

Simulador de sistemas de manufatura para pequenas e médias empresas

Roberto Zeni Junior

Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná

Paulo André de Camargo Beltrão

Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná

Resumo: A competitividade imposta à indústria atualmente, não poderia sequer ser imaginada a poucas décadas. A otimização de custos tornou-se imposição. As ferramentas computacionais têm-se apresentado como instrumento para tal otimização. Entre estas ferramentas a simulação computacional é uma técnica eficaz, flexível e ágil no auxílio da tomada de decisões. Este artigo apresenta uma proposta de ferramenta computacional de avaliação de decisões em processos de manufatura, ou seja, um programa de simulação para computadores pessoais. Em contrapartida aos programas de simulação comerciais disponíveis, este protótipo não agrega os altos custos da aquisição, treinamento e manutenção daqueles, que os tornam proibitivos para implantação em pequenas e médias empresas. A metodologia para desenvolvimento é baseada em técnicas de desenvolvimento de programas de simulação de sistemas discretos, aplicando-se conceitos de programação orientada a objetos. Como análise, um estudo de caso é apresentado demonstrando a facilidade de utilização da mesma. A verificação destes resultados através da comparação com resultados da análise executada em um software comercial, configura a validação do sistema desenvolvido. O sistema incrementa a competitividade de pequenas e médias empresas uma vez que auxilia as análises de sistemas de produção mediante verificação de gargalos, capacidades produtivas bem como potencialidades para atender sobrecargas de demanda.

Palavras-chave: Simulação; sistemas discretos, manufatura, pequenas e médias empresas.

1. INTRODUÇÃO

O advento da globalização da economia mundial imprimiu à indústria relações competitivas até então nunca vistas. Até mesmo produtos complexos, com vários subconjuntos e peças diversas, têm iguais índices de desempenho seja em termos de qualidade, confiabilidade ou custo. Deste modo, os processos de produção estão ficando cada vez mais complexos.

Para empresas que são concorrentes, o preço torna-se um fator determinante na escolha do produto por parte dos clientes. Portanto, os fabricantes têm no custo um dos objetivos principais, pois quanto menor o custo, menor poderá ser o preço oferecido aos consumidores, mantendo uma melhor margem de lucro. A otimização dos custos torna-se um dos maiores desafios na obtenção ou desenvolvimento de qualquer produto (Zeni Jr., 2004).

1.1 Manufatura e Pequenas e Médias Empresas

A participação da indústria da manufatura na economia nacional pode ser medida através do número de vagas ocupadas, que no ano de 2.000, segundo dados do IBGE, era responsável por cerca de 20,6% do total das vagas de trabalho. Isto significa cerca de 5,5 milhões de pessoas ocupadas em aproximadamente 400.000 empresas. Os números são representativos, e são ainda maiores quando comparados aos 39% que representam sobre o produto interno bruto (PIB) em 1997 (IBGE, 2000).

Porém, segundo o cadastro geral de empresas do IBGE, no Brasil apenas 1,8% do total das empresas cadastradas como indústrias de transformação¹ ocupam mais de 100 funcionários (IBGE, 2000), de onde se nota o importante papel na economia das médias e pequenas empresas.

Por outro lado, grandes empresas vêm desenvolvendo fornecedores constantemente de modo a gerenciar de uma forma melhor as complexidades dos sistemas de fabricação. A logística necessária à execução de todos os produtos dentro de um só complexo industrial inviabiliza a fabricação, em virtude da densidade de tecnologia demandada nos processos atuais.

Para manterem-se em funcionamento, as indústrias de menor porte necessitam investir em tecnologia. Porém, como têm limitações financeiras, os investimentos devem ser objetivos, por meio de ferramentas eficientes e lucrativas capazes de avaliar as complexidades impostas aos sistemas fabris.

As incertezas e variáveis dos processos aumentam, e as avaliações dos gerentes são cada vez mais complexas. Os sistemas de manufatura devem poder contar com soluções no auxílio à tomada de decisões. As simulações computacionais se apresentam como ferramentas eficazes neste auxílio (Law; Kelton, 1991).

As grandes empresas podem se utilizar de ferramentas já disponíveis no mercado. Porém, os simuladores comerciais existentes possuem custos elevados e necessidades de treinamento que inviabilizam sua utilização por parte de indústrias de menor porte. No entanto, quanto menor o tamanho de uma organização, maior é o acúmulo de funções dos gerentes ou tomadores de decisões. Desta forma, são estas corporações de menor porte, que necessitam cada vez mais de soluções eficazes para análise de variáveis e incertezas (Zeni Jr., 2004).

1.2 Metodologia para Desenvolvimento de um Software de Simulação

A metodologia descrita para desenvolvimento de um aplicativo para simulação pode ser descrita pelos seguintes passos (Freitas Filho, 2001):

- 1 – Formulação do problema: inicia o estudo definindo-se os propósitos e objetivos do simulador de modo a entender quais parâmetros influenciam o sistema e o que está se modelando.
- 2 – Planejamento do projeto: com este passo pretende-se verificar se o sistema terá recursos suficientes para realização dos trabalhos propostos. Os vários cenários que serão investigados e um cronograma temporal das atividades que serão desenvolvidas, indicando os custos e necessidades relativas aos recursos já citados.
- 3 – Formulação do modelo conceitual: representa-se o sistema de modo gráfico ou algorítmico, definindo componentes e descrevendo as variáveis e interações lógicas que constituem o sistema. É recomendado que o modelo inicie de forma simplificada e vá crescendo de forma a contemplar as diversas características envolvidas.
- 4 – Coleta de informações e dados: identifica-se e coleta-se os dados necessários à entrada no modelo. Um conjunto de dados é coletado e deve sofrer tratamento de forma a indicar qual a distribuição que melhor identifica o sistema.

¹ A indústria de transformação engloba a fabricação ou transformação dos seguintes produtos: alimentícios, fumo, têxteis, artigos de vestuário, madeira, móveis, papel e celulose, refino de petróleo e fabricação de combustíveis, produtos químicos, borracha e plásticos, produtos não-metálicos, metalurgia básica, máquinas, equipamentos e produtos metálicos, equipamentos e aparelhos elétricos e eletrônicos, equipamentos de comunicação, equipamentos médico-hospitalares, veículos e equipamentos de transporte.

- 5 – Tradução do modelo: contempla a codificação de um modelo numa linguagem de simulação apropriada. Esta etapa é responsável por cerca de 30 a 40% do esforço dedicado ao estudo de simulação como um todo (Law; Kelton, 1991).
- 6 – Verificação e validação: aqui se pretende confirmar que o modelo opera de acordo com a intenção do analista, sem erros de sintaxe e lógica, além de garantir que os resultados por ele fornecidos sejam confiáveis e representativos do modelo real.
- 7 – Projeto experimental final: consiste em projetar um conjunto de experimentos que produza a informação desejada, determinando como cada um dos testes deva ser realizado. O objetivo deste é conduzir ao menor número de experimentos com obtenção de maior número de informações.
- 8 – Experimentação: são executadas as simulações necessárias para a obtenção dos resultados e posterior análise destes.
- 9 – Análise e interpretação dos resultados: este contempla a medida de desempenho sobre os cenários projetados. As análises poderão resultar na necessidade de um maior número de execuções do modelo para que se possa alcançar a precisão estatística sobre os resultados desejados.
- 10 – Documentação: serve esta etapa como estruturação para futuras análise ou modificações além de servir como referência para identificar como foram simulados os sistemas. É importante ressaltar a necessidade da documentação ser registrada de forma clara e precisa.
- 11 – Apresentação dos resultados e implementação: deve-se identificar quais os problemas foram resolvidos, quais os benefícios alcançados com a solução proposta, quais as alternativas rejeitadas e seus motivos.

2. SIMULADOR DE SISTEMAS DE MANUFATURA

Tendo sido verificadas as condições das formulações e identificações citadas na metodologia desenvolveu-se um sistema que encontra-se na fase de implementação, que foi batizado como ZSimulate, foi implementado sob a filosofia do modelo MDI (*Multi-Document Interface*), ou seja, a interface de múltiplos documentos, na linguagem de programação Visual Basic® da Microsoft. No modelo MDI a interface principal é controlada por uma janela (ou formulário) que abriga, ou contém, os comandos e formulários que executam as diversas interfaces do sistema. A estas diversas janelas dá-se o nome de “Filhas” (ou *Child*), cada uma dessas janelas filhas é acessível a partir dos menus ou botões da barra de ferramentas da janela principal.

As figura 1 e 2 representam as telas inicial e principal do aplicativo com os diversos módulos indicados.



Figura 1 – Tela inicial de chamada ao programa

Para alocar os recursos na janela, basta clicar na barra de ferramentas localizada à esquerda da janela. Os recursos podem ser dispostos lado a lado, ou de forma a ocupar a área disponível no formulário. Note-se que é importante atentar para que a localização dos recursos possibilite sua disposição na janela, e ainda, e mais importante, para que a mesma possibilite a ligação (“*linkagem*”) dos recursos entre si de modo que o “caminho” executado pelas entidades (peças) possa ser estabelecido.

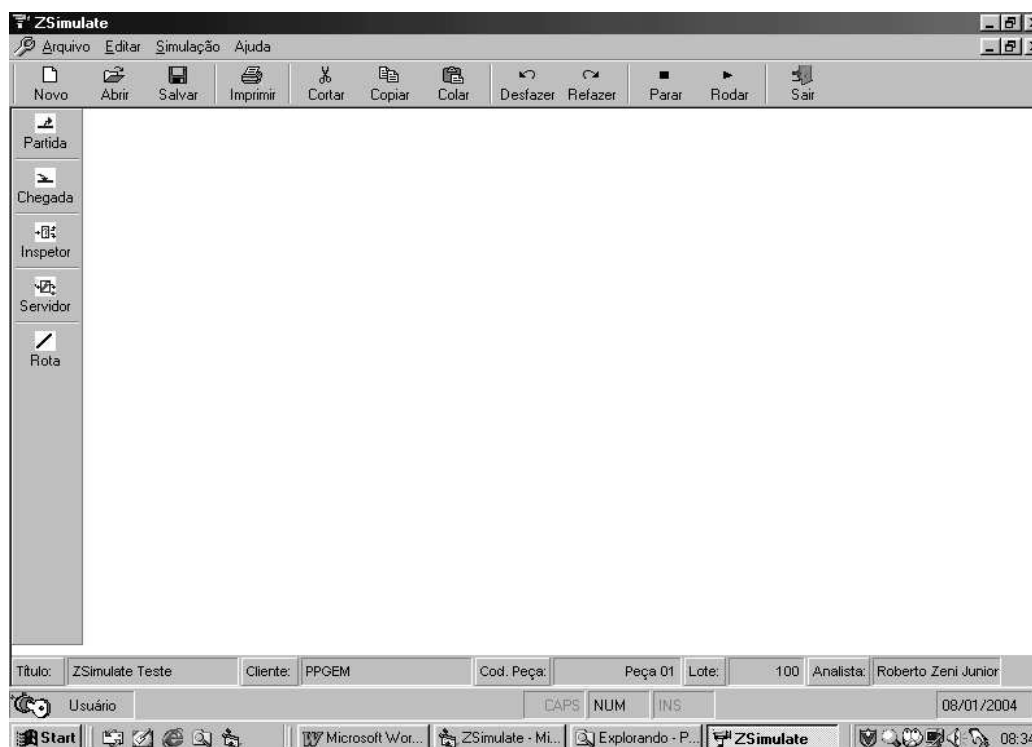


Figura 2 – Interface principal do aplicativo

2.1 Fornecendo Dados ao Modelo

Após os módulos estarem dispostos no modelo na área de trabalho, o passo seguinte é o fornecimento de dados ao modelo para que o mesmo seja representativo. Para tanto basta dar um clique duplo sobre o nome de cada um dos módulos dispostos. Esta ação gera a abertura de uma janela específica para cada tipo de recurso, possibilitando a adequação do mesmo.

O módulo “Partida” deve ser o primeiro inserido. Este módulo controla o processo de chegadas das peças ao sistema modelado, ou seja é o responsável pela geração de entidades no sistema. Ao clicar duplamente sobre o rótulo da Partida deve-se especificar a estação de chegada, o tempo de ocorrência da primeira chegada de uma entidade ao módulo (no Formulário: Tempo 1ª Partida), o tempo decorrido entre as chegadas, o número de entidades (tamanho do lote) que chegam ao sistema a cada vez, a variável de tempo a ser registrada (este um atributo opcional), bem como dados sobre qual será a próxima estação (nome e tempo de deslocamento da rota). Uma atenção especial deve ser dispensada ao tempo entre as chegadas, pois este atributo pode ser configurado como alguns tipos de distribuições estatísticas aplicadas a simulação de sistemas discretos.

Ao módulo chamado de servidor o procedimento é semelhante. No entanto, pela natureza do recurso, este possui uma pequena diferença com relação ao quadro de dados do servidor, pois neste caso, uma das características mais importantes é o tempo de processo, que, também, pode obedecer a alguma distribuição estatística específica, ou a um tempo padrão de processo. Para o quadro da próxima estação o procedimento é idêntico ao apresentado na estação de partida.

Para edição do módulo de inspeção as características específicas são: A capacidade, o tempo de processo (que pode distribuir-se de modo estatístico), a probabilidade de falha. No entanto este

módulo apresenta uma peculiaridade, tendo em vista que caso a entidade seja aprovada pelo módulo procede-se um tipo de rota, caso contrário o caminho tomado é outro.

Concluindo o processo, para o módulo Chegada, a janela apresentada solicita a quantidade a incrementar por passagem (quantas entidades são acrescidas cada vez que se registra uma passagem), conforme verificado na figura 21.

Tendo feito estas configurações para os dados do modelo, pode-se proceder a próxima etapa da modelagem que é a construção das rotas. Esta sequência é importante, pois, como já foi citado neste capítulo, possibilita ao algoritmo a verificação se estão corretas as informações inseridas nesta etapa (Fornecimento de dados ao modelo) e as rotas traçadas.

Para construção das rotas o procedimento consiste em clicar sobre o botão correspondente às rotas na barra de ferramentas dos elementos e construir a rota que liga os elementos. O ponteiro do mouse, mais uma vez, modifica-se para uma cruz, de forma a auxiliar a interface. Clicando sobre o rótulo (ou nome) do módulo e proceder a sua ligação movimentando o mouse até o próximo rótulo do módulo correspondente.

2.2 Estudo de Caso

O estudo de caso apresentado é baseado em uma ponta de eixo que é fornecida pela empresa paranaense New Hübner, instalada na Cidade Industrial de Curitiba, a uma montadora multinacional. Neste exemplo é possível verificar-se o potencial do sistema para aplicação em pequenas e médias empresas que utilizam poucas máquinas para manufatura de produtos. O processo sofreu algumas simplificações em sua modelagem de modo a tornar possível sua verificação através do software comercial Arena, da Rockwell, em sua versão 2.2 para avaliação e treinamento. O fluxograma do processo segue o disposto na figura 3.

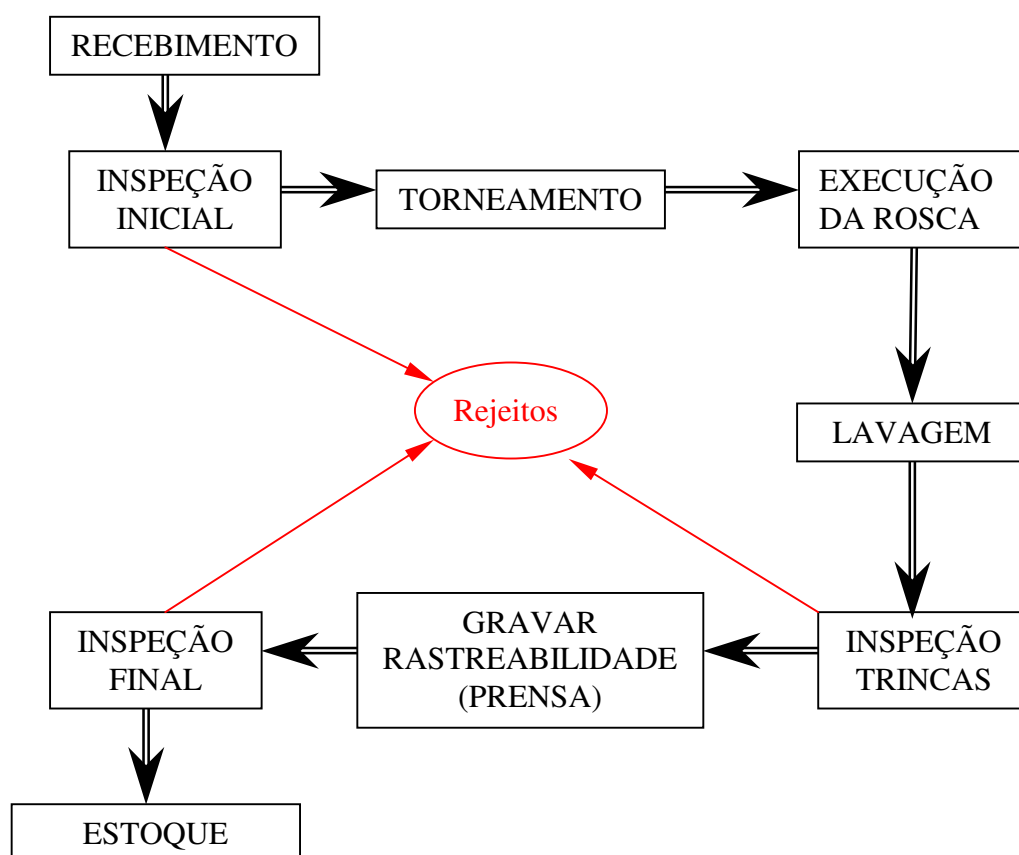


Figura 3 – Fluxograma do processo de manufatura da ponta de eixo

Os dados do processo a ser simulado são os seguintes:

- a) Partida: Será indicada como ‘Recebimento’, sendo que um detalhe importante sobre este item é que o lote chega todo de uma vez ao processo, utilizando-se filosofia de *kanban* e todo ele é encaminhado à inspeção por meio de transporte de empilhadeira. Desta forma o único atributo necessário a informação deste recurso é o tempo de transporte a próxima estação (Inspeção Inicial) cujo ciclo é de 3 minutos.
- b) Inspeção1: Designada como ‘Insp Inicial’, tem um tempo de operação baseado numa distribuição Triangular com mínimo de 0,8 minutos, moda de 1,0 minuto e máximo de 1,1 minuto (processada como $TRIA(0,8-1-1,1)$ no Zsimulate). A capacidade de operação é de uma peça por vez e as estações seguintes são: Caso processo aprovado – Torno Romi com tempo de rota de 40 segundos; no Caso de Falha a estação seguinte é o Descarte. Neste momento o modelo sofre uma simplificação, tendo em vista que no processo real as peças são estocadas e despachadas ao Descarte ao final do processamento do lote, no modelamento utiliza-se a rota de Descarte assim que a Inspeção indique a falha, deste modo economiza-se a utilização da classe ‘Fila’ utilizada na programação, economizando-se, também, recursos de memória de máquina no processamento. Este tempo de rota é indicado como 3 minutos.
- c) Servidor1: Representado pelo Torno Romi, cujo tempo de processamento é determinado em 01:45 minutos (ou 1,75 em decimal) sendo que o próximo recurso a ser utilizado é a Rosqueadeira com tempo de rota de 1 minuto.
- d) Servidor2: O Recurso foi nomeado como Rosqueadeira, seu tempo de processo é, também, determinado em 00:55 minutos (0,9166 minutos decimais). Próxima estação é a Lavagem com tempo de rota de 1,3 minutos.
- e) Lavagem: Destina-se a remoção de cavacos para inspeção. Tempo de processo 1,833, capacidade para uma peça, próxima estação: Inspeção de trincas com tempo de rota de 0,7 min e custo de R\$ 0,25/min.
- f) Servidor3: Trata-se de uma máquina para inspeção por corrente elétrica, conhecida por Magnaflux. A inspeção é feita unitariamente e se realiza de acordo com uma distribuição normal com média de 2,3 minutos e desvio padrão de 0,7 (na codificação $NORM(2,3-0,7)$). Ao serem aprovadas as pontas de eixo seguem ao setor de gravação da rastreabilidade (prensa) com tempo de rota de 1 minuto. Caso seja verificada a existência de alguma trinca a peça é reprovada e encaminhada ao descarte, com tempo de rota de 3 minutos. A Probabilidade de falha aqui é de 0,5%. No simulador esta inspeção foi nomeada como ‘Insp Trincas’.
- g) Servidor4: Este recurso é representado pela ‘Prensa’ de gravação da rastreabilidade. Ciclo de operação segundo uma distribuição triangular de moda 0,8 com mínimo 0,5 e máximo 1,1 ($TRIA(0,5-0,8-1,1)$). A rota para próxima estação é realizada em 1 minuto.
- h) Inspeção3: Nomeada como ‘Insp Final’, é responsável pela verificação final das peças por uma inspeção visual e embalagem. Também obedece a um ciclo com distribuição triangular de moda 3,0 minutos, mínimo de 2,5 minutos e máximo de 4 minutos ($TRIA(2,5-3,0-4,0)$). A aprovação indica transporte ao Estoque de peças acabadas com rota de 3,0 minutos. A reprovação leva ao descarte, este com características similares às demais inspeções (acúmulo e descarte ao final) e rota de 4 minutos.
- i) Chegada: esta estação é nomeada como ‘Estoque’ e possui incremento unitário por passagem de entidade.

Depois de inseridos os dados o modelo estará disposto de forma similar ao apresentado na figura 4 e pode-se rodar a simulação.

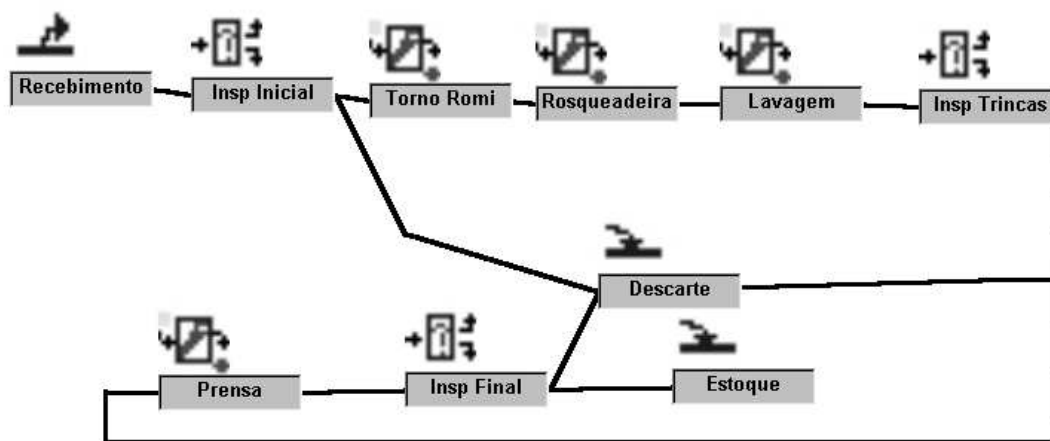


Figura 4 – Disposição gráfica do modelo de manufatura da ponta de eixo

2.2.1 Apresentação dos Resultados e Comparação com Valores Simulados

A tabela 1 faz a comparação direta entre as variáveis apresentadas nas simulações executadas nos dois aplicativos. Sendo que os dados simulados pelo Arena (representados pela Coluna “A” na tabela) são grafados em negrito, para diferenciá-los dos apresentados pelo simulador apresentado neste trabalho (Coluna “Z”). Para análise, em ambos os sistemas foram executadas simulações com apenas 1 replicação.

Uma terceira coluna com a diferença percentual entre os dois resultados. Esta diferença, indicada simplesmente por “%” na tabela, é obtida pela aplicação da Equação 1:

$$\% = \frac{(A - Z)}{A} * 100 \quad \text{Eq. 1}$$

Onde: A – são dados apresentados pelo Arena

Z – são resultados apresentados pelo ZSimulate

TABELA 1 – COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

VARIÁVEIS DE TEMPO									
ATRIBUTO	MÉDIA			MÍNIMO			MÁXIMO		
	A (min.)	Z (min.)	%	A (min.)	Z (min.)	%	A (min.)	Z (min.)	%
T Fabricação	65,778	64,166	2,45	21,979	23,883	8,66	109,32	97,650	10,58
T Fila Insp. Recebim.	14,089	13,850	1,70	0,000	0,000	0,0	28,146	27,583	2,00
T Fila Torno	10,616	10,966	3,30	0,000	0,000	0,0	20,872	21,450	2,77
T Fila Rosq.	-	-	0,0	0,000	0,000	0,0	0,000	0,000	0,0
T Fila Lavad.	-	-	0,0	0,000	0,000	0,0	0,000	0,000	0,0
T Fila Insp. Trincas	8,9181	11,000	23,34	0,000	0,000	0,0	16,488	19,866	20,49
T Fila Prensa	3,78E-04	-	100	0,000	0,000	0,0	0,0109	0,000	100
T Fila Insp. Final	9,8499	7,950	19,29	0,000	0,000	0,0	22,533	16,833	25,30
VARIÁVEIS DISCRETAS									
RECURSO	MÉDIA								
	Arena	Zsimulate	Diferença (%)						
Insp. Receb. Ocupado	0,26573	0,2910	9,51%						
Torno Ocupado	0,46421	0,5197	11,95%						
Rosquead. Ocupado	0,24298	0,2722	12,03%						
Lavadora Ocupado	0,28728	0,3217	11,98%						
Insp. Trincas Ocupado	0,60564	0,7281	20,22%						
Prensa Ocupado	0,20962	0,2400	14,49%						
Insp. Final Ocupado	0,82148	0,9466	15,23%						

Para análise, as variáveis chamadas de tempo, na tabela 1 representam o tempo em minutos que o atributo teve como média, mínimo ou máximo. Por outro lado, as variáveis chamadas discretas representam em relação ao tempo total (1 ou 100%) qual a parcela em que o recurso permaneceu ocupado (assim 0,26573 é equivalente a dizer que o recurso permaneceu 26,573% do tempo total analisado ocupado). A análise em conjunto das variáveis de tempo e discretas indica o comportamento do sistema, ou seja, pode-se verificar que existe um gargalo de produção na inspeção final. E, por outro lado, alguns recursos como Rosqueadeira, lavadora e prensa podem estar superdimensionadas para o processo, pois obtiveram tempos em filas muito baixos ou nulos, bem como tiveram pequena porcentagem de seu tempo ocupado durante o processo.

Comparando-se os resultados entre as tabelas citadas, pode-se concluir o que segue:

- Em primeiro lugar é necessário filtrar algumas informações. Observa-se que existem diferenças de 100%, porém estas se aplicam nos tempos de fila do recurso Prensa. Todavia estes erros devem-se ao fato de que no ZSimulate os valores indicados foram zero e no Arena foram da ordem de 0,01 minuto, desta forma não são representativos.
- A maior diferença percentual apresentada, então, neste caso foi da ordem de 25% no recurso de Inspeção Final. Esta diferença foi apresentada no tempo máximo na fila da Inspeção Final. Pode-se atribuir também esta a diferentes metodologias para geração dos números aleatórios, verificando-se, também que este é o último dos recursos com operação, sendo que podem estar sendo somadas as diferenças trazendo acúmulo de valores. Ainda pode-se ressaltar que dados os valores de tempos do caso em questão, que são baixos, a grandeza representativa de 25% é equivalente a cerca de 5,5 minutos, e o processo tem um tempo total indicado de cerca de 1 hora e 40 minutos.
- Todas as demais diferenças apresentadas foram inferiores a faixa de 25%.

Estas respostas diferiram em no máximo 25% no modelamento. Tais diferenças podem ser atribuídas ao fato de serem diferentes os algoritmos de geração de números aleatórios e também os de gerenciamento da fila. No entanto, cabe ressaltar que para o estudo de caso, a grandeza representativa de 25% é equivalente a cerca de 5,5 minutos, e o processo tem um tempo total indicado de cerca de 1 hora e 40 minutos. Sendo deste modo, variações perfeitamente aceitáveis.

Pode-se concluir que o sistema proposto apresentou respostas que serviram como parâmetros de análise bastante aceitáveis. Ainda, analisando as grandezas envolvidas no processo as respostas foram satisfatórias e que, como uma proposição de um sistema para pequenas e médias empresas ele se torna uma alternativa altamente viável.

Cabe ressaltar que para o estudo de caso os tempos eram conhecidos, e que esta é uma condição à utilização do sistema. No entanto, caso os tempos e médias não tenham sido estudados uma breve análise de tempos do processo fabril servirá como indicativos de dados de entrada.

3. AGRADECIMENTOS

Este artigo foi possível devido aos dados disponibilizados para o estudo de caso. Desta forma cabem os agradecimentos a:

- New Hübner Componentes Automotivos;
- Ao Eng. Mec. Ricardo Vieira dos Santos

4. REFERÊNCIAS

FREITAS FILHO, P. J. **Introdução a modelagem e simulação de sistemas:** com aplicações em Arena. Florianópolis: Visual Books, 2001.

IBGE. **Estatísticas do cadastro geral de empresas.** Brasília, 2000.

LAW, A. M.; KELTON, D. W. **Simulation modeling & analysis.** 2nd. Ed. [New York]: McGraw-Hill, 1991.

ZENI JR., R. **Simulador de sistemas de manufatura para pequenas e médias empresas.** Curitiba, 2004. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais), Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná.

TITLE: Simulator of manufacture systems for small and medium companies

Roberto Zeni Junior

Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná

Paulo André de Camargo Beltrão

Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná

Modern Industries are nowadays submitted to high competition in a way that could not be imagined decades ago. The reduction in the production costs became imposition among them which leads a search for efficient tools and techniques to verify and control productive costs. The computer tools have been introduced as an instrument to better control in production. Among these tools the computer simulation has been proved to be a flexible and effective technique to help taking decisions. This study presents a proposal to develop a computer simulation program for use in personal computers to evaluate decisions in manufacturing processes. This program does not show the high costs involved in the acquisition and maintenance of the available commercial simulation programs in the market which turn them prohibitive for small and medium Industries. The methodology used for this development was based on techniques for discrete systems, applying programming concepts guided to objects. Experiments have been performed in a way that shows some qualitative characteristics of the program, demonstrating the simplicity in using it. The results obtained with this program in comparison with the results obtained in commercial software indicate the importance of the developed software. The system could increase the competitiveness of small and medium Industries once it helps the analyses of production systems by means of critical paths verification, productive capacities as well as potential to assist demand overloads.

Keywords: Simulation; discrete-event systems, manufacture, small and medium Industries, costs.