

## A SIMULAÇÃO COMO FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO NA ENGENHARIA DA PRODUÇÃO – O SISTEMA GAMS

Luís Pinto Ferreira<sup>1</sup>, Guilherme A. Pereira<sup>2</sup>, Ricardo J. Machado<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Escola Superior de Estudos Industriais e de Gestão  
Instituto Politécnico do Porto

<sup>2</sup>Departamento de Produção e Sistemas

<sup>3</sup>Departamento de Sistemas de Informação  
Universidade do Minho

### RESUMO

O trabalho descrito neste artigo teve como principal objectivo o desenvolvimento de um Sistema de Apoio à Decisão, que possibilite a geração automática de modelos de simulação com diferentes estratégias de controlo para a redefinição de fluxos de processamento de materiais, ao longo de uma linha de produção da indústria electrónica.

**Palavras Chave:** Simulação, Modelos de Apoio à Decisão, Estratégias de Controlo,  
Linha de Produção

### 1. INTRODUÇÃO

A Simulação é uma das ferramentas de apoio à decisão que permite projectar e analisar o desempenho de sistemas e de processos complexos. A Simulação, segundo Robert E. Shannon e Pegden [Andersson *et al.* 1998, Shannon 1998, Ingalls 2001] pode ser entendida como o processo de construção de um modelo representativo de um sistema real, bem como da realização de experiências com esse modelo com o intuito de conhecer melhor o seu comportamento e avaliar o impacto de estratégias alternativas de operação.

Actualmente, os sistemas de produção estão a tornar-se cada vez mais complexos devido às exigências que lhe são impostas, envolvendo a análise de muitas variáveis cuja gestão irá ter, necessariamente, um forte impacto no seu desempenho. Desta forma, a simulação fornece a capacidade de rapidamente prever o mérito que determinadas decisões irão ter no contexto do processo produtivo. Assim, muitos sectores, por exemplo: as indústrias aeroespacial e automóvel, estão a utilizar cada vez mais a simulação nas diversas fases do seu processo produtivo [McClean *et al.* 2001].

Muitas das vantagens decorrentes do uso da simulação podem encontrar-se na literatura da especialidade. Concretamente, podem citar-se algumas dessas vantagens, tais como:

- Pode ser usada para explorar novas políticas de escalonamento dos recursos, procedimentos operativos, regras de decisão, estruturas organizacionais, fluxos de informação, sem ser necessário interromper o normal funcionamento do sistema [Shannon 1998].
- Permite identificar os pontos de estrangulamento da linha de produção, testar diversas opções, com o intuito de conseguir otimizar o seu funcionamento, identificando as causas dos atrasos no fluxo de materiais, de informação e de outros processos [Shannon 1998, Banks 2000].

- Permite conhecer melhor o sistema e identificar quais as variáveis que realmente influenciam o seu desempenho, servindo de suporte para uma melhor compreensão da realidade para a explicar e descrever ou para apoio à decisão [Law *et al.* 1991, Ferreira 1995, Rubinstein *et al.* 1998].

Apesar de tudo quanto se refere sobre as vantagens que podem colher-se da utilização da simulação como ferramenta de apoio à decisão, esta apresenta alguns inconvenientes relevantes, de entre os quais se destacam:

- A simulação não fornece soluções óptimas para os problemas em estudo – permite, todavia, avaliar o comportamento do sistema mediante determinados cenários, para esse efeito criados pelo analista [Mamede 1984, Shannon 1998, Ingalls 2001].
- Se o modelo não for uma representação válida do sistema em estudo, os resultados da simulação trarão pouca informação útil sobre o sistema real [Rodrigues *et al.* 1984, Rubinstein *et al.* 1998].

Pretende-se neste trabalho que o recurso à simulação em ambiente ARENA [Kelton *et al.* 2002] permita, ao potencial utilizador da ferramenta desenvolvida, validar o impacto das estratégias de controlo na produção, contribuindo para uma melhor especificação, caracterização e definição do mais eficaz sistema de controlo; para isso, foram desenvolvidas quatro estratégias. A faceta inovadora deste sistema reside no seu carácter genérico; no elevado índice de flexibilidade, do ponto de vista do processo físico e das estratégias de controlo, e nas facilidades de parametrização. A linguagem de simulação utilizada foi o ARENA, dado que a sua estrutura hierárquica oferece diferentes níveis de flexibilidade, possibilitando a construção de modelos extremamente complexos, aliados a uma forte componente visual.

Não sendo possível conhecer, *a priori*, qual a melhor estratégia a seguir para otimizar todo o processo produtivo, pretende-se que o Sistema de Apoio à Decisão, isto é, um sistema informático implementado em computador, e utilizado para apoio à tomada de decisões, proporcione informação que possa auxiliar os potenciais utilizadores desta ferramenta na selecção da solução que melhor se adapte aos seus objectivos.

Durante a concepção e implementação desta ferramenta, teve-se em atenção que esta deveria ser acessível a um potencial utilizador, o qual, muito embora tenha alguns conhecimentos na área dos sistemas produtivos, pode não possuir uma sólida formação em informática. Com efeito, foi objectivo deste trabalho proporcionar àquele tipo de utilizador, flexibilidade na selecção da estratégia a adoptar para controlo dos fluxos de materiais e não, fornecer flexibilidade para alterar, ou mesmo desenvolver, no que concerne ao código de programação, novas estratégias.

Note-se, todavia, que a ferramenta proposta se destina, quase exclusivamente, a dar resposta a um determinado tipo-padrão de configuração de linhas de produção. Deste modo, o sistema resultante visa colmatar uma lacuna em termos das soluções informáticas actualmente existentes para este tipo de linhas de produção, pois que, propositadamente, para esse efeito, se teve em atenção as suas características específicas.

## 2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA REAL

O trabalho desenvolvido tem por base, entre outros elementos de informação relevantes, o estudo do Sistema de Controlo das Linhas Hidro (SCLH) responsável pela coordenação de um conjunto de linhas de produção de auto-rádios, instaladas na fábrica da BLAUPUNKT em Braga, Portugal.

As linhas HIDRO consistem em linhas de fabrico de auto-rádios em que o transporte e a condução dos auto-rádios são realizados de uma forma automática e sob a coordenação de um sistema de controlo cuja implementação actual recorre a um autómato programável e a um PC.

Nestas linhas, o sistema de transporte é composto por várias passadeiras rolantes e elevadores, por onde circulam paletes, sobre as quais se colocam os auto-rádios. É também possível que paletes vazios circulem ao longo da linha, nomeadamente quando um auto-rádio é embalado, pois a paleta é reencaminhada para o início da linha para colocar um novo auto-rádio em produção [Fernandes 2000, Machado 2000].

Estas linhas realizam um processamento em *pipeline* dos auto-rádios, estando as várias unidades de processamento (postos) dispostas sequencialmente ao longo da linha, com a excepção dos postos de reparação que, apesar de consistirem na primeira unidade de processamento das linhas, não fazem parte do processamento sequencial primário (figura 1). Os blocos representados na figura 1 (reparação, start-up, afinação HFs, montagem, controlo, gravação e embalagem) correspondem a zonas de processamento, podendo cada zona ser composta por vários postos de trabalho, todos eles situados nos seus extremos.

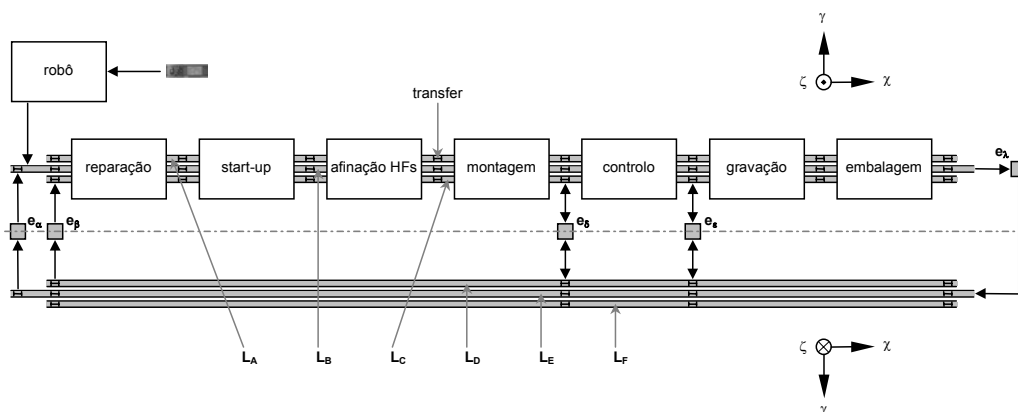


Figura 1 – Esquema geral das linhas Hidro [Team BP-UM 1999, Machado 2000].

Através do controlo do acesso dos auto-rádios às diferentes zonas de processamento, anteriormente mencionadas, é possível generalizar diferentes fluxos de materiais. A cada uma destas zonas é, ao longo deste trabalho, dada também a designação de *nó*.

Cada linha Hidro pode ser composta por cinco ou seis linhas de transporte de auto-rádios, três superiores, designadas de  $L_A$ ,  $L_B$ ,  $L_C$ , (cada uma com um sistema de passadeiras com um movimento uniforme no sentido crescente do eixo  $Ox$ ), e duas ou três inferiores, designadas de  $L_D$ ,  $L_E$ ,  $L_F$ , (cada uma com um sistema de passadeiras com um movimento uniforme no sentido decrescente do eixo  $Ox$ ). Estas linhas de transporte inferior permitem o encaminhamento dos auto-rádios avariados para os postos de reparação situados no início da linha de produção, bem como a realimentação dos postos que devido a *buffers* cheios, não aceitaram mais auto-rádios. Adicionalmente, existem, nas implementações actuais, cinco elevadores (designados de  $e_\alpha$ ,  $e_\beta$ ,  $e_\delta$ ,  $e_\epsilon$ ,  $e_\lambda$ ) que estabelecem a ligação entre as linhas de transporte, superior e inferior.

### 3. ESTRATÉGIAS IMPLEMENTADAS

A linha de produção tomada como referência, apresenta na sua configuração física, zonas de processamento, cujo eficaz controlo do acesso dos materiais, permitirá melhorar o seu desempenho. A especificação do sistema de controlo ideal responsável pelo fluxo de materiais ao longo das Linhas Hidro requer, necessariamente, uma correcta avaliação do impacto que a definição de diferentes estratégias de controlo ocasiona na produção. Neste mesmo contexto, é importante referir, que as estratégias desenvolvidas neste trabalho, não representam todas as decisões susceptíveis de serem tomadas para a gestão do encaminhamento dos auto-rádios ao longo da linha de produção.

Estas estratégias têm por função definir, com o rigor possível, as regras de prioridade a estabelecer, sempre que, no mesmo instante, mais do que um auto-rádio se encontra em condições de acesso aos nós das Linhas Hidro. Na sua formulação, é imperioso ter em conta a impossibilidade de mais que um auto-rádio ocupar, no mesmo instante, no interior dos nós, o mesmo espaço físico, para evitar situações de bloqueio, com choques de auto-rádios, cuja ocorrência afectaria, seriamente, o desempenho global das linhas de transporte.

As estratégias implementadas, têm por base um conjunto de decisões, reguladoras do acesso dos auto-rádios aos nós, as quais são tomadas de uma forma discreta no tempo. Para esse efeito, a técnica utilizada consiste em inspeccionar, em intervalos regulares e de uma forma sequencial, cada um dos nós da linha de produção e, a partir daí, tomar as decisões de encaminhamento.

A implementação de um eficaz sistema de controlo responsável pelo fluxo de materiais ao longo das linhas Hidro exige a prévia caracterização, bem como a definição de diferentes estratégias para, adequadamente, disciplinar o acesso dos auto-rádios aos nós. Com essa finalidade, neste trabalho foram implementadas as quatro estratégias seguintes:

### **Estratégia 1**

- Dar prioridade aos auto-rádios situados nas filas de espera de acesso aos nós de maior comprimento.

O objectivo que determinou o desenvolvimento desta estratégia foi minimizar, quanto possível, o tamanho das filas de espera, nas linhas de acesso aos nós. Desta forma, tem a prioridade máxima o auto-rádio situado em primeiro lugar na fila de espera cujo comprimento, comparativamente ao das restantes filas do mesmo nó, seja maior.

### **Estratégia 2**

- Dar prioridade aos auto-rádios cujo percurso a executar dentro do nó é menor.

A implementação desta estratégia teve como objectivo proporcionar ao utilizador desta ferramenta de apoio à decisão, o ensejo de avaliar o impacto causado no desempenho do sistema, quando se considera prioritário o auto-rádio que executa a menor trajectória dentro do nó.

### **Estratégia 3**

- Definir diferentes níveis de prioridade em função do tipo de auto-rádio.

O objectivo desta estratégia é controlar o acesso dos auto-rádios aos nós, através da atribuição de diferentes níveis de prioridade a cada um dos três tipos de auto-rádios existentes no sistema.

### **Estratégia 4**

- Prioridade definida em função da ordem crescente ou decrescente do índice de cada uma das linhas de acesso aos nós.

O desenvolvimento desta estratégia teve como finalidade proporcionar ao utilizador a simulação de diferentes modelos, nos quais o critério de decisão para o estabelecimento da prioridade é definido em função do índice das linhas de acesso aos nós. Para esse efeito, se disponibilizaram duas opções, a saber:

- Por ordem crescente dos índices das linhas.
- Por ordem decrescente dos índices das linhas.

#### 4. CARACTERÍSTICAS DA APLICAÇÃO DESENVOLVIDA

A aplicação informática desenvolvida para apoio à decisão, destaca-se pelo seu carácter, simultaneamente:

- **Genérico e flexível**  
Na medida em que permite a generalização de diferentes fluxos de materiais, através da flexibilização da ferramenta, quer quanto à configuração física da linha de produção, quer quanto às estratégias de controlo utilizadas na produção (foram desenvolvidas 4 estratégias).
- **Parametrizável**  
Na medida em que permite ao utilizador, no início da simulação, interagir com o sistema que vai ser desenvolvido, através da introdução de diversos parâmetros (por exemplo: número de zonas de processamento, número de linhas de transporte, localização dos elevadores, estratégias de controlo, tempos de rota e de processamento) e, desta forma, testar as potencialidades do sistema sob diferentes condições de funcionamento.
- **Visual**  
Na medida em que representa, no ecrã do computador, o estado do sistema em cada instante, e a sua evolução ao longo do tempo, permitindo deste modo uma melhor *comunicação* entre o modelo e o utilizador. Com efeito, a forte componente visual dos modelos desenvolvidos torna-os *transparentes* para os agentes de decisão que, eventualmente, os venham a utilizar pois possibilita que estes assistam às interações entre as entidades que constituem o modelo, ocasionando uma melhor compreensão dos resultados da simulação.
- **Automático**  
Na medida em que, introduzidos os dados, dispensa qualquer outra intervenção do utilizador para a construção dos modelos.

A natureza, simultaneamente, genérica, flexível, parametrizável, visual, e automática desta aplicação, faz com que esta seja uma ferramenta de utilização “indispensável” na análise e auxílio à tomada de decisões em sistemas produtivos de igual configuração, onde são diversos os aspectos a considerar, bem como as fontes de incerteza e variabilidade.

#### 5. AVALIAÇÃO GERAL E PERSPECTIVAS DE TRABALHO FUTURO

Em termos globais, este trabalho vai na direcção do que hoje se considera como sendo as grandes tendências no desenvolvimento de avançados sistemas de simulação: i) propõe um sistema genérico e flexível de generalização de fluxos de materiais para uma determinada configuração de linhas de produção; ii) permite a geração automática de diferentes modelos de simulação; iii) evidencia a importância do desenvolvimento de sistemas de simulação visuais que facilitem a *comunicação* entre o agente de decisão e o modelo de simulação, em contraste com as técnicas matemáticas e estatísticas, normalmente utilizadas pela IO (Investigação Operacional) nas suas aplicações, as quais tornam os modelos herméticos e pouco acessíveis aos gestores ou agentes de decisão; iv) é acessível aos potenciais utilizadores, porquanto o seu uso não exige grandes conhecimentos técnicos.

Como perspectivas de trabalho futuro, algumas linhas de actuação se destacam como uma continuação natural das propostas aqui apresentadas:

- Incorporar, na ferramenta de apoio à decisão, novas estratégias de controlo para realizar o encaminhamento dos auto-rádios ao longo da linha de produção.

- Integrar, no ambiente de simulação ARENA, um gerador automático de relatórios gráficos, reveladores dos principais índices de desempenho dos modelos em presença.

## 6. REFERÊNCIAS

- [Andersson *et al.* 1998] Michael Andersson, Göte Olsson, “A Simulation Based Decision Support Approach For Operational Capacity Planning In A Customer Order Driven Assembly Line”, in Proceedings of 1998 Winter Simulation Conference, D.J.Medeiros, E.F. Watson, J.S. Carson and M.S. Manivannan, eds.
- [Banks 2000] Jerry Banks, “Introduction to Simulation”, in Proceedings of 2000 Winter Simulation Conference, J.A. Joines, R. R. Barton, K. Kang, and P. A. Fishwick, eds.
- [Fernandes 2000] João Miguel Lobo Fernandes, 2000, “MIDAS: Metodologia Orientada ao Objecto para Desenvolvimento de Sistemas Embebidos”, Tese de Doutoramento em Informática, Área de Conhecimento em Engenharia de Computadores, Departamento de Informática, Escola de Engenharia, Universidade do Minho.
- [Ferreira 1995] João José Pinto Ferreira, 1995, “Suporte do Ciclo de Vida dos Sistemas Integrados de Fabrico através de Modelos Executáveis sobre Infra-estruturas de Integração”, Tese de Doutoramento em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [Ingalls 2001] Ricki G. Ingalls, “Introduction to Simulation”, in Proceedings of 2001 Winter Simulation Conference, B.A. Peters, J.S. Smith, D.J. Medeiros, and M. W. Rohrer, eds.
- [Kelton *et al.* 2002] W. David Kelton, Randall P. Sadowski, Deborah A. Sadowski, 2002, “Simulation With ARENA”, Second Edition, McGraw-hill Series in Industrial Engineering and Management Science, ISBN 0-07-250739-X.
- [Law *et al.* 1991] Averill M. Law, W. David Kelton, 1991, “Simulation Modeling & Analysis”, Second Edition, Industrial Engineering Series, McGraw-Hill International Editions, ISBN 0-07-036698-5.
- [Machado 2000] Ricardo J. Machado, 2000, “Metodologias de Desenvolvimento em Projectos de Engenharia de Computadores no Suporte à Implementação de Sistemas de Informação Distribuídos Não Convencionais (Industriais)”, Tese de Doutoramento em Informática, Área de Conhecimento em Engenharia de Computadores, Escola de Engenharia, Universidade do Minho.
- [Mamede 1984] Nuno Mamede, 1984, “Simulação Digital de Processos”, Tese de Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores (Telecomunicações e Computadores), Instituto Superior Técnico.
- [Mclean *et al.* 2001] Charles Mclean, Swee Leong, “The expanding Role of Simulation in Future Manufacturing”, in Proceedings of 2001 Winter Simulation Conference, B.A. Peters, J.S. Smith, D.J. Medeiros, and M. W. Rohrer, eds.
- [Rodrigues *et al.* 1984] Guimarães Rodrigues, Valério de Carvalho, 1984, “CAPS – ECSL, Experiência de modelagem e simulação aplicada a um sistema de elevadores”, Relatório Técnico, Universidade do Minho.
- [Rubinstein *et al.* 1998] Reuven Y. Rubinstein, Benjamin Melamed, 1998, “Modern Simulation and Modeling”, Wiley Series in Probability and Statistics, Applied Probability and Statistics Section, A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, INC., ISBN 0-471-17077-1.
- [Shannon 1998] Robert E. Shannon, “Introduction to the Art and Science of Simulation”, in Proceedings of 1998 Winter Simulation Conference, D.J.Medeiros, E.F. Watson, J.S. Carson and M.S. Manivannan, eds.
- [Team BP-UM 1999] Team BP-UM, “Diagnóstico e Optimização do Sistema de Controlo das Linhas Hidro”, Documento de Requisitos, Blaupunkt / Escola de Engenharia – Universidade do Minho, Agosto de 1999.