

ANÁLISE DE UM SISTEMA DE PRODUÇÃO DE CABINAS ATRAVÉS DO USO DA SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS

João Gilberto Zalla Filho

Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. Avenida Trabalhador São-carlense, 400. São Carlos – SP, CEP: 13566-590 e-mail: jgzf@sc.usp.br

Arthur José Vieira Porto

Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. Avenida Trabalhador São-carlense, 400. São Carlos – SP, CEP: 13566-590 e-mail: ajvporto@sc.usp.br

Resumo. *Este trabalho apresenta um estudo de simulação de eventos discretos para o auxílio à tomada de decisão do planejamento da produção de caminhões em uma montadora de veículos comerciais. A análise dos estoques em processo do sistema de produção de cabinas dos caminhões é de significativa dificuldade devido ao tamanho dos produtos, ao mix de produção e a variabilidade do fluxo das etapas de produção. Nesse estudo, técnicas de modelagem e simulação são utilizadas para auxiliar a análise dos estoques seletivos existentes nesse sistema. No decorrer do trabalho, estão apresentados a descrição do sistema estudado, as etapas de modelagem, coleta de dados, verificação, validação e os resultados obtidos. São feitas algumas conclusões sobre os resultados obtidos no fim do trabalho. O estudo foi realizado utilizando o software de simulação de eventos discretos Arena® 5.0.*

Palavras-chave. *Simulação, modelagem, controle de estoques, indústria automobilística.*

1. INTRODUÇÃO

A simulação de eventos discretos vêm sendo utilizada com sucesso em estudos realizados nos sistemas de manufatura (LAW; MCCOMAS⁽¹⁾). Os resultados obtidos mostram as vantagens da utilização dessa ferramenta no auxílio à tomada de decisão em estudos de melhoria, identificação de problemas, performance, identificação e tratamento de gargalos, balanceamento de mão-de-obra, utilização dos recursos, *mix* de produção, tempos de processo, logística, metodologias e layout (BANKS⁽²⁾). Isso ocorre devido à capacidade das ferramentas de simulação na análise de sistemas complexos e estocásticos, gerando resultados rápidos, precisos e com baixo custo (BANKS⁽³⁾).

A simulação utiliza um modelo do sistema real, com o propósito de avaliar o comportamento dos sistemas sob várias condições, permitindo ao analista visualizar e tirar conclusões sobre novos sistemas sem precisar construí-los, ou fazer alterações em sistemas existentes sem perturbá-los (LAW⁽⁴⁾), reduzindo o tempo e os custos da implementação de novas soluções.

As referências mostram diversos estudos de simulação na indústria automobilística em áreas como: Fabricação de sub-componentes (ÜLGEN; GUNAL⁽⁵⁾); Gerenciamento da cadeia de distribuição e estoques (MANIVANNAM,⁽⁶⁾ Movimentação de materiais (ROHRER⁽⁷⁾); (GUNAL et al⁽⁸⁾); Estudos diversos em fábricas de motores e transmissões (JAYARAMAN; GUNAL⁽⁹⁾); (CHOI; HOUSHYAR⁽¹⁰⁾); Em linhas de produção de estruturas, carroçarias e cabinas (SLY⁽¹¹⁾); Em linhas de montagem final (ÜLGEN; GUNAL⁽⁵⁾); Análises dos processos de pintura (ÜLGEN et al⁽¹²⁾) (WILLIAMS; SADAKANE⁽¹³⁾); Procedimentos e tempos nas áreas de teste e revisão final (PATEL et al⁽¹⁴⁾); Análises de modificações cruzadas com análise de custos (COLMANETTI⁽¹⁵⁾).

É baseado nas vantagens da utilização da simulação, que este trabalho apresenta um estudo de simulação para a análise de um sistema de produção de cabinas de uma montadora de veículos

comerciais para verificação da necessidade e dimensão dos estoques seletivos em processo, auxiliando o planejamento da produção. A redução desses estoques apresenta algumas vantagens como desonerar a produção, aumentar a flexibilidade e reduzir o tempo de produção.

Nesse estudo, a simulação se mostra adequada e de grande utilidade, pois as etapas envolvidas na produção e montagem das cabinas apresentam características especiais onde muitas variáveis estocásticas influem simultaneamente no sistema. Além da impossibilidade de qualquer tentativa de alteração sem a confiança necessária, devido aos riscos de parada de produção e outros prejuízos. A utilização de simulação traz, ainda, resultados precisos e de curto prazo.

2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA ESTUDADO

O sistema compreende os seguintes processos: a Montagem Bruta das cabinas, Pintura, Montagem de Acabamento das cabinas e a Montagem Final dos caminhões. Dentre esses processos, existem dois estoques seletivos do sistema, um para cabinas pintadas e outro para cabinas acabadas. Foram enfatizadas as características determinantes para sucesso do estudo (MUSSELMAN⁽¹⁶⁾). O esquema dos processos produtivos está na Figura (1).

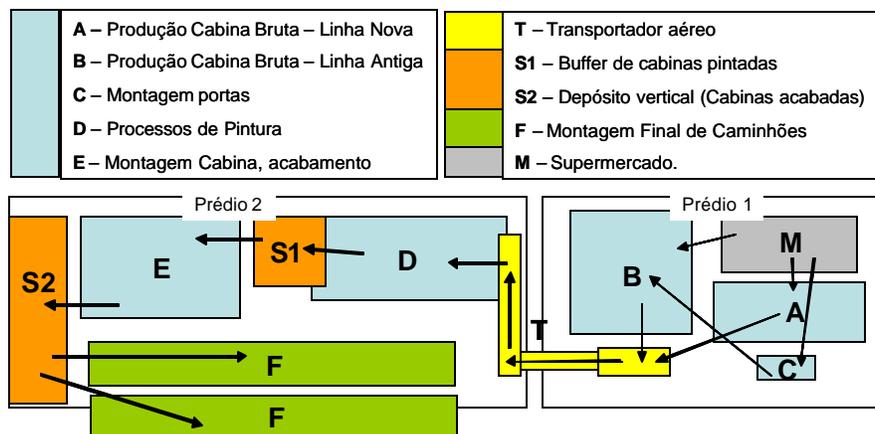


Figura 1. Layout das etapas da produção.

O sistema produz 6 tipos básicos de caminhões, além de chassis de ônibus de motor frontal. Cada tipo de caminhão utiliza uma cabina específica. Cada tipo de cabina tem, em média, 5 variações para as cabinas brutas e cada variação de cabina bruta tem, em média, mais 7 variações de cabinas acabadas, além das especificações de cor.

As quantidades a serem produzidas são programadas através de um programa semanal. Esse programa é responsável pela seqüência de produção de todos os sub-componentes do caminhão (Cabinas, Motores, Eixos etc). Todos os sub-componentes devem ser entregues no momento exato na montagem final de caminhões (F).

Para a produção das cabinas, existem quatro linhas paralelas na Montagem Bruta, duas em (A) e duas em (B). A seqüência programada chega no início do processo, onde ocorre um rebalanceamento de acordo com as restrições de cada linha.

Após a montagem bruta, as cabinas sobem pelo Transportador Aéreo (T) de acordo com a chegada e são encaminhadas para a Pintura (D). As cabinas passam pelos processos de pintura seqüencialmente de acordo com a chegada. Na Pintura podem ocorrer paradas que bloqueiam todo o sistema e retrabalhos, principalmente em cores especiais, que agravam a perda da seqüência.

Após a Pintura, as cabinas entram no primeiro estoque seletivo, o *Buffer* de cabinas pintadas (S1). O *Buffer* tem capacidade limitada, mas grande flexibilidade, devendo ser capaz de corrigir a defasagem da seqüência das cabinas chegadas da Pintura, em relação à seqüência programada para a Montagem Final. Mas o *Buffer* não é capaz de corrigir toda a defasagem, assim, caso a cabina desejada não chegue ao *Buffer* até um certo atraso máximo, a falta da cabina bloqueia o caminhão programado, modificando a seqüência de Montagem Final. E, como processo não deve parar, é

retirada do *Buffer* a próxima cabina na seqüência.

Depois do *Buffer* as cabinas vão para Montagem de Acabamento (E), e são divididas em duas linhas, da mesma forma que a Montagem Final. Uma linha para leves e médios e outra para pesados

Após a Montagem de Acabamento, as cabinas são alojadas no segundo estoque seletivo, o Depósito Vertical (S2). Esse Depósito tem as funções de fazer pequenas correções na seqüência, através da armazenagem de algumas cabinas, armazenar as cabinas referentes a CKD e montagem para reposição e armazenar as cabinas montadas, mas bloqueadas devido às alterações da seqüência da montagem final referentes à falta dos outros agregados (Eixos, Motor etc).

Finalmente, depois de retiradas do Depósito Vertical, as cabinas são montadas nos caminhões na Montagem Final de caminhões (F). Nesse momento, as cabinas têm que ser entregues na seqüência determinada pela seqüência de montagem final.

Uma característica importante é que a seqüência da montagem final deveria puxar todos os processos, mas na montagem bruta, a produção programada é empurrada de acordo com índices de produtividade, até o *Buffer*, de onde são puxadas. Isso faz com que o sistema fique cheio, tornando difícil a reprogramação. Além disso, todas as etapas apresentam paradas ou falhas independentes. São todas essas variáveis que tornam a Simulação uma ferramenta indispensável nessa análise.

3. OBJETIVOS, RESTRIÇÕES E COLETA DE DADOS.

Os objetivos foram claramente definidos no início para que o estudo fosse corretamente estruturado (BANKS⁽²⁾); (WILLIAMS; ÇELIK⁽¹⁷⁾). O objetivo principal foi:

- Avaliar a necessidade e o tamanho dos dois estoques seletivos em processo do sistema.

Para analisar esses estoques, foi necessário entender o fluxo das cabinas no sistema e avaliar o impacto da variação da seqüência de produtos programada ao longo das etapas da produção e a influência do desbalanceamento entre as diversas etapas da produção.

Foram feitas algumas restrições na modelagem do sistema:

- A linha (A) trabalha em um turno, enquanto o restante do sistema trabalha em dois turnos;
- A maior parte dos tempos de processos baseados no *takt time* das linhas de produção. Foram encontradas poucas tabelas históricas de tempos;
- Tempos não diferenciados por modelos de cabinas;
- Transportadores entre as etapas de produção consideradas apenas como tempos decorridos de acordo com o tempo de movimentação;
- Recursos humanos foram considerados balanceados e sempre disponíveis;

A coleta dos dados é uma das fases mais trabalhosas, pois conseguir os dados necessários, com qualidade, quantidade e alguma variabilidade é uma tarefa de grande dificuldade. É comum que os dados do sistema estejam indisponíveis, ou que não estejam no formato desejado para o desenvolvimento do estudo e necessitem de tratamento (VINCENT⁽¹⁸⁾). Para a coleta dos dados foram necessárias visitas à planta, entrevistas, acesso a bancos de dados, cronometragem e, no caso dos dados não existirem, foram feitas algumas considerações. Os seguintes dados foram coletados:

- Layout das etapas de produção nos prédios 1 e 2;
- Histórico anual da produção diária de todas as variantes das cabinas;
- *Takt time* e tempos de processo de todas as etapas da produção;
- Restrições e capacidades máximas dos sistemas e linhas de produção;
- Fluxo e rota dos diversos tipos de cabinas no sistema;
- Detalhes dos sistemas transportadores;
- *Lead time* para os sistemas e linhas de produção;
- Seqüência de cabinas definida pela programação da produção em cada etapa;
- Dados estatísticos de freqüência e duração das falhas, paradas de processo e falta de peças;
- Situações especiais (lógicas de decisão, bloqueios, produtos específicos etc).

4. MODELAGEM, VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO.

Foram modeladas todas as etapas da produção descritas na seção 1 observando as restrições e os dados coletados. O modelo foi subdividido em módulos para facilitar a modelagem e o processo de detalhamento foi iterativo.

Foi utilizado o próprio *software* para a modelagem da seqüência, que foi construída através de distribuições estatísticas, de acordo com os dados de um ano do sistema real.

Foram detalhadas diversas características da planta, dentre elas: processos, filas, áreas de armazenagem, regras de movimentação, lógicas de decisão, estações de retrabalho e controle, desvios etc. O desbalanceamento das etapas da produção foi modelado através dos dados estatísticos de frequência e duração das paradas de processo. Também foram modeladas as lógicas de bloqueio de caminhões na Montagem Final devido à falta de cabinas, ou à falta dos outros agregados a serem montados.

Dessa forma, a simulação dos modelos proporcionou situações específicas de acordo com as reais, como escassez de cabinas, sistemas cheios, perdas de seqüência, variação do fluxo etc, mostrando, durante a observação da simulação e análise dos resultados, a necessidade e utilização dos estoques seletivos em processo.

A verificação e validação foram feitas através da comparação dos dados obtidos do sistema real com a observação dos recursos de animação e com os relatórios fornecidos pelo *software* após a simulação. Os parâmetros de verificação e validação foram: a quantidade de cabinas produzidas por dia, o *takt time* e *lead time* de cada linha de produção, os gargalos do sistema, as restrições do sistema, o número de cabinas alocadas nos estoques e o número de cabinas fora da seqüência programada. A Tabela (1) mostra alguns dos dados verificados. Já o desbalanceamento entre as etapas do processo, a variação da seqüência programada das cabinas e os momentos em que a necessidade pelos estoques era maior ou menor foram observados através dos recursos de animação.

Tabela 1: Dados de Validação

	Dados médios reais de fábrica	Resultados médios da simulação		Dados médios reais de fábrica	Resultados médios da simulação	Recursos (ocupação média)
	Linha Antiga - 7 (min)	29		Linha Antiga - 7 (min)	350	334.7 + 63.2
	Linha Antiga - 8 (min)	9		Linha Antiga - 8 (min)	350	322.9 + 63.2
Takt time	Linha Nova (min)	24	Lead time	Linha Nova (min)	400	743,7
	Pintura (min)	6		Pintura (min)	350 a 450	396,4
	Acabamento (min)	7.8 - 27		Acabamento (min)	250	204,5
	Montagem final (min)	5-27		Montagem final (min)	250 - 550	230 - 588
	Bloqueio de cabinas	5%		Produção diária	201	205
						Buffer: 70 Dep. V.: 115

5. SIMULAÇÃO, RESULTADOS E CONCLUSÕES.

Os experimentos foram planejados de forma a avaliar o comportamento do sistema e observar os parâmetros que provocam a necessidade dos estoques. Foram variados parâmetros como tamanho de cada estoque, quantidade de cabinas produzidas, restrições de programação, falhas dos processos e a incidência de bloqueios para verificar qual o impacto desses parâmetros nos estoques. A Tabela (2) ilustra a influência de alguns parâmetros.

Tabela 2: Parâmetros de impacto na influência dos estoques.

Parâmetro	Influência na necessidade do estoque	
	Buffer	Depósito Vertical
Falhas de processo	alta	média
Retrabalhos da Pintura	alta	baixa
Bloqueio das cabinas	baixa	alta
Variação dos processos	média	baixa
Restrição da programação inicial	baixa	baixa
Redução do <i>Buffer</i>	-	alta
Redução do Depósito Vertical	média	-

Outros resultados que o estudo proporcionou através da análise dos dados, informações,

resultados obtidos e da animação foram:

- A alta variabilidade das etapas prejudica o seqüenciamento das cabinas no *Buffer* e é necessário especificar um tamanho mínimo do *Buffer*.
- A Linha Nova necessita de maior volume de cabinas no *Buffer*, pois trabalha em um único período causando paradas no fornecimento das cabinas.
- O Depósito Vertical tem 60% da sua capacidade utilizada em cabinas bloqueadas devido à falta de algum outro agregado do caminhão.
- É necessário que sejam bloqueadas 6% dos caminhões a serem montados devido ao atraso, na entrada do *Buffer* para que o Depósito Vertical libere as cabinas na seqüência correta, já que o *Buffer* não é capaz de corrigir toda a seqüência.
- O *Buffer* é o principal estoque seletivo e caso esteja bem dimensionado, o Depósito Vertical pode ser reduzido.

Além desses resultados iniciais, foram avaliados dois cenários para redução dos estoques seletivos. As primeiras conclusões já mostram que não é possível a redução do *Buffer*, assim, os seguintes cenários avaliaram a redução do Depósito Vertical, sendo

- Tamanho mínimo possível do Depósito Vertical sem outra alteração no sistema;
- Tamanho necessário do *Buffer* para eliminação total do Depósito Vertical permanecendo uma mínima área para remanejamento de cabinas.

No primeiro cenário, é necessário reduzir o número e o tempo que as cabinas ficam bloqueadas no Depósito Vertical devido à falta de algum agregado. Como 60% do Depósito Vertical fica comprometido com as cabinas bloqueadas, uma redução em 20% do tempo de bloqueio da cabina e em 2% do número de caminhões bloqueados, resulta numa redução em 40% do Depósito Vertical. Reduzindo também as cabinas armazenadas no Depósito com a função de correção da seqüência, tem-se a redução de total 50% do Depósito Vertical, mas essa redução piora em 50% o número de cabinas não seqüenciadas na saída do Depósito Vertical, mesmo aumentando o número de caminhões bloqueados por falta de cabinas. Isso inviabiliza a solução.

No segundo cenário, se o *Buffer* tivesse sua capacidade máxima aumentada de 75 para 200 cabinas, ele seria capaz de suportar as variabilidades do sistema, corrigir a seqüência e guardar as cabinas bloqueadas devido à falta de agregados. Inclusive, a falta de cabinas bloqueia apenas 1,5% dos caminhões produzidos. Nesse cenário, o Depósito Vertical ficaria ainda com uma capacidade pequena de 15 cabinas, sendo que hoje, a capacidade dele é de 125 cabinas.

A aplicabilidade dos resultados desse último cenário é melhor, pois elimina o Depósito Vertical e não é necessário modificar os outros processos, apesar do aumento do *Buffer* ser de difícil aplicação física.

O ideal para o sistema seria trabalhar não só os estoques, mas também as questões que causam a perda de seqüência durante o processo, como a falta de agregados, ou as falhas de processo. O estudo de simulação traz muitas informações sobre o sistema, mostrando quais são os principais parâmetros de influência na necessidade dos estoques, onde devem ser realizados diversos estudos de melhorias para reduzir ou eliminar esses parâmetros resultando na redução dos estoques.

6. REFERÊNCIAS.

1. LAW, A.M; MCCOMAS, M.G. Simulation of manufacturing systems. In: 1999 Winter Simulation Conference. **Proceedings of the...** 1999. p. 56-59.
2. BANKS, J. Principles of simulation. In: **Handbook of Simulation**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1998. P. 3-30.
3. BANKS, J; CARSON, J.S; NELSON, B.L. **Discrete-Event System Simulation**, 2 ed. New Jersey: Prentice Hall, 1986. 548 p.
4. LAW, A.M. Introduction to Simulation: A powerful toll for analyzing complex manufacturing systems. **Industrial Engineering**, 1986. p. 46 – 63.
5. ÜLGEN, O; GUNAL, A. Simulation in the automobile industry. In: **Handbook of Simulation**. Ed. Jerry Banks. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1998. p. 547-570.

6. MANIVANNAN, M.S. Simulation of logistics and transportation systems. In: **Handbook of Simulation**, Ed. Jerry Banks. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1998. p. 571-604.
7. ROHRER, M.W. Simulation of manufacturing and material handling systems. In: **Handbook of Simulation**. Ed. Jerry Banks. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1998. p. 519-545.
8. GUNAL, A; SADAKANE, S; WILLIAMS, E.J. Modeling of chain conveyors and their equipment interfaces. In: 1996 Winter Simulation Conference. **Proceedings of the ...** Swain. Picataway: IEEE, 1996. p.1353-1358.
9. JAYARAMAN, A; GUNAL, A. Applications of discrete event simulation in the design of automotive powertrain manufacturing systems. In: 1997 Winter Simulation Conference, **Proceedings of the ...** 1997. p. 758-764.
10. CHOI, S.D; HOUSHYAR, A. A simulation study of an automotive foundry plant manufacturing engine blocks. In: 2002 Winter Simulation Conference. **Proceedings of the... 2002**. p. 1035-1040.
11. SLY, D.P. Research to application success stories: manufacturing. In: 1997 Winter Simulation Conference. **Proceedings of the... 1997**. p. 1286-1292.
12. ÜLGEN, O; GUNAL, A; GRAJO, E; SHORE, J. The role of simulation in design and operation of body and paint shops in vehicle assembly plants. In: European Simulation Symposium, 1994. **Proceedings... 1994**. p. 124-128.
13. WILLIAMS, E.J; SADAKANE, S. Simulation of a paint shop power and free line. In: 1997 Winter Simulation Conference. **Proceedings... 1997**. p. 727-732.
14. PATEL, V; MA, J; ASHBY, J. Discrete event simulation in automotive final process system. In: 2002 Winter Simulation Conference. **Proceedings of the... 2002**. p. 1030-1034.
15. COLMANETTI, M.S. **Modelagem de Sistemas de Manufatura Orientada pelo Custeio das Atividades e Processos**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.
16. MUSSELMAN, K.J. Guidelines for success. In: **Handbook of Simulation**. Ed. Jerry Banks. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1998. p. 721-743.
17. WILLIAMS, E.J; ÇELIK, H. Analysis of conveyor systems within automotive final assembly. In: 1998 Winter Simulation Conference **Proceedings... 1998**. p. 915-920.
18. VINCENT, S. Input Data Analysis. In: **Handbook of Simulation**. Ed. Jerry Banks. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1998. p. 55-91.

ANALYSIS OF A CABIN PRODUCTION SYSTEM USING DISCRETE EVENT SIMULATION

João Gilberto Zalla Filho

Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. Avenida Trabalhador São-carlense, 400. São Carlos – SP, CEP: 13566-590 e-mail: jgzf@sc.usp.br

Arthur José Vieira Porto

Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. Avenida Trabalhador São-carlense, 400. São Carlos – SP, CEP: 13566-590 e-mail: ajvporto@sc.usp.br

Abstract. *This paper presents a discrete event simulation study to help the production planning decision making in a truck assembly plant. The cabins size, the throughput variability and the products mix implies in a harder analysis of the in-process selective storages in the cabins production system. In this way, modeling and simulation techniques are used to help the necessity and size analysis of these in-process selective storages. All the simulation steps are described, the data collection, the simulation models development, the validation and verification. At the end of the paper, the results obtained and the study conclusions are commented. The Arena 5.0 simulation software was used in this study.*

Keywords. *Modeling, simulation, inventory control, automobile industry.*