



O USO DA SIMULAÇÃO NO ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS MODERNOS DE MANUFATURA

Marcelo Moretti Fioroni

Engenheiro e Pesquisador do DEF/FEM/UNICAMP

Caixa Postal 6122, CEP: 13083-970 Campinas/SP, Brasil;

Fone: (019) 788-3290; FAX: (019) 289-3722; E-mail: mfioroni@mii.zaz.com.br

Arthur José Vieira Porto

Prof. Associado do SEM/EESC/USP

Rua Carlos Botelho 1465, CEP 13560 210, São Carlos/SP, Brasil;

FAX (016) 273 9402; E-mail: ajvporto@sc.usp.br

Antonio Batocchio

Prof. Livre Docente do DEF/FEM/UNICAMP,

Caixa Postal 6122, CEP: 13083-970, Campinas/SP, Brasil;

Fone: (019) 788-3290; FAX: (019) 289-3722; E-mail: batocchi@fem.unicamp.br

***Resumo.** O fenômeno da Globalização vem exigindo mudanças no mercado mundial que provocam o aparecimento de novos paradigmas e estremecem conceitos já consolidados ao longo de vários anos. Na busca de se adaptar aos novos tempos, várias iniciativas vem sendo propostas na busca de soluções para o ambiente mundial do século 21. No mercado atual, a competitividade está diretamente ligada à uma serie de fatores, os clientes estão mais exigentes e a manufatura está deparando com lotes cada vez menores e produtos mais personalizados. Os sistemas de manufatura ágeis e flexível vêm de encontro a esta nova situação, tornando-se uma solução imperativa para atender aos novos anseios do mercado consumidor. Os modernos sistemas de manufatura, como FMS, Sistemas Inteligentes, Sistemas Holônicos, são constituídos de elementos tecnologicamente bastante avançados e de grande complexidade, como equipamentos computadorizados, robôs, AGVs e redes de comunicação. Essa complexidade torna difícil a tarefa de projetar tais sistemas e prever os resultados de sua implantação. Devido a esses fatores, e aliado ao fato de que tais sistemas são extremamente caros, é importante a realização de um estudo detalhado antes de se decidir pela sua implantação. Este artigo procura apresentar Simulação de Processos como uma alternativa adequada, já que pode prever o funcionamento do sistema sob várias condições e fornecer informações para a análise do seu desempenho, disponibilizando dados primordiais para o processo decisório ou implantação.*

***Palavras-chave:** Simulação por computador, Sistemas holônicos de manufatura, Sistemas modernos de manufatura.*

1. INTRODUÇÃO

As mudanças no cenário econômico dos tempos atuais tem provocado alterações significativas ao público consumidor. Este vem se mostrando cada vez mais exigente em termos de qualidade, e tem requisitado níveis crescentes de personalização nos produtos. A Indústria Manufatureira da atualidade, em sua busca constante para atender às demandas do mercado, tem criado mecanismos que permitem produzir pequenos lotes personalizados, dentro de padrões de qualidade razoáveis. Tais mecanismos lançam mão do que há de mais moderno em tecnologia, atingindo níveis de automação bastante avançados. Isso caracteriza os sistemas FMS (Flexible Manufacturing System), sistemas Inteligentes de Manufatura e, mais recentemente, o sistema Holônico de Manufatura.

Exatamente pelos seus altos níveis de automação, tais sistemas ficam extremamente dependentes do desempenho e disponibilidade de seus equipamentos. Como todo aparelho eletromecânico, estão sujeitos a defeitos, falhas de operação, paradas de manutenção, etc.

A implementação de um sistema moderno de manufatura exige a aquisição de equipamentos modernos, o que normalmente implica em um alto investimento. O retorno de tal investimento para a empresa está diretamente relacionado ao desempenho do sistema, o que implica em seu funcionamento contínuo durante o maior espaço de tempo possível, supondo-se que este tenha sido corretamente instalado e configurado.

O funcionamento contínuo de sistemas eletromecânicos exige atenção constante, na forma de manutenções preventivas, e mesmo assim está sujeito a falhas ou paradas imprevistas. É imperioso que tais fatores sejam cuidadosamente analisados antes da implementação de tais sistemas, através de uma ferramenta capaz de considerar todas as variáveis e possibilidades do processo. Uma das ferramentas capazes de realizar esta tarefa é a Simulação de Processos por Computador.

Alguns sistemas modernos de manufatura, como o Holônico, encontram-se atualmente apenas em fase de protótipo. É nesta situação que a Simulação de Processos mostra seu maior valor, permitindo projetar novas situações de operação com baixo investimento, já que a maioria dos testes podem ser realizados no computador, sem necessidade de gastos com equipamento.

Este estudo pretende mostrar como a ferramenta Simulação de Processos por Computador pode ajudar a identificar os pontos críticos de um projeto de sistema moderno de manufatura, bem como ajudar a projetar sistemas ainda mais modernos.

2. SIMULAÇÃO DE PROCESSOS POR COMPUTADOR

Segundo Kelton *et al* (1998), a Simulação de Processos por computador já existe desde a década passada, mas só nos últimos anos vem sendo difundida mais amplamente tanto no meio acadêmico quanto empresarial, graças ao avanço significativo nos sistemas computacionais e à popularização do computador.

Por “simulação”, entende-se uma imitação de parte da realidade em uma escala menor, sujeita às mesmas leis físicas e operacionais que o sistema real, com a finalidade de testar alternativas e estudar seu comportamento. Tal imitação é denominada “modelo”. A simulação de modelos é amplamente utilizada, por exemplo, pela indústria aeronáutica, que testa a aerodinâmica de novos projetos em túneis de vento.

A Simulação por Computador transporta esse conceito para o campo da informática, tornando o computador uma espécie de “túnel de vento” virtual, onde se pode testar protótipos e obter informações detalhadas sobre seu comportamento de forma extremamente cômoda e barata.

A *Simulação de Processos por Computador* é uma ramificação da Simulação por Computador, que permite estudar o comportamento e o relacionamento entre diversos componentes de um sistema, considerando o fluxo de informações ou de elementos físicos dentro dele. Trata-se de uma ferramenta poderosa na análise de sistemas muito complexos, já que o computador fica encarregado de monitorar todas as variáveis, alterar os estados e comportamentos conforme programado e gerar estatísticas de todo o experimento. O seu uso é possível graças à disponibilidade de ambientes computacionais voltados para a simulação, como por exemplo o software ARENA.

Tais ambientes computacionais permitem que se “descreva” o funcionamento do processo, agregando a este uma parte gráfica que apresenta visualmente o comportamento da simulação. Deste modo, além de se obter estatísticas, é possível visualizar o seu funcionamento e detectar possíveis erros ou problemas no sistema. Os ambientes computacionais de Simulação de Processos são bastante flexíveis, permitindo a modelagem e estudo de sistemas variados, como o fluxo de papéis em um escritório, atendimento clientes em uma agência bancária (Loureiro, F. M., 1998), o cronograma de manutenção de aeronaves, fabricação de motores (Moraes, L. H., 1998), produção de aço em siderúrgicas (Scarpe, A. A., 1998) e, finalmente: sistemas avançados de manufatura.

A simulação permite experimentar diferentes situações de carga de produção, indisponibilidade de recursos e manutenção. É também uma ferramenta valiosa para estudar comparativamente dois sistemas diferentes. Feita a simulação, o software apresenta um relatório contendo todas as informações sobre carga de máquinas, tamanho de filas, contagem de peças e outras, a critério do operador.

3. SISTEMAS AVANÇADOS DE MANUFATURA

Esta nova situação de mercado, focada no cliente, causou grande impacto nos sistemas produtivos existentes até então, que eram voltados para a produção em grandes quantidades de produtos padronizados, sem preocupação com a qualidade ou com a opinião do cliente.

Diante disso, novos sistemas de produção começaram a ser desenvolvidos e instalados nas empresas. Os recursos tecnológicos, que sofreram um verdadeiro “boom” neste mesmo período, foram largamente utilizados para fornecer novas soluções. Tais soluções se apresentaram na forma de sistemas com altos níveis de automação e informatização, lançando mão de robôs e computadores poderosos. Os sistemas assim elaborados conseguiam produzir tamanhos de lote variáveis e mesmo unitários, mantendo uma alta qualidade do produto e tempos de produção reduzidos. Graças ao pequeno número de funcionários necessários ao seu funcionamento, o custo referente à mão de obra ficou também muito menor.

No entanto, os equipamentos envolvidos e a própria elaboração do sistema requerem investimentos consideráveis. Conforme *Carrie et al* (1988), alguns elementos de alta tecnologia presentes nos sistemas modernos de manufatura estão relacionados a seguir:

- Robôs;
- Estações de Trabalho;
- Sistemas de Transporte de Peças;

- Estações de Armazenamento;
- Computador de Controle;

O uso de equipamentos modernos permitiu a concretização dos Sistemas Flexíveis de Manufatura (FMS), capazes de efetuar grande variedade de processos. No entanto, diante da nova situação do mercado, apenas a flexibilidade passou a não ser suficiente, e surgiu o conceito de Manufatura Ágil, que busca obter altos níveis de flexibilidade com grande velocidade de produção.

Um dos conceitos mais recentes no desenvolvimento dos novos sistemas de manufatura é o que trata dos Sistemas Holônicos de Manufatura. Conforme descreve Wyns *et al* (1998), a palavra *holon* foi inicialmente proposta por Koestler *et al* (1989), onde é usada para descrever a natureza híbrida dos componentes ou partes dos organismos vivos. O conceito desenvolvido por Koestler para as organizações sociais de seres vivos é aplicado na manufatura holônica, objetivando atingir as mesmas características dos organismos vivos: adaptabilidade, flexibilidade frente às mudanças, estabilidade diante dos imprevistos e uso eficiente dos recursos disponíveis. Tais conceitos estão atualmente em desenvolvimento pelo Holonic Manufacturing System Consortium, que reúne entidades de ensino e empresas dos países desenvolvidos. No Brasil, estudos com este tema são conduzidos pelo GPHMS – Grupo de Pesquisa de Sistemas Holônicos de Manufatura, sediado na UNICAMP-SP.

4. A SIMULAÇÃO NO DESENVOLVIMENTO DE NOVOS SISTEMAS DE MANUFATURA

É evidente que o alto investimento exigido na concretização de um sistema de manufatura largamente automatizado implica em maior cuidado na elaboração de seu projeto. Um erro de projeto ou de especificação pode provocar impacto financeiro expressivo e até mesmo condenar a sua implementação.

Devido à grande complexidade envolvida no projeto de tais sistemas, o uso de ferramentas tradicionais, como planilhas de cálculo, é inviável e impossível em alguns casos.

Entre outras razões, isto ocorre porque os cálculos convencionais não são capazes de refletir com exatidão o funcionamento do sistema. Pelo cálculo convencional, o tempo total de produção de uma determinada peça que exige duas operações é feito somando-se os valores médios de cada operação, conforme apresentado em Fig. 1.

$$\begin{array}{rcccl} \text{Operação 1} & & \text{Operação 2} & & \text{Total} \\ \text{Média de 30s} & + & \text{Média de 50s} & = & \text{Média de 80s} \end{array}$$

Figura 1 – Cálculo tradicional do tempo total de fabricação

Na simulação, a variação que normalmente ocorre nas operações é sempre considerada através de curvas de comportamento, obtidas com a análise de cada processo. Através da Fig. 2 é possível observar com clareza como o processo é tratado pelo software de simulação. O resultado obtido pode ou não ser idêntico ao valor médio calculado pelo método tradicional.



Figura 2 – Tempo total de fabricação considerado pela simulação de processos

O cálculo tradicional sofre dificuldades maiores quando deve ser estudada a indisponibilidade de equipamentos devido à quebras ou manutenção. Nestes casos, tradicionalmente é usado o valor de “rendimento”, que corresponde ao percentual de tempo em que o equipamento realmente fica disponível para produção. A capacidade de produção individual do equipamento é multiplicada por este percentual, que resulta na sua produção “real”. Ocorre que quando este valor é usado para qualquer cálculo referente à linha produtiva em sua totalidade, não se considera a ocorrência de “simultaneidade”, ou seja, momentos em que as falhas ou manutenção ocorrem ao mesmo tempo em duas ou mais máquinas. Quando isso ocorre, há um rendimento maior do que o considerado no cálculo. Isto pode levar a um superdimensionamento do sistema, o que, no caso dos sistemas de manufatura modernos, pode significar grande investimento adicional feito sem necessidade.

A simulação de processos é sensível à ocorrência de simultaneidade e ainda apresenta dados importantes que não são obtidos pelos métodos tradicionais, como:

- Tamanho de filas formadas pela interrupção de um equipamento;
- Tempo de restabelecimento do sistema, quando da disponibilidade do equipamento após uma interrupção;
- Percentuais de utilização de cada equipamento;

A simulação permite que se crie um ambiente experimental, onde várias situações de trabalho podem ser submetidas ao sistema, e suas reações, observadas. Os períodos de manutenção ou quebra de equipamentos não seguem valores médios, mas sim curvas de comportamento, de modo a tornar mais confiáveis os resultados. Desta forma, é possível tomar decisões com maior segurança e detectar problemas que não seriam percebidos pelos métodos tradicionais.

A aplicação da tecnologia de Simulação no desenvolvimento de novos sistemas é ainda mais evidente, já que, na ausência desta, seria necessário adquirir equipamentos dispendiosos com finalidade apenas experimental. Poucas instituições de pesquisa no mundo teriam condições ou interesse de efetuar tal investimento. O mesmo pode se dizer das empresas.

Sendo assim, a simulação surge como a alternativa mais razoável para efetivamente testar os novos sistemas de manufatura atualmente em desenvolvimento nas universidades ou departamentos de pesquisa das empresas.

Uma vez estabelecido um novo conceito, este pode ser modelado e testado em uma situação real de produção. Obtidos os resultados, os pesquisadores podem retornar às suas pranchetas para analisar os dados e otimizar o projeto.

A título de exemplo, são apresentados a seguir os resultados de uma simulação, cujo visual animado do modelo é mostrado na Fig. 3. Tal modelo foi construído e analisado fazendo uso do software ARENA, da Systems Modeling Corporation.

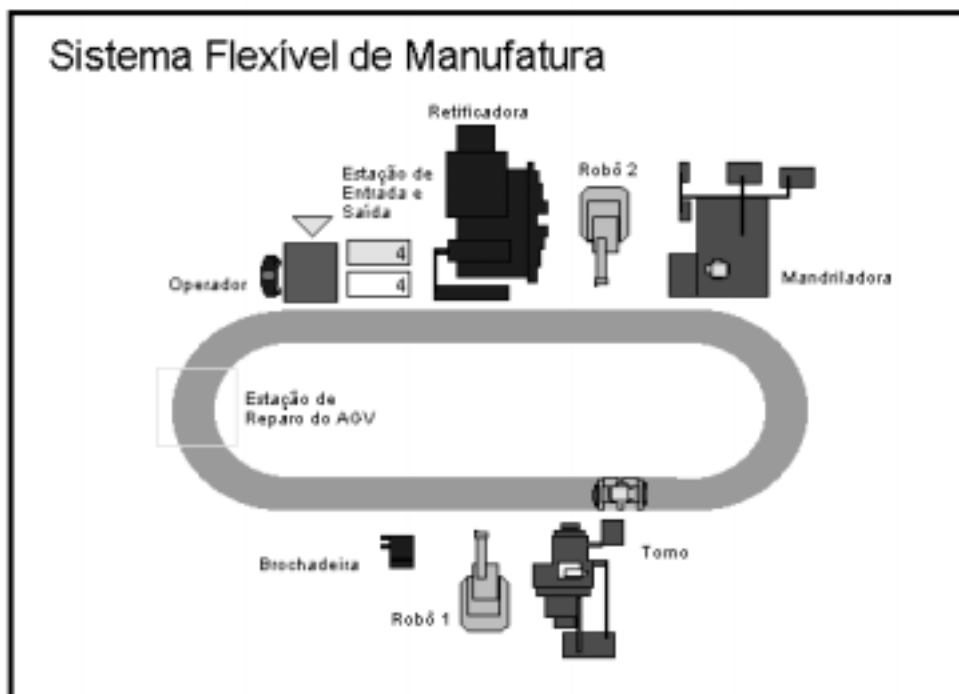


Figura 3 – Simulação de um Sistema Flexível de Manufatura

O sistema modelado é uma simplificação do apresentado por Agostinho *et al* (1997), sendo constituído por um veículo AGV que realiza as movimentações de material entre as máquinas, as quais são carregadas por dois robôs fixos. Fazem parte do sistema: uma brochadeira, um torno CNC, uma mandriladora e uma retificadora. A entrada da matéria prima e saída das peças prontas são realizadas manualmente por um operador. O sistema produz dois tipos diferentes de peças, que seguem roteiros de fabricação distintos. Os pedidos de fabricação são aleatórios, de acordo com a solicitação do mercado e os lotes são unitários.

Não foram inseridas no modelo paradas para manutenção ou quebras de máquina. O modelo executou a simulação pelo período de 20 minutos para entrar em regime e coletou estatísticas de produção e ocupação durante as 4 horas seguintes. Os resultados, extraídos do relatório estatístico gerado pelo ARENA estão apresentados na Tabela 1. Só foram extraídos os dados relevantes ao estudo em questão, que pretende dimensionar os recursos existentes aos níveis de produção desejados.

Nota-se que a carga de trabalho do AGV é de 94,1 %, e o tempo médio de espera da matéria prima para entrar no sistema é de 22,1 minutos. Comparando estas informações com as estatísticas de ocupação dos outros equipamentos, fica evidenciado que o AGV é um recurso restritivo ao funcionamento do sistema e deve ser redimensionado.

A partir desta conclusão, pode-se seguir fazendo novas experiências com o modelo, inserindo mais veículos AGV em diferentes configurações, até se obter a taxa de produção ideal. Neste processo, a simulação pode evidenciar o aparecimento de um novo gargalo, o que implicaria em novas alterações e experiências. É importante observar que, como o modelo apresentado não considerou as paradas de manutenção ou quebra, este fator pode ser inserido posteriormente e seus efeitos também observados.

Tabela 1. Resultados parciais da simulação

Estatística	Valor
Ocupação da Brochadeira	11,6 %
Ocupação do Torno	52,1 %
Ocupação da Mandriladora	53,8 %
Ocupação da Retificadora	26,2 %
Ocupação do Operador	19,5 %
Ocupação do Robô 1	19,1 %
Ocupação do Robô 2	23,9 %
Ocupação do AGV	94,1 %
Unidades produzidas da Peça 1	26
Unidades produzidas da Peça 2	20
Tempo médio na fila de entrada (min.)	22,1

Um trabalho de simulação de sistema FMS semelhante a este foi realizado por Smith *et al* (1999), e disponibilizado para testes diretamente em um web site na Internet, permitindo inclusive a alteração de alguns parâmetros e a realização da simulação on-line.

No caso do desenvolvimento de novos sistemas manufatureiros, a construção de um modelo de sistema ainda não existente apresenta uma série de particularidades, como máquinas ou tecnologias que ainda nem sequer foram desenvolvidas, ou arquiteturas sem paralelo na atualidade. A solução para estes casos, é estudar o comportamento de estruturas ou máquinas semelhantes, de modo a estimar o seu comportamento com certa segurança. Quando isso não é possível, faz-se necessária uma estimativa baseada em dados teóricos. Um exemplo de simulação nestas circunstâncias é descrita por Brussel *et al* (1997). A Simulação de Processos também tem sido usada no desenvolvimento do Sistema Holônico de Manufatura, como nos descreve Jo Wyns *et al* (1999).

5. CONCLUSÃO

Em vista dos altos investimentos envolvidos na montagem de um sistema moderno de manufatura, é imprescindível testar de modo confiável a estrutura projetada. Usando a simulação é possível testar o sistema sob condições adversas, observando as conseqüências e planejando medidas preventivas e/ou corretivas. Tais medidas serão implementadas no modelo, que será testado novamente, até que o sistema atinja o resultado desejado.

A Simulação de Processos destaca-se também como essencial no desenvolvimento de novos sistemas de manufatura, oferecendo um ambiente de testes virtual onde podem ser inseridos elementos ainda não existentes ou mesmo impossíveis para o atual desenvolvimento tecnológico.

A apresentação do modelo na sua forma de animação gráfica, é uma valiosa ferramenta de persuasão e demonstração de confiabilidade, além de auxiliar na análise do sistema.

AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos dos autores à FAPESP pela manutenção de uma bolsa de mestrado a um dos autores e ao RECOPE/FINEP/BID pelos recursos computacionais disponibilizados a este trabalho.

REFERÊNCIAS

- Agostinho, O. L. – Apostila “Sistemas de Manufatura” volume II, 1997
- Carrie A., 1988, Simulation of Manufacturing Systems.
- Brussel, H. V., Wyns, J., Valkenaers, P., Bongaerts, L., Peeters, P., 1997, Reference Architecture for Holonic Manufacturing Systems: PROSA.
- Kelton, D. W., Sadowski, R. P., Sadowski, D. A., 1998, Simulation With Arena.
- Koestler A., Arkana Books, Londres, 1989, The Ghost in The Machine.
- Loureiro, F. M.; Franzese, L. A. G., 1998, Simulation Applied in Bank Office and Back-Office Process Reengineering. ArenaSphere98.
- Moraes, L. H.; Franzese, L. A. G., 1998, Taubaté Plant Engine Assembly Line and Integrated Cells. ArenaSphere98.
- Scarpe, A. A.; Mariante, W.; Franzese, L. A. G., 1998, CST Steel Shop Operation Model. ArenaSphere98.
- Wyns, J., Langer, G., 1998, Holonic Manufacturing Systems described in plain text, IDEF0, and Object-Oriented methods.
- Wyns, J., KULeuven, Bélgica, 1999, Reference Architecture for Holonic Manufacturing Systems, Tese de Doutorado.
- Smith, J. S., Texas, 1999, Simulation over the Web: An FMS Design Exercise Using Discrete Event Simulation, World Wide Web: <http://mfg.tamu.edu/fmssim/default.htm>

THE USE OF SIMULATION IN THE STUDY AND DEVELOPMENT OF MODERN MANUFACTURING SYSTEMS

Abstract. *The Globalization phenomena that are happening now comes demanding changes in the world market. These changes cause the appearance of new paradigms and they already tremble concepts consolidated along several years. In the search of adapting at the new times, several initiatives have been created in the search of solutions for the world market of the century 21. In the current market, the competitiveness of a company is directly linked to the one of the following factors: flexibility, quality, product cost, reliability, etc. The customers are more demanding and the manufacture is coming across lots every smaller time and personalized products. The agile and flexible manufacture systems come from encounter to this new situation, becoming an imperative subject to assist to the new longings of the consuming market. The modern manufacturing systems, like FMS, Intelligent Systems, Holonic Systems, who are constituted technologically of elements quite advanced and of great complexity, like computerized equipments, robots, AGVs and communication networks. That complexity turns difficult the task of to project such systems and to foresee the results of its construction. The factor maintenance starts to still have an larger importance, since that electronic apparatus is quite sensitive and can suffer unexpected flaws. Thanks to those factors, allies to the fact that such systems are extremely expensive, it is important the accomplishment of a study detailed before deciding for its installation. This article wish to present Process Simulation as an appropriate alternative, since he/she can foresee the operation of the system under several conditions*

and to analyze its operation, supplying primordial data for the decision process or installation.

Keywords: *Computer simulation, Holonic manufacturing systems, Modern manufacturing systems.*