,00	350,00	0,00
REPLICACAO 6	2,00	0,00	350,00	0,00
REPLICACAO 7	0,00	0,00	303,00	0,00
REPLICACAO 8	-6,00	0,00	293,00	0,00
REPLICACAO 9	17,00	0,00	352,00	11,00
REPLICACAO 10	-6,00	0,00	222,00	0,00
MÉDIA	0,90	-0,30	286,40	1,10
VARIANCIA	13,71	0,10	1674,61	11,81

Comparando os resultados da TABELA 4.2 pela variação do número médio de peças produzidas, pode-se observar que a distribuição Weibull (0,09819;0,99358) (3^o colocada no *rank* de distribuições) fornece uma menor variação em relação a média da distribuição hipotética ideal (Exponencial (0,09846)). Sendo portanto a melhor representação para o comportamento dos dados de entrada, entre as distribuições analisadas. Isto contradiz o fato de a distribuição Gamma(0,09940;0,99053) (2^o colocada no *rank* de distribuições) ser a melhor representação ao conjunto de dados gerados. Além disto, pode-se observar nesta comparação que a Gamma(0,09940;0,99053) apresenta uma variação maior do que a distribuição Lognormal, que foi rejeitada pelo *EXPERTFIT*. Em relação a distribuição Weibull (0,5;1) também rejeitada pelos testes de ajuste, verifica-se que existe uma grande variação em relação a média da hipótese ideal, o que confirma o fato de não ser uma boa representação para o comportamento dos dados.

5.CONCLUSÃO

A finalidade deste estudo de simulação é mostrar, o quanto a aplicação de uma distribuição de probabilidade pode influenciar nos resultados de um modelo. Deve-se ressaltar que o tipo do sistema a ser analisado pela simulação é irrelevante. Visto que cada sistema é

um caso particular, cujo comportamento da variável depende de todos os fatores que ocorrem no sistema em estudo, tais como: as ordens de produção e outros.

Neste estudo de simulação, procurou-se enfatizar o problema da ausência de uma amostra de dados para se realizar o processo de modelagem dos dados. Diante deste problema, foi admitida a distribuição Exponencial (0,1) como ideal, para representar os dados de entrada no modelo. Esta distribuição hipotética se fundamenta na teoria do Processo de Poisson.

Analisando os resultados gerados pela simulação através dos testes apresentados, pode-se notar uma certa dificuldade na determinação da distribuição de probabilidade mais representativa. Isto ocorre devido a aceitação de uma distribuição de probabilidade diante de um tipo de teste, e sua rejeição em outro tipo de teste. Isto pode ser observado pela distribuição Lognormal (15 % do *rank* de distribuições), que é rejeitada pelos testes de ajuste, e que no entanto, fornece resultados bem próximos da distribuição ideal. Deve-se observar entretanto que, a estimativa média do número de peças produzidas pode ser modificada se ocorrer o aumento do número de replicações.

Diante dos resultados obtidos neste estudo, pode-se concluir que é possível encontrar uma distribuição de probabilidade que forneça resultados compatíveis com o sistema real avaliado, e que tenham sido rejeitadas pelos testes de ajuste e pela observação gráfica. No entanto, para estas distribuições, os resultados do modelo podem variar se houver um aumento no número de replicações. Assim, embora casos como este possam ocorrer, em geral os testes de ajuste e a observação gráfica são métodos eficazes para indicar uma distribuição de probabilidade representativa para o comportamento de uma variável. Ressalta-se que, a quantidade de erro gerado nos resultados de um modelo variam de acordo com o sistema em estudo, e o tipo de distribuições de probabilidade utilizadas. Além disto, a importância da porcentagem de erro obtida nos resultados varia de acordo com o tipo de material produzido.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANNINO, J.S.; RUSSELL, E.C., 1981, "The seven most frequent causes of simulation analysis failure – and how to avoid them", *Interfaces*, Vol. 11, n.3, pp.59-63, June.
- BANKS, J *et al.*, 1996, "Discrete-event system simulation", Prentice Hall.
- BRADFORD, T.C.; MARTIN, K.F., 1993, "Modelling the breakdown behavior of transfer line machines for use in computer simulation", *International Journal of Modelling & Simulation*, Vol. 13, n.1, pp.4-8.
- CONWAY, R; *et al.*, 1988, "The role of work-in-process inventory in serial production lines", *Operation Research*, Vol. 36, n.2, Mar.
- LAW, A.M.; KELTON, W.D., 1991, "Simulation modeling and analysis", McGraw-Hill, Inc.
- LOBÃO, E.C.; PORTO, A.J.V., 1997, "Proposta para sistematização de estudos de simulação", CD ROM, XVII ENEGEP - CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Vol .1.
- MARIA, 1997, "Introduction to modeling and simulation", PROCEEDINGS OF THE 1997 WINTER SIMULATION CONFERENCE, pp.7-13.
- MUNIZ, A.P.K.; CARVALHO, A.C.B.D. ,1998, "Tópicos conceituais de simulação", CD ROM, SPOLM/98 - II SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL E III SIMPÓSIO DE LOGÍSTICA DA MARINHA - CASNAV, *Anais*, Rio de Janeiro.
- NELSON, L.B. *et al.*, 1995, "Input modeling when simple model fail" , PROCEEDINGS OF THE 1995 WINTER SIMULATION CONFERENCE, pp.93-100.
- AUTOSIMULATIONS ,2000, "Automod Simulation Software", <http://www.autosim.com/simulation/simsoftware.html> (22 Maio)